

21823

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KİMYA ANABİLİM DALI

KİMYA PROGRAMI

KARADENİZ BÖLGESİNDEKİ KONUTLARIN GÜNEŞ DESTEKLİ ISI

POMPALARI YARDIMIYLA ISITILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Kamil KAYGUSUZ

ARALIK - 1992

TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ \* FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
KİMYA ANABİLİM DALI  
KİMYA PROGRAMI

KARADENİZ BÖLGESİNDEKİ KONUTLARIN GÜNEŞ DESTEKLİ ISI  
POMPALARI YARDIMIYLA ISITILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Kamil KAYGUSUZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
"Doktor"

Ünvanının Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15/12/1992

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 17/03/1993

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Mustafa ÖZDEMİR

Jüri Üyesi : Prof.Dr. Gürbüz ATAGÜNDÜZ

Jüri Üyesi : Prof.Dr. Teoman AYHAN

Enstitü Müdürü : Prof.Dr. Temel SAVAŞKAN

ARALIK - 1992

TRABZON

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada güneş destekli ve enerji depolu ısı pompası ile binaların ısıtılması deneysel ve teorik olarak incelenmiştir.

Bu çalışma boyunca her türlü destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Nurbay GÜLTEKİN'e ve hocamın K.T.Ü.'den Marmara Üniversitesine nakletmesinden sonra tez danışmanlığımı kabul eden hocam Prof. Dr. Mustafa ÖZDEMİR'e teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca deney düzeneğinin kurulmasında ve deneylerin yapılmasında bölümün her türlü imkanlarını kullanmada kolaylık sağlayan ve ayrıca bana maddi ve manevi hertürlü desteklerini esirgemeyen K.T.Ü. Müh-Mim. Fak. Makina Mühendisliği Bölümü Başkanı Prof. Dr. Fazlı ARSLAN'a ve Termodinamik Anabilim Dalı öğretim üyesi sayın hocam Prof. Dr. Teoman AYHAN'a ve deney düzeneğinin kurulmasında yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Ömer ÇOMAKLI'ya özellikle teşekkür ederim.

Yapmış olduğum çalışmanın deney düzeneğinin kurulmasında emeği geçen Makina Bölümü teknisyenleri ve diğer çalışanlarına ayrıca teşekkür ederim.

Çalışma K.T.Ü. Araştırma Fonu ve TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Çalışmanın gerçekleşmesinde yardımlarını esirgemeyen K.T.Ü. ve TÜBİTAK'ın akademik ve idari personeline teşekkür ederim.

ARALIK-1992

Kamil KAYGUSUZ

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET .....	IX
SUMMARY .....	X
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	4
2.1. Isı Pompaları .....	4
2.1.1. Isı Pompasının Çalışma Prensipleri .....	5
2.1.2. Carnot Çevrimi .....	6
2.1.3. Maksimum Soğutma Katsayısı .....	8
2.1.4. Maksimum Isıtma Katsayısı .....	9
2.1.5. Pratik Isıtma Katsayısı .....	10
2.1.6. Isı Pompalarının Sınıflandırılması .....	11
2.2. Güneş Enerjisinin Depolanması .....	22
2.2.1. Giriş .....	22
2.2.2. Güneş Enerjisinin Isı Şeklinde Depolanması .....	23
2.2.2.1. Enerjinin Duyulur Isı Şeklinde Depolanması .....	24
2.2.2.2. Sıvı Ortamda Isı Depolama .....	26
2.2.2.3. Katı Ortamda Isı Depolama .....	29
2.2.2.4. İkili Ortamda Isı Depolama .....	33
2.2.3. Enerjinin Gizli-Isı Şeklinde Depolanması .....	33
2.2.3.1. Tuz Hidratlar .....	37
2.2.3.2. Parafinler .....	39
2.2.3.3. Parafin Olmayan Organik Maddeler .....	40
2.2.3.4. Isı Değiştiriciler .....	42
2.2.4. Termokimyasal Depolama .....	43
BÖLÜM 3. DENEY DÜZENİĞİ .....	45
3.1. Güneş Enerjisi Düzenliği .....	47
3.1.1. Düzlemsel Güneş Kolektörleri .....	47
3.1.2. Güneş Enerjisi Tesisatının Boru Donanımları ve Bağlantıları .....	49

	<u>Sayfa No</u>
3.1.3. Su Takviye Tankı (İmpisat Deposu) .....	50
3.1.4. Solarimetre ve Kaydedici (İntegratör) .....	50
3.2. Enerji Deposu .....	50
3.2.1. Isı Enerjisini Depolayan Kimyasal Madde .....	53
3.3. Isı Pompası Düzenegi .....	54
3.3.1. Kondenser .....	55
3.3.2. Evaporatörler .....	56
3.3.2.1. Hava Kaynaklı Evaporatör .....	56
3.3.2.2. Su Kaynaklı Evaporatör .....	56
3.3.3. Kompresör .....	57
3.3.4. Termik Kısılma Vanası .....	59
3.3.5. Kurutucu ve Yangeçiş (By-Pass) Devresi .....	60
3.3.6. Alçak ve Yüksek Basınç Prosestatı .....	60
3.3.7. Selenoid Vanası .....	61
3.4. Sudan-Havaya Isı Eşanjörü .....	61
3.5. Su Sirkülasyon Pompası .....	62
3.6. Su Sayacı ve Rotametreler .....	63
3.7. Termoeleman Bağlama Parçaları .....	64
3.8. Isıtma Kanalları .....	64
3.9. Isıtma Ortamı .....	65
<b>BÖLÜM 4. DENEY SIRASINDA ÖLÇÜLEN DEĞERLER .....</b>	<b>67</b>
4.1. Güneş Işınımının Ölçümü .....	67
4.2. Sıcaklık Ölçümü .....	67
4.2.1. Soğutucu Akışkanın Sıcaklık Ölçümleri .....	67
4.2.2. Sistemde Dolaşan Suyun Sıcaklık Ölçümleri .....	68
4.2.3. Sistemde Hava Kanallarındaki Sıcaklık Ölçümleri ....	68
4.3. Sistemdeki Debi Ölçümleri .....	68
4.3.1. Sistemde Dolaşan Suyun Debisinin Ölçümü .....	69
4.3.2. Sistemdeki Hava Kanallarının Debisinin Ölçümü .....	69
4.4. Sistemdeki Basınç Ölçümü .....	69
4.5. Sistemdeki Güç Ölçümü .....	69

BÖLÜM 5. İNCELENEN SİSTEMLER VE DENEYLERİN YAPILIŞI .....	71
5.1. Güneş Destekli ve Enerji Depolu Seri Isı Pompası Sistemi .....	72
5.2. Güneş Destekli ve Enerji Depolu Paralel Isı Pompası Sistemi .....	72
5.3. Güneş Destekli ve İki Kaynaklı Isı Pompası Sistemi ...	74
5.4. Deneylerin Yapılışı .....	74
BÖLÜM 6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ .....	77
6.1. Isı Pompasının Çevrim Hesabı .....	78
6.1.1. Isı Pompası Devresinde Dolaşan Akışkanın KütleSEL Debinin Hesaplanması .....	78
6.1.2. Isı Pompasının Kondenserinden Alınan Isı Miktarı....	79
6.1.3. Isı Pompasının Evaporatörünün Çektiği Isı Miktarı...	79
6.1.4. Isı Pompası Kompresörüne Verilen İş .....	80
6.1.5. Isı Pompasının Performans Katsayısının Hesabı .....	80
6.2. Sistemlerin Performans Katsayısının Hesabı .....	80
6.2.1. Güneş Destekli ve Enerji Depolu Seri Isı Pompası Sisteminin Performans Katsayısı Hesabı .....	81
6.2.2. Güneş Destekli ve Enerji Depolu Paralel Isı Pompası Sisteminin Performans Katsayısı Hesabı .....	81
6.3. Güneş Işınım Hesapları .....	82
6.3.1. Yatay Düzleme Gelen Direkt Güneş Işınımının Hesaplanması .....	83
6.3.2. Açık Günlerde Yatay Düzleme Gelen Günlük Tüm Güneş Işınım Miktarının Hesaplanması .....	83
6.3.3. Yatay Birim Yüzeğe Atmosfer Dışında Gelen Tüm Güneş Işınım Miktarının Hesaplanması .....	84
6.3.4. Açık Günler İçin Yatay Düzleme Gelen Günlük Tüm Yaygın Güneş Işınımının Hesabı .....	84
6.3.5. Yatay Düzleme Gelen Anlık Güneş Işınımının Dağılımı.	84
6.3.6. Eğik Düzleme Gelen Anlık Tüm Güneş Işınımının Hesaplanması .....	85

	<u>Sayfa No</u>
6.3.7. Eğik Düzleme Gelen Anlık Tüm Güneş Işınımının Hesabı .....	86
6.4. Kollektörlerin Veriminin Hesaplanması .....	86
6.4.1. Anlık Kollektör Verimi .....	86
6.4.2. Net Kollektör Veriminin Hesaplanması .....	87
<b>BÖLÜM 7. GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMİNİN EKONOMİK ANALİZİ .....</b>	<b>88</b>
7.1.1. Ekonomik Analiz İhtiyacı .....	88
7.1.2. Paranın Zaman Değeri .....	88
7.1.3. Geri Ödeme Periyodu .....	90
7.2. Teknik-Ekonomik Model .....	91
7.2.1. Geleneksel Isıtma Sisteminin Yıllık Masrafı .....	91
7.2.1.1. İlk Yatırım Masrafı.....	91
7.2.1.2. Yakıt ve İşletme Masrafları .....	92
7.2.1.3. Bakım Masrafları .....	92
7.2.2. Güneş Destekli Isı Pompası Sisteminin Yıllık Masrafı	93
7.2.2.1. İlk Yatırım Masrafı .....	93
7.2.2.2. Yakıt ve İşletme Masrafı .....	93
7.2.2.3. Bakım Masrafları .....	93
7.3. Güneş Isıtma Yüzdesinin Hesaplanması .....	95
<b>BÖLÜM 8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....</b>	<b>99</b>
8.1. Sonuçlar .....	99
8.2. Öneriler .....	102
<b>BÖLÜM 9. KAYNAKLAR .....</b>	<b>103</b>
<b>BÖLÜM 10. EKLER .....</b>	<b>112</b>
EK 1. BİNA ISITMA YÜKÜNÜN HESAPLANMASI .....	112
EK 2. ISI POMPASININ PERFORMANS DENKLEMLERİ .....	119
EK 3. TABLOLAR .....	121
EK 4. GRAFİKLER .....	144
EK 5. SİMİLASYON PROGRAMI.....	187
<b>BÖLÜM 11. ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>190</b>

## KISALTMALAR

- T = Sıcaklık, K
- T<sub>1</sub> = Akışkanın kompresör girişindeki sıcaklığı (K)
- T<sub>2</sub> = Akışkanın kompresör çıkışındaki sıcaklığı (K)
- T<sub>3</sub> = Akışkanın kondenser girişindeki sıcaklığı (K)
- T<sub>4</sub> = Akışkanın kondenser çıkışındaki sıcaklığı (K)
- T<sub>5</sub> = Akışkanın hava kaynaklı evaporatör girişindeki sıcaklığı (K)
- T<sub>6</sub> = Akışkanın hava kaynaklı evaporatör çıkışındaki sıcaklığı (K)
- T<sub>7</sub> = Akışkanın su kaynaklı evaporatör girişindeki sıcaklığı (K)
- T<sub>8</sub> = Akışkanın su kaynaklı evaporatör çıkışındaki sıcaklığı (K)
- T<sub>9</sub> = Su kaynaklı evaporatör girişindeki suyun sıcaklığı (K)
- T<sub>10</sub> = Su kaynaklı evaporatör çıkışındaki suyun sıcaklığı (K)
- T<sub>11</sub> = Sudan-havaya ısı eşanjörü girişindeki suyun sıcaklığı (K)
- T<sub>12</sub> = Sudan-havaya ısı eşanjörü çıkışındaki suyun sıcaklığı (K)
- T<sub>13</sub> = Kollektör girişindeki suyun sıcaklığı (K)
- T<sub>14</sub> = Kollektör çıkışındaki (depo girişi) suyun sıcaklığı (K)
- T<sub>15</sub> = Deponun çıkışındaki suyun sıcaklığı (K)
- T<sub>31</sub> = Hava kaynaklı evaporatör çıkışındaki havanın sıcaklığı (K)
- T<sub>32</sub> = Kondenser girişindeki havanın sıcaklığı (K)
- T<sub>ORT</sub> = Kondenser çıkışındaki ortalama hava sıcaklığı (K)
- T<sub>ORT1</sub> = Eşanjör çıkışındaki ortalama hava sıcaklığı (K)
- H<sub>1</sub> = Akışkanın kompresör girişindeki entalpisi (kJ/kg)
- H<sub>2</sub> = Akışkanın kompresör çıkışındaki entalpisi (kJ/kg)
- H<sub>3</sub> = Akışkanın kondenser çıkışındaki entalpisi (kJ/kg)
- H<sub>4</sub> = Akışkanın evaporatör çıkışındaki entalpisi (kJ/kg)
- H<sub>5</sub> = Akışkanın evaporatör girişindeki entalpisi (kJ/kg)
- T<sub>d</sub> = Doymunluk sıcaklığı (K)
- C<sub>f</sub> = Akışkanın kondenser çıkışındaki özgül ısı [kJ/(kg.K)]
- H<sub>f</sub> = Akışkanın kondenser çıkışındaki entalpisi (kJ/kg)



COP	= Isı Pompasının Performans katsayısı
P	= Basınç (bar)
P <sub>2</sub>	= Kompresör çıkışındaki basınç (bar)
P <sub>1</sub>	= Evaporatör (havali veya sulu) çıkışındaki basınç (bar)
I	= Anlık toplam güneş ışınımı (W/m <sup>2</sup> )
T <sub>üst</sub>	= Deponun üst kısmındaki kimyasal maddenin sıcaklığı (K)
T <sub>ort</sub>	= Deponun orta kısmındaki kimyasal maddenin sıcaklığı (K)
T <sub>alt</sub>	= Deponun alt kısmındaki kimyasal maddenin sıcaklığı (K)
Q <sub>kon</sub>	= Isı pompasının kondenserinden alınan ısı miktarı (kW)
Q <sub>eşan</sub>	= Isı değiştiricisinden alınan ısı miktarı (kW)
Q <sub>top</sub>	= Kondenser ve ısı değiştiricisinden alınan ısıların toplamı
n <sub>kol</sub>	= Anlık net kollektör verimi (%)
n <sub>dep</sub>	= Anlık depo verimi (%)
ŞDF	= Şimdiki değer faktörü
FDM	= Faz değiştirebilen madde
GIEDS	= Gizli ısı enerji depolama sistemleri
(τ <sub>α</sub> ) <sub>e</sub>	= Effektiv yutma-geçirme çarpanı
F <sub>R</sub>	= Kollektör ısı yerdeğiştirme faktörü
GDEDSIS	= Güneş destekli enerji depolu seri ısı pompası sistemi
GDEDPIS	= Güneş destekli enerji depolu paralel ısı pompası sistemi

## ÖZET

Bölgemizde konutların güneş enerjisi ve ısı pompaları yardımı ile ısıtılabilirliğini araştırmak amacıyla güneş destekli ısı pompası deney düzeneği kurulmuştur. Bu deney düzeneği, 18 adet su soğutmalı düzlemsel güneş kolektörü, güneş enerjisini gizli ısı şeklinde depolayan enerji depolama tankı , hava ve su kaynaklı ısı pompası, bir adet sudan havaya ısı eşanjörü, sistemdeki suyun dolaşımını sağlayan su sirkülasyon pompası, ısıtma ortamı olarak kullanılan 75 m<sup>2</sup> lik laboratuvar , ısıtma kanalları, ölçüm elemanları ve diğer yardımcı cihazlardan meydana gelmiştir.

Bu çalışmada; güneş enerjili ısıtma sistemi, güneş destekli ve enerji depolu seri ısı pompası sistemi, güneş destekli ve enerji depolu paralel ısı pompası sistemi ile bu sistemlerin birlikte kullanıldığı çift kaynaklı ısı pompası sistemi deneysel olarak incelenmiştir. Ekonomik analiz yapılarak sistemler birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Deneyler 1991 ve 1992 yıllarında ısıtma sezonu boyunca (Aralık ayından Mayıs ayına kadar) yapılmıştır.

Ölçümler bilgisayar programı yardımı ile değerlendirilerek incelenen sistemlerin kolektör verimleri, depolama verimleri, ısı pompasının performans katsayıları, herbir ısıtma mevsimi için binanın ısı yükü ile sistemlerin bu ısı yükünü karşılama oranları hesaplanarak elde edilen sonuçlara göre sistemlerin karşılaştırılmaları yapılmıştır.

Ayrıca literatürde verilen bir simulasyon programını(SOLSIM) sistemimize uygun hale getirerek deneysel verilerin teorik değerlerle karşılaştırılması yapılmıştır.

Sonuç olarak, teorik, deneysel ve ekonomik değerlendirmelere göre Karadeniz bölgesindeki konutları ısıtmak için geleneksel ısıtma sistemlerine alternatif olarak güneş destekli ve enerji depolu seri ısı pompası sistemi önerilebilir.

## SUMMARY

In order to investigate the heating of the buildings in our region with solar energy and heat pump, an experimental set-up was constructed. This experimental apparatus consists of 30 m<sup>2</sup> flat-plate water-cooled solar collectors, a laboratory with 75 m<sup>2</sup> floor-area for heating purpose, a latent heat thermal energy storage tank that is filled by encapsulated phase-change material (PCM) for storing solar energy, a heat pump with air and water heat source, a water-to-air heat exchanger, a water circulating pump, measuring and other auxiliary equipment.

In this study, solar heating system, solar-assisted series heat-pump system with energy storage, solar-assisted parallel heat-pump system with energy storage and dual-source heat-pump system were investigated experimentally. In order to compare of the heating systems with each other, an economical analysis was made by using payback period (PBP) and life cycle total savings (LCTS) methods. Experiments were made during the heating season (from December to May) of 1991 and 1992.

The experimentally obtained results were used to calculate collector efficiencies, storage efficiencies, heat-pump coefficient of performance (COP) of the systems, seasonal heating load of the building and solar heating fraction by using a computer program. Also, a simulation program (SOLSIM) that given in literature, was modified for our system and it used to compare the experimental results with the theoretical results.

## 1. GİRİŞ

Enerji insan hayatının başlangıcından günümüze kadar giderek artan miktarlarda insan yaşamına girmiş ve insanların refah düzeyini yükseltmiştir. İnsanlar, önceleri ısınmak ve yiyeceklerini pişirmek için enerjiden yararlanmışlar, daha sonra teknolojinin gelişmesiyle enerjiyi çok değişik sahalarda kullanmaya başlamışlardır. Özellikle çağımızda kullanılma alanı oldukça yaygınlaşmış ve teknolojinin bu düzeye gelmesinde başlıca etken olmuştur. Bundan dolayı, dünya enerji kaynakları giderek önem kazanarak çağımızın politik ve ekonomik olaylarını önemli ölçüde etkilemiştir. Günümüzde enerjinin önemi daha iyi anlaşıldığından, kişi başına enerji tüketim miktarı, ülkelerin kalkınmışlığının bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Bilindiği gibi ülkemizde enerji açığı oldukça fazladır ve tüketilen enerjinin hemen hemen yarısı ithal edilmektedir. Ayrıca kişi başına tüketilen enerji miktarı da dünya ortalamalarının çok altındadır. Örneğin; bazı ülkelerin kişi başına tüketilen enerji miktarları kilogram petrol olarak A.B.D'de 6679, Kanada'da 6942, Almanya'da 3936, Fransa'da 2604, İtalya da 2499, Yunanistan'da 1716, İspanya'da 1474 iken ülkemizde bu miktar 782 dir.

Düzenli ve konforlu bir yaşamın sürdürülebilmesi öncelikle ekonomik yönden güvenilir ve çevre ile uyumlu bir enerji altyapısının oluşturulabilmesine bağlıdır. Enerji altyapısında meydana gelebilecek bir aksaklık, üretimi ve buna bağlı olarak da yaşam düzeyini olumsuz yönde etkiler. Bundan dolayı güvenilir ve ekonomik bir enerji altyapısının oluşturulması gerekir.

1975 Dünya enerji krizi ile birlikte Türk ekonomisinde gözlenen olumsuz gelişmeler, düzensiz ve ekonomik olmayan enerji altyapısı ile kalkınmışlık düzeyine ulaşmanın çok güç olacağı gerçeğini ortaya

çıkarmıştır. Kalkınmayı sağlayan temel sektörlerden belkide en önemlisi enerji sektörüdür. Ülke kaynaklarının ağırlıklı biçimde enerji yatırımlarına kaydırılması ile Türkiye'nin enerji altyapısı ve enerji dengesi son yıllarda hızlı bir gelişme sürecine girmiştir. Bu gelişmelerin başlıcaları; enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi, enerji altyapısının yeni kaynaklara açılması, enerjinin daha verimli bir şekilde kullanılması, çevre kirliliğini önleyici ve enerji sektöründe verimliliği artıran yeni teknolojilerin kullanılmasıdır.

Türkiye'de kullanılan toplam enerjinin % 45 'i konutlarda, % 28'i sanayide, % 18 'i ulaşımda, % 4 'ü tarımda ve geri kalanıda diğer sahalarda tüketilmektedir. Görüldüğü gibi tüketilen enerjinin hemen hemen yarısı konutların ısıtılması amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca konutların ısıtılmasında genellikle fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Fosil yakıtların dünyamızdaki miktarları sınırlıdır. Yapılan tahminlere göre bugünkü tüketim hızıyla fosil yakıtlardan petrolün 30-35 yıl, kömürün 230 yıl ve doğal gazın 65 yıl sonra tükeneceği sanılmaktadır. Özellikle, petrol için öngörülen sürenin kısalığı, tüketime paralel olarak fiyatların aşırı şekilde yükselmesi ve kısa zaman periyotlarında ortaya çıkan petrol krizleri (örneğin, son körfez krizi) petrolün güvenilir yakıt olmasını ortadan kaldırmıştır. Ayrıca fosil yakıtlar önemli ölçüde çevre kirliliğine yolaçmaktadırlar.

Konutların güneş enerjisiyle ısıtılması ve soğutulması uygulamalarında enerjinin depolanması en önemli faktörlerden biridir. Güneş enerjisi ise gündüz-gece çevrimi ve güneş ışınım açısındaki mevsimlik değişimler nedeniyle sürekli olamamaktadır. Bununla birlikte yeryüzünün çoğu yerinde hareket halindeki bulutların güneşi kapatmasından dolayı önceden tahmin edilemeyen ışınım değişimleri meydana gelmektedir. Böylece güneş enerjisini toplama sistemleri gerekli enerjiyi sürekli olarak düzenli bir şekilde sağlayamazlar. Ayrıca enerjinin kullanım zamanı ile güneş enerjisinin toplandığı zamanlar genellikle farklıdır. Bundan dolayı güneş enerjisinin depolanıp gerekli ol-

duğu zaman depodan alınarak kullanılmasında güneş enerjisi ısıtma sisteminin düzenli çalışması bakımından büyük yarar vardır.

Bu durumda güneş enerjisi, ısı pompası ve enerji depolamanın kombine bir şekilde uygulanarak konutların ısıtılması, enerji tasarrufu ve çevre kirliliği yönünden önem kazanmaktadır. Bilindiği gibi güneş enerjisi sonsuz (tükenmez) olması yanında oldukça temiz ve ilk yatırım masrafları hariç ucuz enerji kaynağdır. Isı pompaları ise elektrikli ısıtmaya göre 3-6 kat daha avantajlıdır. Ayrıca güneş enerjisi ve ısı pompaları sanayide de kullanılabilmekte ve önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlamaktadır. Ülkemiz güneş enerjisi ve buna bağlı olarak ısı pompalarının kullanılabilmesi yönünden şanslı bir konumdadır. 36° ve 42° enlemleri arasında yer alan ülkemizin hemen hemen tümünde güneş enerjisi değerleri, genelde güneşten ekonomik olarak yararlanmanın alt sınırı olarak kabul edilen 1500 kWh/m<sup>2</sup>-yıl değerinin üstündedir. Bundan dolayı son yıllarda güneş enerjisi ve ısı pompaları üzerinde oldukça yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

Bu güne kadar binaları ısıtmak için çok sayıda güneş destekli ısı pompası sistemi geliştirilmiş ve literatürde bu konu ile ilgili pek çok makale yayımlanmıştır. Literatürdeki bu çalışmalardan da yararlanılarak yapılan bu çalışmada, kalsiyum klorür heksahidratın enerjiyi düşük sıcaklıkta gizli ısı şeklinde depolayabilme özelliğinden faydalanılarak güneş enerjisinin depolanması ve gerektiği zaman (gece ve bulutlu günlerde) ısı pompasına ısı kaynağı olarak kullanılabilmesi incelenmiştir. Bu çalışmada; güneş enerjili ısıtma sistemi, güneş destekli ve enerji depolu seri ısı pompası sistemi, güneş destekli ve enerji depolu paralel ısı pompası sistemi ile bu sistemlerin birlikte kullanıldığı çift kaynaklı ısı pompası sistemi deneysel olarak incelenmiştir. Ekonomik analiz yapılarak sistemler birbiriyle karşılaştırılmıştır. Deneyler 1991 ve 1992 yıllarında ısıtma sezonu boyunca (Aralık ayından Mayıs ayına kadar) yapılmıştır. Ayrıca literatürde verilen bir simülasyon programını (SOLSIM) sistemimize uygun hale getirerek deneysel verilerin teorik değerlerle karşılaştırılması yapıldı.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yapılan çalışmalar ; ısı pompaları ve enerjinin depolanması olmak üzere iki bölümde incelenmiştir.

### 2.1. Isı Pompaları

Isı pompası fikri ilk önce 1824 yılında Sadi Carnot tarafından ortaya atılmıştır. Daha sonra bu fikir 1850 de Lord Kelvin'in soğutma cihazlarının ısıtma amacıyla kullanılabilceğini önermesi ile gerçekleştirilmiştir. Lord Kelvin iş yapan akışkan olarak havayı kullanmak suretiyle bir ısı pompası yapmıştır. Bu sistemde dış ortam havası bir silindire çekilir ve burada genişletilerek hem sıcaklığının hemde basıncının düşürülmesi sağlanır. Daha sonra hava dış ortama yerleştirilen bir ısı eşanjöründen geçirilir ve böylece genişletilerek soğutulan havanın çevreden ısı alması sağlanır. Isınmış olan hava ısıtılacak ortama verilmeden önce atmosferik basınca kadar sıkıştırılır ve sıcaklığı çevre havasının sıcaklığının üzerine çıkartılarak verilir. Lord Kelvin'in "ısı pompası" direkt yanma (kömür, fuel oil veya doğal gazın soba veya kalorifer kazanında yakılması) ile karşılaştırıldığında, çok daha ekonomik olduğu tespit edilmiştir.

Daha sonra birçok araştırmacı, bu konu ile ilgilenmiş ancak uygun bir ısıtma sağlanıncaya kadar aradan 80 yıl geçmiştir. 1927 yılında İskoçya'da çalışmalarına başlayan ve aynı zamanda ısı pompasının isim babası sayılan Haldane, ev ısıtmak için bir ısı pompası sistemi kurmuştur.

Avrupa'da yapılan ilk ısı pompalarından biride 1938 de Zürih'de kurulmuştur. Zürih Belediye sarayını ısıtmak amacı ile kurulan ve gücü 175 kW olan bu sistemde ısı kaynağı olarak nehir suyu, iş gören akışkan olarak Freon-12 kullanılmıştır.

İngiltere'de 1945'de yapılan ilk ısı pompası ile büyük bir binanın ısıtılabilceği ispat edilmiştir. Norwich Elektrik şirketi binasının ısıtılmasında kullanılan bu ısı pompasında ısı kaynağı olarak nehir suyu ve iş gören akışkan olarak kükürt dioksid ( $SO_2$ ) kullanılmıştır. İkinci ısı pompası 1949 'da Royal Festival salonunun ısıtılması amacı ile yaptırılmıştır. Norwich Elektrik şirketi için ısı pompası tasarımı yapan Sumner, 1950 de kendi evinin ısıtılması için yaptığı ısı pompasında ısı kaynağı olarak topraktan faydalanmıştır.

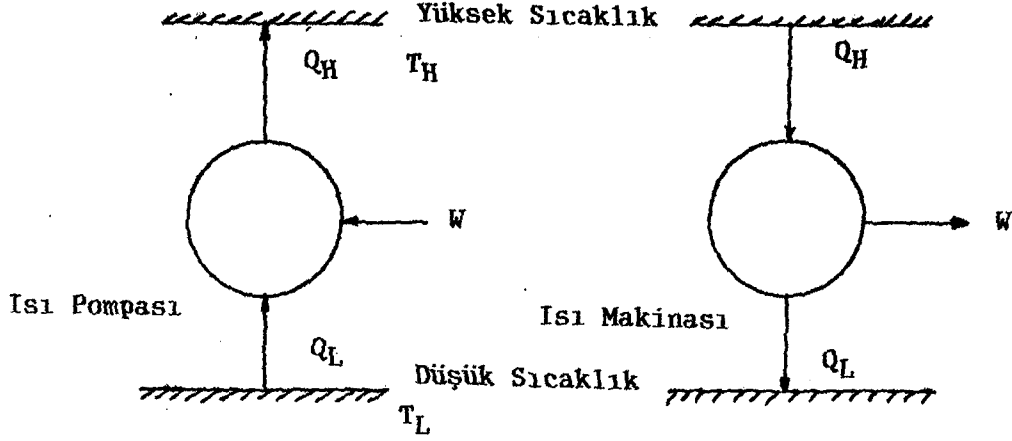
A.B.D.'de ilk ısı pompası 1940 yıllarında kullanılmaya başlanılmış ve 1952 yılından sonra geliştirilmiştir. Bu yıllarda yıllık üretim 1 000 adet kadar olup, 1954 yılında iki katına, 1957 'de on katına, 1963 yılında ise bu sayı 76 000 adete ulaşmıştır. 1971 yılında ısı pompası satışları azalmış ve kullanım alanları sınırlanmıştır. 1973 yılında ortaya çıkan enerji krizi dolayısıyla ısı pompalarının önemi tekrar artmıştır. Öyle ki 1976 yılında üretim 300 000 'e ve bugün 2 000 000 adete ulaşmıştır. A.B.D, İngiltere, Almanya, Fransa, Japonya ve İsviçre başta olmak üzere bir çok gelişmiş ülkede ısı pompası kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır [1-40].

### 2.1.1. Isı Pompasının Çalışma Prensibi

Isı pompası "Carnot Çevrimi" ne göre çalışır. Basit olarak ısı makinasının tersi şeklinde düşünülebilir. Isı makinaları, yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağından düşük sıcaklıktaki ısı kaynağına ısı aktarırken iş üreten makinalardır. Isı pompaları ise, dışardan iş alarak düşük sıcaklıktaki bir ısı kaynağından yüksek sıcaklıktaki kaynağa ısı naklederler.

Her iki makinede de  $Q/W$  oranı aynı olup, ısı makinalarında bu oran  $W/Q_H$  olarak verilir ve buna termik verim denir. Isı pompalarında ise bu oran  $Q_H/W$  olarak verilir ve bu orana performans katsayısı (COP: alınan ısının pompalamada kullanılan işe oranı) denir.





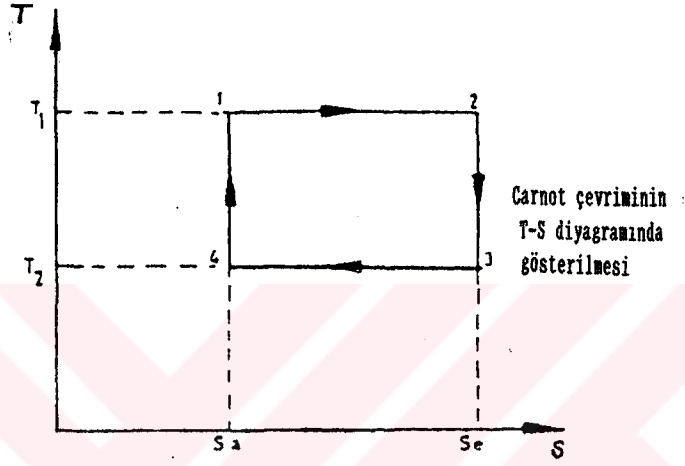
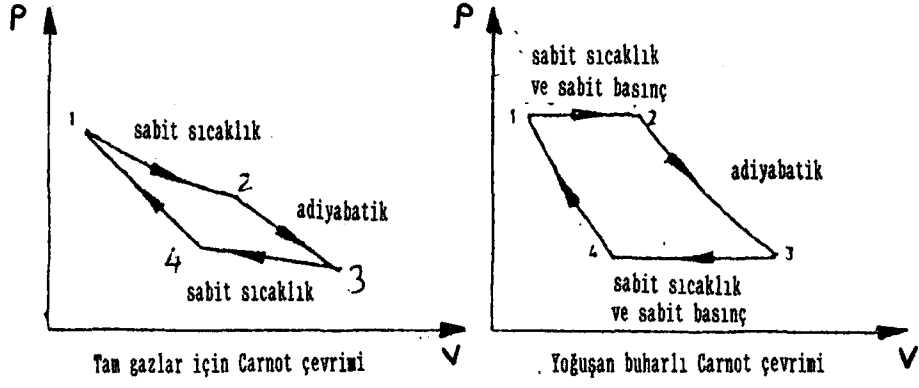
Şekil 2.1. Isı Pompası ve Isı Makinasının Çalışma Prensibi

### 2.1.2. Carnot Çevrimi

Carnot çevrimi termodinamik olarak tersinir olan ideal bir çevrimdir. Isı enerjisinden maksimum mekanik enerji elde etmek amacı ile ilk olarak 1824'de Sadi Carnot tarafından geliştirilmiştir. Şekil.2.2 de bir ısı makinası için P-V (basınç-hacim) ve T-S (sıcaklık-entropi) diyagramları üzerinde bir Carnot çevrimi gösterilmiştir. Durum, Şekil.2.2 'de tam gazlar için verilen Carnot çevrimi üzerinden incelenecek olursa; herhangi bir ısı makinası için (1-2) sabit sıcaklık altında genişleme, (2-3) adyabatik genişleme, (3-4) sabit sıcaklık altında sıkıştırma ve (4-1) adyabatik sıkıştırma.

Yoğuşan buharlı Carnot çevriminde ise (1-2) sabit sıcaklık ve sabit basınç altında genişleme, (2-3) adyabatik genişleme, (3-4) sabit sıcaklık ve sabit basınç altında sıkıştırma ve (4-1) adyabatik sıkıştırma.

Bu açıklamalardan sonra herhangi bir ısı makinası için Carnot çevrimine göre ideal verim aşağıdaki gibi hesaplanır :



Şekil 2.2. Carnot Çevrimi.

$$n = \frac{\text{alınan ısı}}{\text{verilen ısı}} = \frac{\text{verilen ısı} - \text{kaybolan ısı}}{\text{verilen ısı}} \quad (2.1)$$

$$\text{verilen ısı} = T_1 (S_e - S_a)$$

$$\text{kaybolan ısı} = T_2 (S_e - S_a)$$

$$n = \frac{T_1 \cdot (S_e - S_a) - T_2 (S_e - S_a)}{T_1 (S_e - S_a)} = \frac{(T_1 - T_2) (S_e - S_a)}{T_1 (S_e - S_a)} \quad (2.2)$$

$$n = \frac{T_1 - T_2}{T_1} < 1 \quad (2.3)$$

### 2.1.3. Maksimum Soğutma Katsayısı

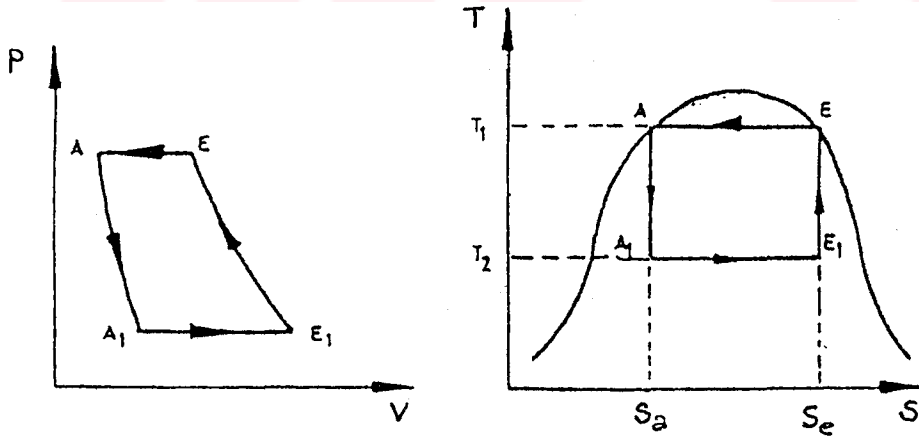
Yukarıda da belirtildiği gibi tersinir şekli ile Carnot çevrimine göre uygulamada herhangi bir soğutma devresinde maksimum soğutma katsayısını verir. Ancak, burada çevrimin yoğuşan buharlı Carnot çevriminin tersiniri olduğuna dikkat edilmelidir.

Herhangi bir soğutma devresinin maksimum soğutma katsayısını tespit etmek amacı ile Şekil.2.3 'de herhangi bir soğutma devresinin çalışma durumu P-V ve T-S diyagramları üzerinde gösterilmiştir.

Bu diyagramların incelenmesinden anlaşılacağı üzere herhangi bir soğutma devresinin Carnot çevrimine göre çalışma durumu, aşağıdaki gibi özetlenebilir :

(A-A<sub>1</sub>) : Genleşme vanasında adyabatik genleşme,

(A<sub>1</sub>-E<sub>1</sub>) : Soğutucu üniteye sabit sıcaklık ve sabit basınç altında buharlaşma,



Şekil 2.3. Tersinir Carnot Çevrimi.

(E<sub>1</sub>-E) : Kompresörde adyabatik sıkıştırma,

(E-A) : Kondenserde sabit sıcaklık ve sabit basınç altında yoğuşma.

Bu durumda maksimum soğutma katsayısı (M.S.K) aşağıdaki gibi hesaplanır

$$M.S.K = \frac{\text{ortamdan çekilen ısı}}{\text{sarfedilen iş}} \quad (2.4)$$

$$\text{Çekilen ısı} = T_2 (S_e - S_a)$$

$$\text{Verilen ısı} = T_1 (S_e - S_a) - T_2 (S_e - S_a)$$

$$M.S.K = \frac{T_2 (S_e - S_a)}{T_1 (S_e - S_a) - T_2 (S_e - S_a)} = \frac{T_2 (S_e - S_a)}{(T_1 - T_2) (S_e - S_a)} \quad (2.5)$$

$$M.S.K = \frac{T_2}{T_1 - T_2} > 1 \quad (2.6)$$

#### 2.1.4. Maksimum Isıtma Katsayısı

Ev ve iş yerlerinin havasının temiz , kışın ılık, yazın serin olması arzu edilir. Bu maksatla genellikle pencere tipi klima cihazları kullanılır. Bu cihazlar yazın soğutma, kışın ısıtma amacı ile kullanılırlar. Bu sebeple, bu cihazlar o şekilde tertiplenmişlerdir ki, yazın soğutucu ünite olarak görev yapan kısım kışın soğutma devresinde ısıtıcı ünite olarak görev yapar. Bu cihazlarda soğutma devresi bu değişikliğe imkan verebilecek şekilde tertiplenir. Termodinamikte bu cihazlar ısı pompası olarak isimlendirilir. Bir ısı pompasının soğutma amacı ile kullanılması halinde maksimum soğutma katsayısı yukarıda açıklandığı gibidir. Isıtma amacı ile kullanılması halinde ise soğutma katsayısı yerine ısıtma katsayısı ( $COP_{\text{ısıtma}}$ )

ortaya çıkar. Isıtma katsayısı kondenserin verdiği faydalı ısının kompresörde sarf olunan işe oranıdır.

Şekil.2.3. de verilen Carnot çevrimi esas alınarak herhangi bir ısı pompası için maksimum ısıtma katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır :

$$\text{M.I.K} = \frac{\text{faydalı enerji}}{\text{sarfedilen enerji}} \quad (2.7)$$

$$\text{Faydalı ısı} = T_1 (S_e - S_a)$$

$$\text{Verilen ısı} = T_1 (S_e - S_a) - T_2 (S_e - S_a)$$

$$\text{M.I.K} = \frac{T_1 (S_e - S_a)}{T_1 (S_e - S_a) - T_2 (S_e - S_a)} = \frac{T_1 (S_e - S_a)}{(T_1 - T_2) (S_e - S_a)} \quad (2.8)$$

$$\text{M.I.K} = \frac{T_1}{T_1 - T_2} = 1 + \frac{T_2}{T_1 - T_2} \quad (2.9)$$

#### 2.1.5. Pratik Isıtma Katsayısı

Bir ısı pompasında pratik ısıtma katsayısının tespitinde kompresörün mekanik verimini ve kompresör tahrik motorunun verimini dikkat almak gerekir.

$$\text{P.I.K} = \text{M.I.K} * f * n_m * n_E \quad (2.10)$$

burada;

$f$  : düzeltme faktörü (çevrim sapması)

$n_m$  : kompresörün mekanik verimi

$n_E$  : kompresörün tahrik motorunun verimi

Bir ısı pompasının, beklenen enerji tasarrufunu sağlayabilmesi için pratik ısıtma katsayılarının yeterli olması gerekir. Bunun için ; düzeltme faktörü ile, kompresörün mekanik veriminin ve kompresörün tahrik motorunun (elektrik motoru) veriminin mümkün mertebe büyük olması gerekir [1,2,4].

#### 2.1.6. Isı Pompalarının Sınıflandırılması

Isı pompaları ısı kaynaklarına, işletme ve termodinamik çevrimlerine göre üç kısma ayrılır.

##### 1- Isı Kaynaklarına Göre :

- a)- Hava
- b)- Toprak
- c)- Yerüstü suları
- d)- Yeraltı suları
- e)- Güneş enerjisi
- f)- Jeotermal enerji
- g)- Atık ısı kaynakları

##### 2- İşletme Çevrimlerine Göre :

- a)- Hava-hava
- b)- Hava-su
- c)- Su-su

##### 3- Termodinamik Çevrimlerine Göre :

- a)- Termoelektrik
- b)- Absorbsiyonlu
- c)- Buhar sıkıştırmalı

Isı pompalarının teorisini kısaca verdikten sonra, şimdide yapılan çalışmaların önemli olanlarından bazılarını tarihsel sıraya göre özetleyelim [5-29].

A.B.D.'nin Albuquerque kentinde  $74 \text{ m}^2$  yüzeye sahip güneş kollektörü,  $23 \text{ m}^3$  lük bir adet su depolama tankı ve atmosferik soğutma kuleli bir ısı pompası sistemi kurulmuştur. Güneş destekli bu ısı pompası

sistemi  $400 \text{ m}^3$  hacmi olan bir binayı ısıtmak için kullanılmıştır. Suyun sıcaklığı güneşli günlerde  $45-60 \text{ }^\circ\text{C}$  olacak şekilde kollektörlerde dolaştırılmıştır. Ancak bulutlu günlerde suyun sıcaklığının daha düşük olacağı ifade edilmiştir. Depolama tankından alınan sıcak su, ortamı ısıtmak için döşeme ve tavandaki ısıtma panelleri arasından dolaştırılmıştır. Kötü hava şartlarından dolayı su sıcaklığı  $32 \text{ }^\circ\text{C}$  nin altına düştüğü zaman binayı ısıtmak için ısı pompası kullanılmıştır. Soğutma kulesi ise yazın ısı pompası kondenserinde dolaşan suyu soğutmak için kullanılmıştır [5].

Tucson'da (A.B.D) kurulmuş olan sistem, binanın çatı alanı kadar güneş kollektörleri, iki bölümden oluşmuş ve yatay olarak yerleştirilen bir su depolama tankı, iki ortam arasında çalışan bir ısı pompası ve ortamı ısıtma ve soğutma için tankta depolanan suyu panellere gönderen su sirkülasyon pompasından meydana gelmiştir [6].

Phonex 'te kurulmuş olan AFASE evi, güneş kollektörleri,  $7.57 \text{ m}^3$  lük su depolama tankı ve hava-hava işletme çevrimine göre çalışan ısı pompası sisteminden meydana gelmiştir. Bu sistemde güneş kollektörlerinden alınan sıcak su depolama tankında toplanmakta ve daha sonra evi ısıtmak için ısıtma kanallarına gönderilmektedir. Eğer kollektörlerden toplanan suyun sıcaklığı evi ısıtmak için yeterli değilse, o zaman ısı pompası kullanılmaktadır. Bu durumda depolama tankındaki sıcak su, ısı pompasının evaporatörüne giren havayı ön ısıtma yapmada kullanılmıştır [7].

Binaları ısıtma ve soğutma için yeni bir sistem önerilmiştir. Bu sistemde kullanılan kondenser su soğutmalı olup, kondenserde kullanılan su, doğal radyasyonla soğutulmuş ve kullanılan iki su tankından birinde depolanmıştır. İkinci su tankı ise kondenserden ayrılan sıcak suyu depolamada kullanılmıştır. Burada ikinci tanktaki sıvı, kollektörlerdeki donmayı önlemek için kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonunda bu sistemin bina ısıtma ve soğutmanın her ikisinde de kullanılması durumunda önemli ölçüde yakıt tasarrufu sağlayacağı ifade edilmiştir [8].

Ticari binaları ısıtmak için güneş destekli ısı pompalarının kullanımını üzerine deneysel bir çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada  $400 \text{ m}^2$  döşeme alanına sahip ticari bir binanın ısıtılması araştırılmıştır. Bunun için binanın güney duvarları  $30^\circ$  eğimle inşa edilmiş ve bu duvarlara toplam yüzey alanı  $70 \text{ m}^2$  olan düzlemsel güneş kolektörleri yerleştirilmiştir. Güneş enerjisini depolamak için, binanın zemin katına hacmi  $23 \text{ m}^3$  olan bir adet su depolama tankı yerleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmanın sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir [9]:

1- Sulu güneş kolektörleri, su tankı ve su kaynaklı ısı pompası sisteminin birlikte çalışması, ısı kazancı açısından iyibir uyum göstermiştir.

2- Kolektör yüzey alanı, binanın döşeme alanına göre çok küçük olmasına rağmen, önemli ölçüde güneş enerjisi toplayabilmiştir.

3- Yapılan ısı analizler sonucu elde edilen ısı pompası performans katsayısı değerleri 3-4 arasında değişmektedir.

Güneş destekli ısı pompası deneysel olarak incelenmiştir. Bu ısı pompası sistemi  $73 \text{ m}^2$  güneş kolektörü,  $34 \text{ m}^3$  hacme sahip ısı depolama tankı, hava ve su kaynaklı ısı pompası, yardımcı ısıtıcı ve diğer yardımcı elemanlardan meydana gelmiştir. Sistem birbirinden farklı beş ısıtma modunda çalışmaktadır [10]:

1- Eğer güneşten elde edilen ısı yeterli ise o zaman binanın ısıtılması direkt olarak güneş enerjisi ile yapılmaktadır.

2- Depolanan güneş enerjisi konutu ısıtmak için yetmediği zaman hava kaynaklı ısı pompası devreye sokulmakta ve binanın ısıtılması güneş enerjisi sistemi ile birlikte yapılmaktadır.

3- Eğer kolektörlerden toplanan suyun sıcaklığı istenen düzeyde değilse, bu durumda depolanan enerji ısı pompasına ısı kaynağı olarak kullanılarak ısıtma sadece ısı pompası ile yapılmaktadır. Bu sistemde ısı pompasının COP değeri 2-4 arasında değişmektedir.

4- Elektrikli ısıtmaya gerek duyulmadığı zaman elektrikli ısıtıcı deponun sıcaklığını artırmak için kullanılmaktadır.



5- Dış ortam havasının sıcaklığı çok düşük olduğu zaman, elektrikli ısıtıcı ısı pompasının besleme havasını ısıtmak için kullanılmaktadır.

Konutların ısıtılmasında güneş ve ısı pompası sistemlerinin birleştirilmesinin performansını karşılaştırmak için teorik bir çalışma yapılmıştır. Simülasyonlar TRNSYS bilgisayar programı kullanılarak iki farklı bölge olan Wisconsin ve New Mexico (A.B.D) eyaletlerinde geleneksel güneş ve geleneksel ısı pompası sistemlerinin üç temel kombinasyon durumları için yapıldı. Bu kombinasyonlar :

1- Isı pompasına ısı kaynağı olarak depolanan güneş enerjisinin kullanıldığı seri sistem.

2- Isı pompasına ısı kaynağı olarak çevre havasının kullanıldığı paralel sistem.

3- Isı pompasına ısı kaynağı olarak ya çevre havası veya depolanan güneş enerjisinin kullanıldığı çift kaynaklı sistem.

Ayrıca bu çalışmada, kollektör yüzeyi ile cam örtü sayısının ve depo hacminin kollektör yüzeyine oranının etkisi ile ısı pompasının performans katsayısı hesaplandı.

Yapılan simülasyon çalışmaları, paralel kombine sistemin belkide en pratik güneş-ısı pompası konfigürasyonu olduğunu göstermiştir. Verilen bir kollektör alanında ise, seri veya iki kaynaklı sistemlerde ısıtma sezonundaki ısı performans daha iyidir [11].

Hava kaynaklı ısı pompası ile mobil evin ısıtılması deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmada ısı pompasının hava kanalları, mobil evin çeşitli etkenlere karşı davranışları ve mevsimlik ısıtma performansının saat-saat analizi yapılmıştır. Analizi yapılan mobil ev ANSI A119-1 standartlarına uygun bir şekilde özel olarak imal edilmiştir. Sistemde kullanılan ısı pompası, ticari paket tipinde olup 10.55 kW lık ısıtma sağlamaktadır. Isı pompasının kompresörünün gücü 3.8 kW ve performans katsayısı (COP) 2.78 olacak şekilde tasarlanmıştır. Yapılan deneysel çalışmada ısıtma mevsimindeki hava şartlarında sistemin çalıştığı zamanlar ısı pompasının defrostunu ve binanın ısı konforunu

sağlamak için gerekli enerjiyi hesaplayan çeşitli matematiksel bağıntılar geliştirilmiştir. Geliştirilen bu matematiksel model, bir bilgisayar programı yardımı ile çalıştırılarak sistemin saat-saat incelenmesi yapılmıştır. Bu çalışmada iki özel faktör tanımlanmıştır :

1- SPF = Isı pompası ve yardımcı ısıtıcılar tarafından sağlanan toplam mevsimlik ısıtmanın toplam enerji tüketimine oranı.

2- STP = Mobil evin oturma odasına sağlanan mevsimlik ısıtmanın toplam enerji tüketimine oranı.

Isıtma sezonu boyunca yapılan analiz sonuçlarına göre SPF = 1.62 ve STP = 0.87 olarak bulunmuştur. Bulunan sonuçlara göre, hava dağıtma kanallarının kötü tasarımı nedeniyle ısı pompası kullanan sistemin performansı elektrikli ısıtmadan daha kötü olmuştur. Çünkü STP < 1 olarak bulunmuştur. Bunun başlıca sebebi, ısıtma kanallarında ve sistemdeki hava kaçakları ile kayıplarının fazla olmasıdır [12].

Mevcut binalarda kullanılan ısı pompalarının işletme sonuçları analiz edilmiştir. Ayrıca ısı pompasının performans katsayısını etkileyen sebepler ve COP değerini artırmak için gerekli olan tedbirler araştırılmıştır. Yapılan çalışmaların sonucunda ısı pompasının performans katsayısını etkileyen faktörler aşağıdaki gibi özetlenmiştir :

a- Isı pompasının performans katsayısı sistemin ısıtma/soğutma yükü ile sıkı bir şekilde ilişkilidir.

b- Sıcak su temini, ısı pompasının performans katsayısını önemli ölçüde azaltır. Çünkü sıcak su, depolama tankında beklerken çevreye ısı kayıpları olmaktadır.

c- Isı pompasının boyutunun ihtiyaca göre seçilmesi COP değerini artırır.

d- Isı pompasını optimum süreyle çalıştırmak performans katsayısını artırır.

e- Isı pompasının optimum tasarımı sistemin açıp/kapama kayıplarını azaltır ve buna bağlı olarak da ısı pompasının COP değeri artar.

f- İyibir kontrol, pompanın emniyetli çalıştırılması, ve bir enerji deposuna bağlanarak kararlı halde çalıştırılması ısı pompasının COP değerini artırır [13].

Konutların ısıtılması için güneş destekli ısı pompası sistemi kurulmuştur. Yapılan sekiz aylık deneysel çalışmanın sonucuna göre ortalama COP değeri 2.3 olarak bulunmuştur. COP değerini düşük olduğu aylar Aralık, Ocak ve Şubat aylarıdır. Yapılan deneysel çalışmaların sonucuna göre, sisteme gizli ısı depolama tankını ilave etmekle aşağıdaki avantajların sağlanacağı ifade edilmiştir [14]:

- a- Daha büyük performans katsayısı
- b- Sistemde gerekli olan su miktarının azaltılması
- c- Sistemdeki elektrik sarfiyatının azalması.

Ticari bir binayı ısıtmak için yazın depolanan güneş enerjisini kışın ısı pompasına kaynak olarak kullanan bir sistem simüle edilerek sistemin performans değişimi incelenmiştir. Kollektör alanı, enerji depolama tankının kapasitesi ve tankın yalıtımı simülasyona etki eden en önemli parametrelerdir. Eğer ısı pompası, ısı kaynağı olarak toprak altına yerleştirilmiş düşük sıcaklıkta, fakat kapasitesi büyük olan ısı depolama tankını kullanırsa, bu durumda iyice yalıtılmış bir evin ısıtma ihtiyacının karşılanabileceği ifade edilmiştir. Ancak bu durumda ısı pompasını, su sirkülasyon pompasını ve fanları çalıştırmak için ilave bir elektrik enerjisine ihtiyaç duyulacağı belirtilmiştir. Yapılan bu çalışmanın asıl amacı, İtalya'da kollektör fiyatlarının yüksek olması (1979 da  $\$ 200 / m^2$ ) nedeniyle kullanılan kollektör alanını yardımcı ısıtma sistemleri ile en alt düzeye indirmektir. Bunun için çözüm olarak, yazın bol olan güneş enerjisini yeraltında büyük depolarda depolayıp, kışın ısı pompasına ısı kaynağı olarak kullanarak konutları ısıtmak düşünülmüştür. Özellikle güneş enerjisinin az olduğu, Kasım, Aralık, Ocak ve Şubat aylarında depoyu ısı pompasına ısı kaynağı olarak kullanmanın oldukça iyibir yöntem olduğu ifade edilmiştir [15].

İki kaynaklı (elektrikli ve doğal gaz yada fuel oil) ısı pompası incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı, iki kaynaklı ısı pompasının kullanımındaki çeşitli parametrelerin belirlenmesi olmuştur. Bu parametreler; yakıt kaynakları, sistem tasarımı, sistemin ekonomik ömrü ve enerji tasarrufu olduğu belirtilmiştir. Yapılan çalışmalara göre [16]:

a- Çift kaynaklı ısı pompası fosil yakıtlardan enerji tasarrufu sağlamaktadır.

b- Çift kaynaklı ısı pompasında elektrik sarfiyatı az olduğundan sistemin performans katsayısı daha yüksek olmaktadır.

c- Çift kaynaklı ısı pompası sisteminin işletme masrafları düşüktür.

d- Çift kaynaklı ısı pompasını daha iyi analiz etmek için daha fazla deneysel ve teorik çalışma yapmak gerekmektedir.

Evaporatör olarak güneş kolektörlerini kullanan güneş enerjisi destekli ısı pompası sistemi deneysel ve teorik olarak incelendi. Bu sistemde kolektörlerde su yerine direkt olarak freon gazları (R-12 ve R-114) kullanılmıştır. Böylece güneş enerjisinden daha fazla yararlanma imkanı elde edilmektedir. Çünkü freon gazları ısıyı kolektörlerden direkt olarak almakta ve böylece ısı transfer hızı daha yüksek olmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalara göre, evaporatör olarak güneş kolektörlerini kullanan direkt genleşmeli ısı pompalarının kullanımı soğuk iklim bölgeleri için oldukça uygundur [17].

Kanada'nın çeşitli yerleşim bölgeleri için güneş destekli ısı pompası sistemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan simülasyon çalışmasında, bir bilgisayar programı geliştirilmiş ve çeşitli bölgelerdeki meteorolojik bilgiler kullanarak altı farklı sistemin performansı incelenmiştir. Yapılan çalışmaya göre, yardımcı ısı kaynağı olarak elektrikli ısıtıcıyı kullanan, hava kaynaklı ısı pompası sisteminin Kanada'nın tüm şehirlerinde, çok katlı evler için elektrikli ısıtmaya göre daha ekonomik olduğu ifade edilmiştir. Ancak bu ısı pompası sisteminin tek katlı küçük konutlar için, Kanada'nın bazı şehirleri hariç ekonomik olmadığı belirtilmiştir [18].

Fransada'ki mevcut konutlar ile yeni yapılan konutlar için hava kaynaklı (havadan-suya) ısı pompalarının kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu çalışmada iki tip konut kullanılmıştır. Bunlardan biri "eski tip", diğeri ise "yeni tip" konutlardır. Yeni tip konutlarda duvar ve tavanların ısı yalıtımı çok iyi yapılmıştır. Eski tip konutlar-

da ise duvarlar taştan yapılmış olup ısı yalıtımı iyi değildir.Yapılan çalışmaların sonuçlarına göre , her iki konut tipi için hava kaynaklı ısı pompalarının kullanımı, klasik ısıtma sistemlerine (fuel oil, kömür veya doğal gazla çalışan soba ve kaloriferler) göre % 70-80 oranında daha fazla enerji tasarrufu sağlamaktadır [19].

Soğuk bölgelerdeki (örneğin Kanada'da) konutları ısıtmak amacıyla çok kaynaklı ısı pompalarının ısıtma mevsimindeki performansını araştırmak için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Bu sistemde güneş kolektörleri ısı pompası için evaporatör görevi yapmakta ve kolektörlerde ısı taşıyıcı akışkan olarak freon gazları kullanılmaktadır. Yapılan çalışmaya göre; çok kaynaklı ısı pompası sistemlerinin ısıtma ve soğutma gerektiren uygulamalar için elektrikli ısıtma sistemlerine alternatif olmaktadır [20].

Konutların ısıtılmasında kullanılan güneş destekli ısı pompasının performansını araştırmak için bir deney düzeneği kuruldu. Bu sistem, farklı kapasiteye sahip iki adet ısı pompası, fotovoltaj tasarımlı kolektör, klasik güneş kolektörü ve ısı depolama tankından meydana gelmiştir. Yapılan deneysel çalışmaların sonucuna göre, bu sistemin ısıtma performans değeri (COP) 3-4.5 arasında bulunmuştur [21].

Çift kaynaklı (hava ve su) ısı pompası sistemi deneysel olarak incelenmiştir. Burada ısı pompasının tek bir evaporatörü olup ısı kaynağı olarak aynı evaporatörle hem dış ortam havası ve hemde su kullanılabilmektedir. Çevre havasının sıcaklığı evaporatöre gönderilen suyun sıcaklığından daha yüksekse o zaman ısı pompası havayı ısı kaynağı olarak kullanmaktadır. Eğer suyun sıcaklığı dış ortam havasından daha yüksekse o zaman ısı pompası ısı kaynağı olarak suyu kullanmaktadır. Yapılan çalışmanın sonucuna göre böyle bir sistem sayesinde aşağıdaki avantajlar elde edilebilmektedir [22]:

a- Isı pompasının boyutları küçülür.

b- Çift kaynaklı ısı pompası sisteminden elde edilen toplam enerji miktarı, hava kaynaklı ısı pompası sisteminden elde edilenden daha fazladır.

c- Sistemde tüketilen elektrik miktarı azalmaktadır.

d- Sistemin ilk yatırım ve işletme maliyetleri düşüktür.

A.B.D 'nin Virgiana eyaletinin Fairfax şehrindeki, Mount Vernon Unitarian kilise binasını ısıtmak için su kaynaklı ısı pompası ve diğer klasik ısıtma sistemleri denenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda su kaynaklı ısı pompasının en düşük ilk yatırım ve işletme masraflarına sahip olduğu belirtilmiştir. Isı pompasının boyutlandırılması, binanın yıllık ısıtma ve soğutma yüküne göre yapılmıştır. Bu sistemdeki ısı pompasının performans katsayısı hava kaynaklı ısı pompasından daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Kilise binasının ısıtılmasında kullanılan su kaynaklı ısı pompasının ortalama mevsimlik performans katsayısı 2.5-3.2 arasında bulunmuştur [23].

Konutların ısıtılması için kullanılan karışık (hybrid) güneş destekli ısı pompaları incelenmiş ve klasik ısı pompaları (hava kaynaklı) ile karşılaştırması yapılmıştır. Yapılmış olan çalışmaya göre, güneş destekli hava ve su kaynaklı ısı pompaları, diğer ısı pompalarına göre % 50 daha fazla enerji tasarrufu sağlamıştır [24].

Belçika'nın Arlon kentinde inşa edilen bir okul binasını ısıtmak için kullanılan güneş destekli-enerji depolu ısı pompası deneysel olarak incelenmiştir. Kurulan bu sistem, 382 m<sup>2</sup> yüzey alanına sahip düzlemsel güneş kolektörleri, toprak altında ve toprak üstünde olmak üzere toplam hacmi 600 m<sup>3</sup> olan enerji depolama tankları, değişik kapasitede iki adet ısı pompası, ısı değiştiriciler ve diğer yardımcı elemanlardan meydana gelmiştir. 1984-1985 yılları arasında yapılan deneysel çalışmaların sonucuna göre, yıllık ortalama kolektör verimi % 41, ısı pompasının COP değeri 3-4 ve önemli ısı kayıplarına rağmen depolama verimi ise % 70 olarak bulunmuştur [25].

Güneş destekli ısı pompaları ile bina ısıtılması incelenmiştir. Yapılan çalışmada, literatürde verilen paralel ve seri ısı pompası sistemi incelenerek, her iki sistemin iyi ve kötü yönleri ortaya çıkarılmıştır. Sistemlerin analizinden elde edilen tecrübeyle daha önceki bu iki sistemin iyi yönleri birleştirilerek üçüncü bir yeni sistem

oluşturulmuştur. Yeni sistem (birleşik güneş destekli ısı pompası sistemi) ile diğer iki sistemin termodinamik analizi yapılarak birbirleri ile karşılaştırılmaları yapılmıştır. Sonuç olarak, birleşik güneş destekli ısı pompası sisteminin ısıtma tesir katsayısının (ITK=COP) diğer iki sistemden daha büyük olduğu ifade edilmiştir [26].

Isıtma amacı ile kullanılan ısı pompalarının Türkiye 'deki potansiyeli teorik olarak incelenmiştir. Yapılan çalışmaya göre, mevcut binalarda ısıtma ve sıcak su ihtiyacı için ısı pompalarının kullanılacağı, ayrıca merkezi ısıtma ile sıcak su sistemine sahip binalarada ısı pompası sisteminin ilave edilebileceği ifade edilmiştir. Böylece klasik ısıtma sistemleri için alternatif bir sistem ortaya çıkmaktadır. Hava-su ısı pompaları bazı kış şartlarında ek bir ısıtıcıya ihtiyaç duyacaklarından, mevcut ısıtma sistemini muhafaza etmek gerekmektedir. Bu tür paralel çalışabilen ısı pompası sistemi en soğuk aylarda bile toplam ısıtma yükünün % 40 'ını karşılayabileceği ifade edilmiştir. Ayrıca yapılan hesaplamalara göre, ısı pompalı sistem yıllık kömür fiyatları ile karşılaştırıldığında, beş yılda kendini amorti edebileceği ve Türkiye'nin en az 30 şehrinde mevcut kış şartlarında kullanılacağı ifade edilmiştir [27].

Toprak kaynaklı ısı pompası sisteminin tasarımı yapılmış ve sistem deneysel olarak incelenmiştir. Bu sistemde salamura (su ve antifriz karışımı) ve soğutucu akışkan devresi olmak üzere iki devre vardır. Bu deney düzeneği toprak altındaki sıcaklık dağılımını ölçmek ve ısı pompasının performans katsayısını belirlemek için gerekli ölçme cihazları ile donatılmıştır. 1985-1986 ısıtma mevsiminin değişken iklim şartlarında ve değişken salamura debisi durumlarında, topraktan alınan ısı miktarı ölçülmüş ve teorik çözüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu ısı pompası sisteminin performans katsayısı Ekim ayı için 1.4, Şubat için 1.1, Mart ve Nisan ayları için 1.3 olarak bulunmuştur [28].

Hava kaynaklı ısı pompasının Türkiye için performans haritaları çıkarılmıştır. Bu çalışmada hava kaynaklı ısı pompasının Türkiye için aylık ve mevsimlik ortalama performans haritaları çıkarılmıştır. Böylece hava kaynaklı ısı pompasının Türkiye için potansiyel durumu ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca, bu çalışmanın sonucunda, Adana ve Antalya gibi güney illerde hava kaynaklı ısı pompaları ile binaların ısıtılmasının ve soğutulmasının çok uygun olacağı ifade edilmiştir [29].





## 2.2. Güneş Enerjisinin Depolanması

### 2.2.1. Giriş

Yapılan hesaplara göre, bu günkü enerji harcama hızına göre dünyanın fosil yakıt rezervleri 100 yıl içinde tamamen tükenecektir. Bu nedenle mühendisler ve araştırmacılar dünyanın her tarafında yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarını araştırmaktadırlar. Ucuz ve verimli enerji depolama sistemlerinin ve cihazlarının geliştirilmesi, yeni enerji kaynaklarının geliştirilmesi kadar önemlidir.

Enerji depolama, enerjinin temini ve gereksinimi arasındaki zaman veya debi uyumsuzluğunu azaltabileceğinden enerji tasarrufunda önemli bir rol oynamaktadır. Enerji israf eden proseslerde enerji depolama önemli ölçüde yakıt tasarrufuna yol açacaktır. Yine enerji depolama işlemi sistemin performansını iyileştirebilecek ve güvenilirliği artıracaktır. Örneğin, enerji depolama yük dengelemeleri vasıtasıyla güç santrallerinin performansını iyileştirebilecektir.

Güneş, bol, temiz ve güvenilir enerji kaynağı sağlar. Yeryüzüne düşen yıllık güneş ışınımı miktarı  $17 \cdot 10^{17}$  kwh dır. Karşılaştırma yaparsak, fosil yakıtlar ile su kaynaklarından elde edilen enerjinin yıllık toplam miktarı yaklaşık olarak  $70 \cdot 10^{12}$  kwh dır. Bununla beraber, güneş enerjisinin etkili bir şekilde kullanımı, toplama, dönüştürme ve depolama veriminin düşüklüğü gibi önemli problemlerden dolayı mümkün olamamaktadır.

Yeryüzüne gelen güneş ışınımı, gündüz-gece çevrimi ve güneş açısındaki mevsimlik değişimler nedeni ile sürekli olamamaktadır. Bununla birlikte yeryüzünün çoğu yerlerinde hareket halindeki bulutların güneşi kapatmasından dolayı önceden tahmin edilemeyen ışınım değişimleri meydana gelmektedir. Böylece güneş enerjisini toplama sistemleri genelde enerjiyi sürekli olarak sağlayamazlar. Çünkü bu sistemlerin bağlı olduğu değişkenler (güneş ışınımı, çevre sıcaklığı, rüzgar hızı v.s.) düzensiz bir şekilde değişmektedir. Diğer taraftan belirli bir zaman aralığında kullanılacak enerji miktarı önceden hesaplanabilir. Ancak

enerjinin kullanım zamanı güneş ışınımının toplandığı zamanlardan farklı olabilir. Bundan dolayı güneş enerjisinin depolanması, özellikle güneş enerjisi sistemlerinde güneşin etkin olduğu zaman ile enerji ihtiyacının olduğu zaman arasındaki uyumsuzluğu gidermekte ve depolanan enerji güneşin etkin olmadığı zamanlarda kullanımını sağlamaktadır.

Güneş enerjisi, fotoliz, absorpsiyon, ısı dönüşüm yada fotovoltaj cihazları yardımı ile direkt olarak kullanılabilen enerji şekline dönüştürülebilir. Böylece güneş enerjisi yakıt, ısı veya elektrik enerjisi şekline dönüştürülerek uygun amaçlar için kullanılır.

Güneş enerjisi günlük, haftalık yada mevsimlik depolanarak gerek görüldüğünde kullanılabilir. Düşük sıcaklıkta ısı dönüşüm (su ısıtma ve yüzey iklimlendirme) yada orta ve yüksek sıcaklık ısı dönüşümü (elektrik üretimi veya endüstriyel proseslerde ısı temini) veya direkt fotovoltajik enerji dönüşümü gibi güneş enerjisi uygulamalarının tümü için enerji depolama olayı, enerji temini ile ihtiyaç arasındaki debi ve zaman uyumsuzluğunu ortadan kaldırabilir. Ancak enerji depolama metodu teknik ve ekonomik yönden uygun ve güvenilir olmalıdır.

### 2.2.2. Güneş Enerjisinin Isı Şeklinde Depolanması

Yüzey ısıtma, konut ve iş yerleri için sıcak su temini ve bina havasının iklimlendirilmesi gibi düşük sıcaklıktaki uygulamalar için güneş enerjisinin ısı şeklinde depolanması önemlidir. Düşük sıcaklıktaki güneş enerjisi uygulama sistemleri genelde çalışma sıcaklığının suyun normal kaynama noktası olan 100 °C yi geçmediği sistemler olarak tanımlanırlar. Bu sıcaklığın altında yapılan enerji depolama işlemleri güneşten elde edilen ısı enerjisinin verimli bir şekilde kullanımına imkan vermektedir. Prensipte olarak, düşük sıcaklıkta enerjinin depolanabilmesi, güneş enerjisinin gündüzden geceye veya yazdan kışa depolanmasına imkan verir. Tablo.2.1 de, ısı depolama maddelerinde aranan özellikler verilmektedir. Depolama verimi günlük % 80, mevsimlik ise % 60 civarındadır.

Tablo 2.1 Isı Depolama Maddelerinde Aranılan Özellikler.

- 
- Birim kütle ve hacminin ısı depolama kapasitesi büyük olmalı.
  - Depolama verimi yüksek olmalı.
  - Çalışma sıcaklık aralığında maddenin özellikleri uygun olmalı.
  - Uniform sıcaklığa sahip olmalı.
  - Sıcaklık gradientleri olmadan fazla miktarda ısıyı yükleyip boşaltabilmeli.
  - Yükleme/boşaltma için tam bir tersinirlik özelliği göstermeli.
  - Performans ve depolama kapasitesinde azalma olmaksızın pek çok sayıda yükleme/boşaltma yapabilmelidir.
  - Yükleme/boşaltma esnasında çevreye çok az ısı kaybı olmalıdır.
  - Isı yükleme ve boşaltma hızı yüksek olmalıdır.
  - Isı depolama ömrü uzun olmalıdır.
  - Ucuz olmalıdır.
  - Korrozif olmamalıdır.
  - Yanıcı ve zehirleyici olmamalıdır.
- 

Depolama sıcaklık aralığı 0 - 90 °C olan üç tip düşük sıcaklıkta ısı depolama sistemi vardır. Bunlar ; duyulur ısı depolama, gizli ısı depolama ve termokimyasal depolama dır. Şimdi bu üç sistemi detaylı olarak inceleyelim.

#### 2.2.2.1. Enerjinin Duyulur Isı Şeklinde Depolanması

Duyulur ısı depolama sistemleri, enerjiyi duyulur ısı şeklinde depolayan maddeleri kullanırlar. Duyulur ısıyı depolayan maddelerden ençok bilinen iki madde su ve taş parçaları (çakıl taşı) dır. Bu maddelerin her ikisinde ucuzdur ve bol bulunurlar, ayrıca kullanım teknolojileri daha iyi bilinmektedir. Bu tip depolamada, depoya ısı yükleme veya depodan ısı çekme esnasında ortamın sıcaklığı değişir [41-56].

Duyulur ısı depolama sistemlerinin etkili olması kullanılan maddenin özgül ısısına ve eğer hacim önemli ise depolama maddesinin yoğunluğuna bağlıdır. Tablo.2.2 de, depolama maddelerinden tipik olanların yoğunluk ve özgül ısı değerleri verilmiştir. Bu tabloda verilen değerlerden görüldüğü gibi, örneğin, 1 m<sup>3</sup> su, 1 °C ısıtıldığı zaman 4190 kJ lük bir enerji depolarken, 1 m<sup>3</sup> hacmindeki kaya ise suyun depoladığı enerjinin hemen hemen yarısı kadar enerji depolamaktadır. Depolama sisteminin performansını ; çalışma sıcaklığı, depolama maddesinin ısıl iletkenliği, en yüksek çalışma sıcaklığında maddenin kararlılığı ve şüphesiz sistemin maliyeti gibi faktörler etki eder.

Tablo 2.2 Duyulur Isı Depolama Maddelerinden Bazılarının Özellikleri.

Madde	Yoğunluk (Kg/m <sup>3</sup> )	Özgül ısı (kJ/Kg.K)
Su	1000	4.19
Taş parçası	2500-3500	0.88
Demir	7860	0.50
Beton	2250	0.65
Su-Etilen Glikol (50/50)	1050	3.47

Duyulur ısı depolama sistemlerinin en cazip özelliklerinden birisi de ısı yükleme ve boşaltma işlemlerinin tersinir olmasıdır. Yani sistemin ekonomik ömrü boyunca bu maddelerin ısıyı depolama ve boşaltma özellikleri devam eder.

Duyulur ısı depolama sistemlerinin genel işletme problemlerinin önemli olanları aşağıda özetlenmiştir :

a- Isı depolama esnasında depolama sıcaklığı sürekli olarak arttığından sistemdeki ısı kayıpları fazladır.

b- Sistemden ısı çekerken (boşaltma durumu) depolama sıcaklığı sürekli olarak düştüğünden ısı akış dağılımı oldukça küçüktür.

c- Isı depolama işlemi, çevre sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklarda olmaktadır. Bundan dolayı sistemde iyibir izolasyon gereklidir ve buda sistemin maliyetini artırmaktadır.

d- Isı pompalarında ısı kaynağı olarak kullanımı sıcaklığın devamlı olarak değişmesi nedeniyle sağlıklı olmaz.

Duyulur ısı depolama, ısı depolama ortamına göre ; sıvı ortamda depolama, katı ortamda depolama ve ikili (karışık) ortamda depolama şeklinde sınıflandırılabilir.

#### 2.2.2.2. Sıvı Ortamda Isı Depolama

Su, ucuz ve bol olarak bulunabilen bir madde olduğundan duyulur ısı depolamada en çok kullanılan sıvı-ortam ısı depolama maddesidir. Tablo.2.3 de duyulur ısı depolama sistemlerinde depolama ortamı olarak kullanılan çeşitli sıvıların termofiziksel özellikleri verilmektedir. Depolama ortamı olarak su kullanmanın bazı avantajları aşağıda özetlenmiştir :

a- Ucuzdur, kolay taşınır, zehirleyici ve yanıcı değildir ve yüzünde bolca bulunmaktadır.

b- Isı kapasitesi diğer sıvılardan büyüktür.

c- Isı transfer ve akışkanlık özellikleri iyidir.

d- Kollektörlerde ısı taşıyıcı akışkan olarak kullanıldığında ısı değiştirici kullanmaya gerek yoktur.

e- Pompalama enerjisine gerek olmadığı zaman sistem zorlanmış konveksiyon yerine doğal konveksiyonla çalışabilir.

f- Depolama tankının kendiliğinden doldurulup boşaltılması mümkündür.

g- Kullanılırken kontrözü, ölçümü ve ayarlanması kolaydır.

h- Teknik, fiziksel, kimyasal ve ekonomik verileri en fazla bilinen maddedir.

Tablo 2.3 Duyulur Isı Depolama için Kullanılan Bazı Sıvı Maddeler.

Ortam	Akış Tipi	Sıcaklık Aralığı (°C)	Yoğunluk (Kg/m <sup>3</sup> )	Isı Kapa. (J/Kg.K)	Isıl İletken. (W/m.K)
Su		0-100	1000	4190	0.63
Su-Etilen					
Glikol(50/50)			1050	3479	
Terminol 55	Yağ	(-18) - (315)		2400	
Terminol 66	Yağ	(-9) - (343)	750	2100	0.106
Etilen Glikol			1116	2382	0.249
Motor Yağı	Yağ	< 160	888	1880	0.145
Lityum	Sıvı tuz	180-1300	510	4190	38.1
Sodyum	Sıvı tuz	100-760	960	1300	67.5
Etanol	Organik sıvı	< 78	790	2400	-
Propanol	"	< 97	800	2500	-
Butanol	"	< 118	809	2400	-
Izobutanol	"	< 100	808	3000	-
Izopentanol	"	< 148	831	2200	-
Oktan	"	< 126	704	2400	-

Isı depolayıcı madde olarak su kullanmanın dezavantajları :

a- Su donabilir yada kaynayabilir. Pek çok bölgelerde donmayı önleyici tedbir gereklidir. Bundan dolayı genelde kollektör döngüsünde bir ısı değiştirici ile birlikte antifiriz maddesine ihtiyaç vardır.

b- Oldukça fazla korrozif özelliğe sahip olduğundan korrozyonu önlemek için sisteme kimyasal katkı maddeleri koymak gerekmektedir.

c- Suda ıslığı tabaka halinde depolamak zor olduğundan bu tür sistemlerde depoda tabakalaşma pek olmaz.

Depolama tankı için çelik, alüminyum, beton, fiberglass ile kaplanmış plastikler gibi pekçok malzeme kullanılabilir. Bu malzemelerin

hepsinin avantajları ve dezavantajları vardır. Depolama tankında korrozyonu önlemek için, çelik tanklar galvanize edilir, yada plastik boyalarla veya neopren gibi kauçuk maddelerle kaplanırlar. Fiberglass dan yapılan veya fiberglass ile kaplanan tanklar korrozyona karşı dayanıklı olduklarından oldukça avantajlıdırlar. Yine depolamada beton tanklar kullanılabilir, özellikle su depolama için yüksek sıcaklıklardaki genleşmeleri dikkate alarak iyibir tasarımla bu tür tanklar kullanılabilir.

Büyük miktarlarda enerji, yeraltında su ile depolanabilir. Bu tür depolamalarda depolama sıcaklığı 200 °C civarında olabilir. Ayrıca organik yağlar, erimiş tuzlar ve sıvı metaller sulu sistemde oluşacak buhar basıncı problemini önlerler, fakat taşıma, depolama, maliyet, depolama kapasiteleri, faydalı sıcaklık aralığı v.s gibi bazı sınırlamalardan dolayı bu tür maddeler bina ısıtma uygulamalarında depolama ortamı olarak pek kullanılmazlar.

Pratikte depolama tankındaki su sıcaklığı, özellikle dikey boyutta uniform olmayacaktır. Soğuk su deponun alttarafında, sıcak su ise deponun üst tarafında olacağından bir ısıl tabakalaşma oluşacaktır.

Depolama tanklarında meydana gelen ısıl tabakalaşmanın üç avantajı vardır :

1- Depolama tankının üst tarafından ortalama depo sıcaklığından daha yüksek sıcaklıkta su alınabileceğinden ısıtma verimi artacaktır.

2- Kollektör giriş suyunun sıcaklığı ortalama depo sıcaklığından daha düşük olduğundan toplama verimi (kollektör verimi) daha iyidir.

3- Tabakalaşmalı depolama tankının sıcaklığı ısı yükünün sıcaklığına göre daha düşük bir ortalama sıcak değerinde olacağından depodan çevreye olan ısı kayıpları azalacaktır.

Güneş enerjisini depolama sistemlerindeki ısıl tabakalaşma olayı bazı araştırmacılar tarafından incelenmiştir.Örneğin, Davis ve Bartera [50] ve Brumleva [51], deneysel olarak yaptıkları araştırmada, tabakalaşmadan dolayı güneş enerjisi ile su ısıtma sistemlerinin ısıl performanslarında % 10 luk bir artışın olduğunu gözlemlediler. Sharp ve Loehrke [52], güneş enerjisi ile bina ısıtma uygulamasında

tabakalaşmalı su depolama kullanıldığı zaman toplam ısıtma yükünün güneş enerjisi ile karşılanan miktarında % 5-15 lik bir artmanın meydana geldiğini ölçtüler. Lavan ve Thomson [53] sıcak su depolama tanklarında tankın yükseklik (uzunluk/çap) oranının ve su giriş-çıkış farklarının artması ile tabakalaşmanın arttığını ve depodan ısı çekme veriminin tasarım parametrelerine bağlı olarak % 40-95 arasında değiştiğini deneysel olarak göstermişlerdir.

### 2.2.2.3. Katı Ortamda Isı Depolama

Suyun yüksek buhar basıncı ve diğer sıvıların kullanılabilirliğinin sınırlı olması gibi sakıncalar ısı enerjisinin kayalar, metaller, beton, kum v.s. gibi katılarda duyulur ısı şeklinde depolanması ile ortadan kaldırılabilir. Güneş enerjisi katılarda yüksek sıcaklıklarda olduğu gibi düşük sıcaklıklarda da depolanabilir. Ayrıca katıların donma kaynama ve kendi kablalarının dışına sızma gibi problemleri de yoktur.

Duyulur ısının depolanması için kullanılan katı maddelerin bazı fiziksel özellikleri Tablo.2.4 de verilmiştir. Hernekadar bu katıların ısı iletkenlikleri ve özgül ısıları oldukça düşük isede arzu edilen bazı fiziksel özelliklere sahiptirler. Bu fiziksel özellikler; yüksek sıcaklıklarda düşük buhar basıncı ve inert olma özellikleridir. Ayrıca ucuz ve bol miktarda olduklarından ısı depolayıcı madde olarak kullanılabilirler. Depolayıcı madde olarak çeşitli maddelerin seçilmesinde ısı kapasitesi önemli bir parametredir. Tablo.2.4 deki maddelerden ısı kapasitesi en büyük olan dökme (pik) demirdir, fakat pahalı olduğundan depolayıcı madde olarak pek kullanılmaz. Bunun yerine genelde çakıl taşları veya kaya parçaları hem ucuz ve hemde kolayca temin edilebilir olmaları nedeniyle tercih edilmektedir. Düşük sıcaklıklarda ısı taşı-



Tablo 2.4 Duyulur Isı Depolama için Kullanılan Bazı Katı Maddeler.

Dopalama Maddesi	Yoğunluk (Kg/m <sup>3</sup> )	Özgül Isı, c (J/Kg.K)	Isı Kap. c*10 <sup>-6</sup> (J/m <sup>3</sup> .K)	Isıl İletken. (W/m.K)	Isıl Yayılma $\alpha=k/ c*10^6$ (m <sup>2</sup> /s)
Alüminyum	2707	896	2.4255	204	20°C de 84.10
Alümin. Oksid	3900	840	3.2760		
Alümin. Sülfat	2710	750	2.0325		
Tuğla	1698	840	1.4263	0.69	29°C de 0.484
Beton	2240	1130	2.5310	0.9-1.3	0.35-0.51
Dökme demir	7900	837	6.6123	29.3	4.431
Saf demir	7897	452	3.5694	73.0	20°C de 20.45
Kalsiyum klörür	2510	670	1.6817		
Bakır	8954	383	3.4294	385	20°C de 112.3
Toprak (yaş)	1700	2093	3.5581	2.51	0.705
Toprak (kuru)	1260	795	1.0017	0.25	0.250
Mağnezyum oksid	3570	960	3.4272		
Potasyum klörür	1980	670	1.3266		
Potasyum sülfat	2660	920	2.4472		
Sodyum karbonat	2510	1090	2.7359		
Sodyum klörür	2170	920	1.9964		
Sodyum sülfat	2700	920	2.4840		
Granit	2640	820	2.1648	1.73-3.98	0.79-1.84
Kumtaşı	2200	710	1.5620	1.83	0.56-0.59
Kireçtaşı	2500	900	2.2500	1.26-1.33	0.99-1.41
Mermer	2600	800	2.0800	2.07-2.94	1.72

yıcı akışkan olarak genelde hava kullanılmaktadır. Kayalar (çakıl taşları), geniş yüzeyli olmaları ve dolgulu yatak boyunca kıvrıntılı hava akış yolu sağladıklarından direkt temasla havaya veya havadan ısıtma ortamına iyibir ısı transferi sağlarlar. Buna ilaveten çakıl taşlarından meydana gelen dolgulu yataktaki ısı kayıpları hava akımı olmadığı zaman çok düşüktür ve hava zayıf bir ısı ileticidir. Bunun için deponun etrafını çok fazla yalıtım gerekmez. Büyük kapasiteli depolar toprak altına uygun bir şekilde yerleştirilebilir. Dolgu yataklı bir depolama sisteminde depolanan enerji, maddenin termofiziksel özelliklerinden başka çakıl taşının boyutu ve şekli, yoğunluğu, ısı transfer akışkanı v.b gibi bazı parametrelere bağlıdır.

Çakıl taşlı ısı depolamanın ana komponentleri; taşların bulunduğu bölüm (depo), çakıl taşlarını desteklemek için gözenekli yapı ve ısı depolama/boşaltma için hava kanallarından meydana gelmektedir. Kaya dolgulu bir depoya güneş enerjisini depolamak için, kollektörlerden gelen sıcak hava (bu tür sistemlerde genellikle havalı kollektörler kullanılmaktadır) çakıl taşlarının olduğu bölmeye gönderilerek burada depolanır. Depolanan bu enerjinin geri alınması (yani ısıtılacak ortama gönderilmesi) çakıl taşlarına hava akışının ters yönde gönderilmesi ile sağlanır. Genelde bu tür sistemlerin maliyetleri düşüktür. Şek.2.4 de, tipik bir dolgulu yatak ısı depolama sistemi görülmektedir. Depolama tankının kesiti boyunca uniform bir akış elde etmek için hava akımını dağıtan vanalar kullanılır. Bu tür depolama sistemlerini kullanmanın avantajları :

a- Depolama malzemesi (çakıl taşı, kaya, kum v.s.) bolca sağlanabilir, kolayca taşınır, zehirleyici ve yanıcı değildir ve ucuzdur.

b- Yüksek sıcaklıklarda ısı depolamak mümkündür.

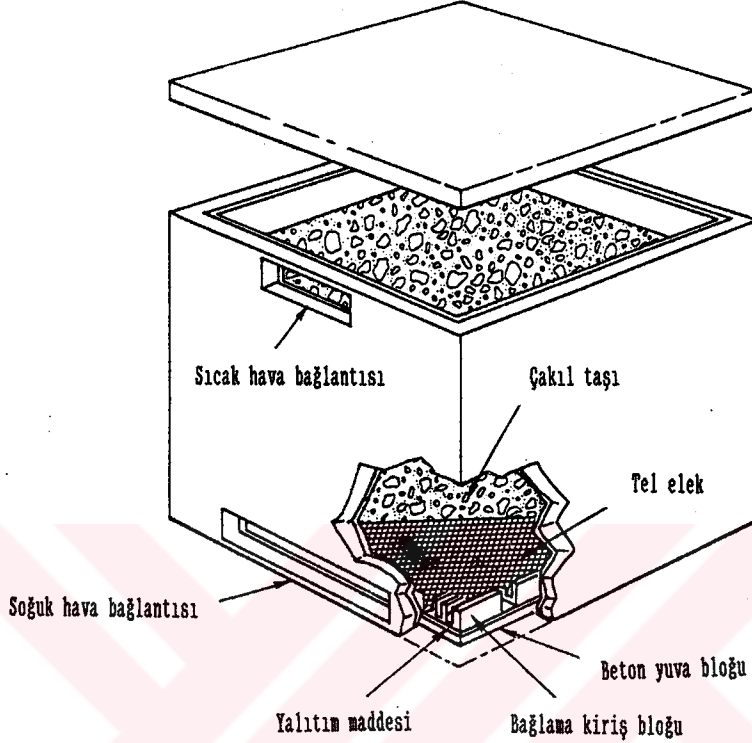
c- Isı değiştiriciler gerekmez.

d- Isı taşıyıcı akışkan olarak hava kullanılırsa, bu durumda donma, kaynama ve korrozyon problemi olmaz.

e- Dolgulu yataklar oldukça etkilidir ve buda enerji depolama verimini artırmaktadır.

Bu sistemlerin dezavantajları :

a- Depolama maddesinin ısı depolama kapasitesi su ve kimyasal ısı depolayıcı maddelere göre daha düşük olduğundan depo hacmi büyüktür.



Şekil 2.4. Dolgulu Yatak Isı Depolama Ünitesi.

b- Özel düzenlemeler yapılmadıkça doğal sirkülasyon (yani sisteme kendiliğinden ısı yükleme ve boşaltma) mümkün değildir.

c- Dolgulu yataktaki basınç düşüşünün yüksek olmasından dolayı hava sirkülasyon maliyeti yüksek olabilir.

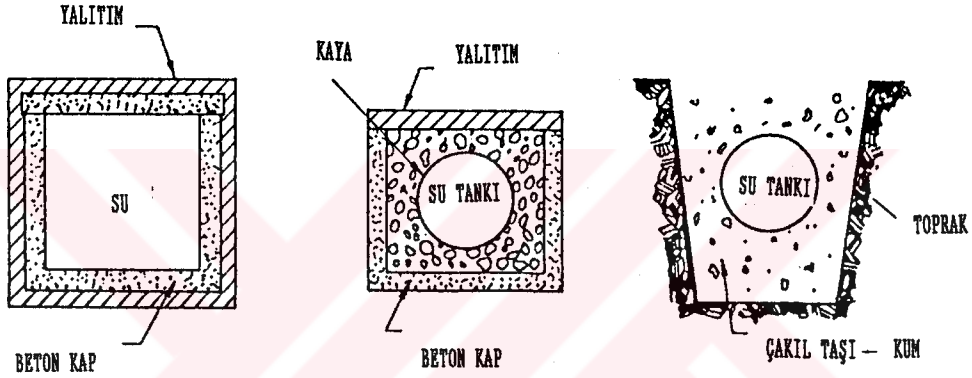
d- Bazı şartlarda yoğuşma, toz, küf ve haşarat problem olabilir.

e- Çakıl taşları yerleştirildikten sonra deponun temizliğini ve diğer bakımlarını yapmak çok zordur.

Pratikte ısı depolamak için, çapı 2-5 cm arasında değişen boyutlarda çakıl taşları kullanılır. Tablo.2.4, de çeşitli ısı depolama maddeleri verilmektedir. Tabloya bakıldığında beton, tuğla, çakıl taşı kireç taşı, granit ve magnezyumlu tuğla bu amaç için uygun olan maddelerdir.

#### 2.2.2.4. İkili Ortamda Isı Depolama

Katı ve sıvı duyulur ısı depolama maddeleri çeşitli şekillerde birleştirilebilirler. Bunlardan bir tanesi, kaya dolgu yatak ile su tankının birleştirildiği hibrid sistemdir. Kaya dolgu ile çevrilmiş su tanklı ikili depolama sistemleri güneş enerjisi ile yüzey ısıtma uygulamalarında kullanılmaktadır. Atomics International (A.B.D) kuruluşu tarafından çalıştırılan üç çeşit hibrid sistem Şekil.2.5 de görülmektedir. İki depolama maddesini birleştiren diğer bir yöntem, çakıl taşı (kaya) ve yağ 'ın tek bir kap içerisinde bulunmasıdır.



Şekil 2.5. Hibrid (ikili) Duyulur Isı Depolama Sistemleri.

#### 2.2.3. Enerjinin Gizli-ısı Şeklinde Depolanması

Uygun sıcaklık aralığında faz değişimine uğrayan maddeler güneş enerjisini depolamak için kullanılabilirler. İşin esası, kolektörlerden toplanan ısı enerjisi maddeye verildiğinde, madde güneş enerjisini füzyon gizli ısısı şeklinde depolayarak faz değişimine uğrar (genelde katı fazdan sıvı faza). Güneş kolektörleri çalışmadığı zaman, enerji depolama maddesi depolanan enerjiyi füzyon ısısı şeklinde ısıtma ortamına verirken kendisi de faz değişimine uğrar (sıvı fazdan katı faza).

Faz değişimi ile ısı depolamada gerekli hacim, duyulur ısıya göre 4-5 kat daha az olduğundan bu durum depo tasarımında önemli bir avantajdır. Örneğin, suyun gizli ısısının duyulur ısısına oranı 80 dir, ki bunun anlamı 1 kg buzun erimesi için gerekli enerji, 1 kg suyun sıcak-

lığını 1 °C artırmak için gerekli enerjiden 80 defa daha büyüktür.

Gizli ısı enerji depolama sistemi en az üç komponentten meydana gelmelidir. Bunlar; istenen sıcaklık aralığında faz değiştirerek enerji depolayabilen bir madde (FDM), maddenin konulduğu depo ve toplanan enerjinin yüksek bir verimle FDM ye ve buradan da ısıtma ortamına taşınması için bir ısı değiştirici.

Faz değiştiren maddelerle enerji depolamada gerekli olan madde özelliklerini, çeşitli uygulamalar için uygunluğunu, avantaj ve dezavantajlarını açıklayan pekçok makale yayımlanmıştır [57-79].

Faz değiştiren maddelerin (FDM) pekçoğunun ısı iletkenliği zayıf pekçoğu az veya çok korrozif etkiye sahip olduğundan bu tür sistemlerde özel depolama kapları gerekmektedir. Bu durum sistemin ilk yatırım maliyetini artırır. Genelde gizli ısı depolama sistemleri su ve çakıl taşı kullanan duyulur ısı depolama sistemlerinden daha pahalıdır.

Bu maddeler su ve çakıl taşlarına göre çok daha pahalı olduklarından, gizli ısı depolama sistemi daha çok aşağıdaki durumlarda uygulanabilmektedir :

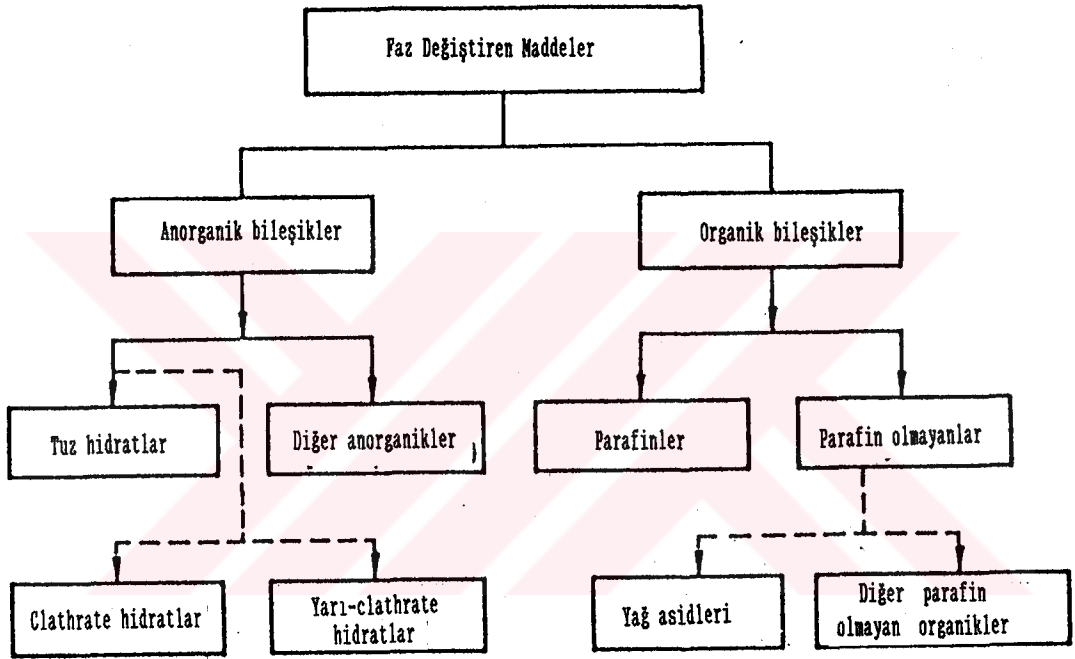
a- Yüksek enerji yoğunluğu veya yüksek enerji kapasitesi gerektiğinde.

b- Isıtma ortamı sabit bir sıcaklıkta veya küçük bir sıcaklık aralığında enerjiye ihtiyaç duyduğu zaman, örneğin güneş destekli ve enerji depolu ısı pompaları ile bina ısıtılmasında.

c- Depo hacminin küçük olması gereken yerlerde.

Yüksek füzyon ısısı ile 0-100 °C sıcaklık aralığında eriyen pekçok sayıda organik ve anorganik kimyasal madde bilinmektedir. Bununla birlikte, bu maddelerin gizli ısı enerji depolama sistemlerinde ısı depolayıcı madde olarak kullanılabilmesi için Tablo 2.5 de verilen termodinamik, kinetik ve kimyasal özellikler göstermeleri gerekmektedir. Ayrıca bu maddeler bolca bulunmalı ve ucuz olmalıdırlar. Faz değiştiren ısı depolama maddelerinin seçimi ile ilgili çeşitli kriterler Tablo.2.5 de verilmektedir.

Güneş enerjisi ile bina ısıtma ve sıcak su temini için optimum işletme sıcaklık aralığı 40-60 °C dir, fakat özel durumlar için bu sıcaklık aralığı 20-80 °C civarında olabilir. Isı pompaları için bu sıcaklık aralığı ise 20-30 °C dır. Bu sıcaklık aralıklarında faz de-ğiştiren ısı depolama maddeleri Şekil.2.6 de görüldüğü gibi organik ve anorganik olmak üzere başlıca iki guruba ayrılırlar.



Şekil 2.6. Faz Değiştiren Isı Depolama Maddelerinin Sınıflandırılması.

Şekil.2.7, 20 - 90 °C arasında faz de-ğiştiren önemli bazı ısı de-polama maddelerinin birim hacimde depoladıkları füzyon gizli ısı miktarlarını vermektedir. Faz de-ğiştiren maddeler üç ana guruba ayrılırlar : (a) tuz hidratlar, (b) parafinler ve (c) parafin olmayan organik maddeler. Ayrıca bu maddelerin birbiri ile oluşturdukları eutektik karışımlarda kullanılabilir.

Tablo 2.5 Faz Değiştiren Maddelerin Seçimi İçin Önemli Kriterler.

---

**(a) Termodinamik kriterler :**

- Erime noktası istenen çalışma sıcaklık aralığında olmalı.
- Birim kütesinin depoladığı füzyon gizli ısı miktarı yüksek olmalı.
- Yoğunluğu yüksek olmalı.
- Özgül ısısı yüksek olmalı, böylece ilave bir duyulur ısının depolanması sağlanmış olur.
- Isı yükleme ve boşaltma esnasında sıcaklık gradientlerinin düşük olması için ısı iletkenliği yüksek olmalı.
- Erime anında katı ve sıvı fazlar bileşim bakımından aynı olmalı, yani uygun bir erime özelliği göstermeli.
- Faz geçiş esnasında hacimdeki değişimler küçük olmalı.

**(b) Kinetik kriterler :**

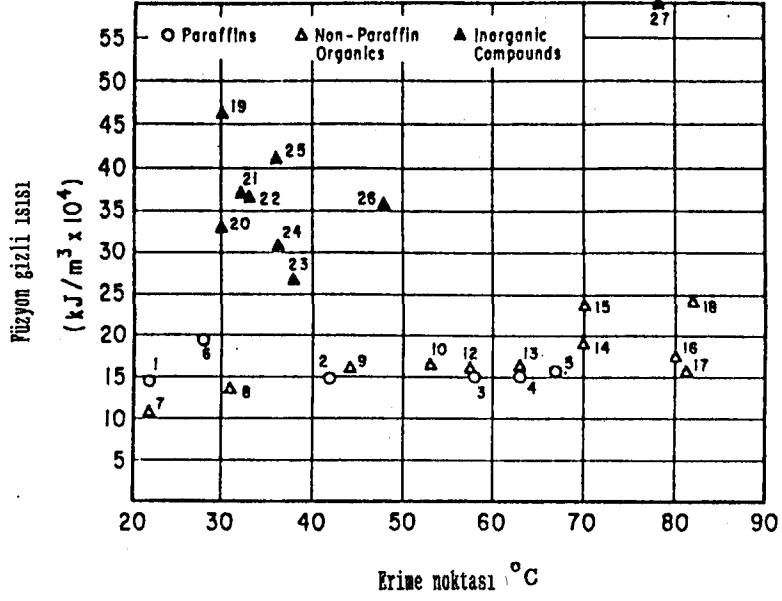
- Donma esnasında aşırı soğuma göstermemeli veya çok az göstermeli. Erimiş madde kendi termodinamik donma noktasında kristallenmeli. Bunu sağlamak için çekirdekleşme ve kristallenmenin büyüme hızları yüksek olmalıdır. Aşırı soğumayı önlemek için ortama çekirdekleştirici veya soğuk bir cisim ilave etmek gerekmektedir.

**(c) Kimyasal kriterler :**

- Kimyasal olarak kararlı olmalıdır.
- Sistemin ekonomik ömrü boyunca kimyasal yapı bozulmamalıdır.
- Yapı malzemelerini korozyona uğratmamalıdır.
- Madde yanıcı, zehirleyici ve patlayıcı olmamalıdır.

**(d) Ekonomik kriterler :**

- Madde kolay ve bol bulunmalı.
  - Ucuz olmalıdır.
-



a. Parafinler	b. Organik Bileşikler	c. Anorganik Bileşikler
1 Parafin	7 Kaprik asid	19 $\text{LiNO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
2 Parafin	8 Poliglitol E 600	20 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
3 Parafin	9 Laurik asid	21 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
4 Parafin	10 Miristik asid	22 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
5 Parafin	11 Poliglitol E 4000	23 $\text{CaBr} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
6 Oktadekan	12 Loksiol G32	24 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
	13 Palmitik asid	25 $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
	14 Stearik asid	26 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
	15 Bifenil	27 $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
	16 Naftalin	
	17 Propionamid	
	18 Asetamid	

Şekil 2.7. Faz Değiştiren Çeşitli Kimyasal Maddelerin Gizli Isı Depolama Kapasiteleri.

### 2.2.3.1. Tuz Hidratlar

Faz değiştirme sıcaklık aralığı 0-150 °C olan anorganik maddelerin en önemli gurubunu tuz hidratlar oluşturmaktadır. Genelde suda çözünen tuz hidratlar kullanılır. Tuz hidratların çoğunda bulunan en önemli problem donma-erime olayında faz oluşturmalarıdır. Erime esnasında salıverilen kristalizasyon suyu ortamdaki katı fazı çözmek için yeterli değildir (sonuçta oluşan çözelti erime sıcaklığında aşırı doygundur). Katı faz, sıvı faza göre daha yüksek yoğunluğa sahip olduğundan



bulunduğu kabın dip tarafına çöker. Tersinir işlem esnasında (örneğin kristalizasyon) çöken tuzun önemli bir kısmı kristallenmesi gerekli olan su ile temasa gelmez. Bunu önlemek için ilave karıştırma işlemine gerek vardır.

Pekçok tuz hidrat için genel olan ikinci bir problem, katılaşma esnasında tuz hidratın aşırı soğumasıdır. Soğuma esnasında, katılaşma veya kristallenme erime noktasında meydana gelmez. Kristal oluşum hızı (çekirdekleşme) çok düşüktür. Çözelti aşırı soğumaktadır, örneğin makul bir çekirdekleşme hızından önce bir kaç derece ile erime noktasının altında soğuma olmaktadır. Aşırı soğumadan dolayı madde beklendiği gibi depoladığı enerjiyi erime noktasında geri vermez.

Tuz hidratların en cazip özellikleri hacimde sadece az bir değişimle yüksek füzyon gizli ısısına ve oldukça yüksek ısı iletkenliğe (organik maddeler ile karşılaştırıldıklarında) sahip olmalarıdır. Ayrıca bu maddeler çok fazla korrozif değildirler. Isı depolama uygulamalarında kullanılabilecek ucuz ve bol bulunan tuz hidratlar vardır.

Tuz hidratlardaki aşırı soğuma aşağıdaki vasıtalarından biri ile önemli miktarda azaltılabilir :

(a) Maddenin kristal yapısına benzeyen küçük bir kristal parçasının ilavesi ile faz değiştiren maddenin kristallerinin büyümesi sağlanabilir.

(b) Heterojen çekirdekleşmeyi ilerletmek için pürüzlü ısı değiştirici yüzeyi ve pürüzlü kapsül (veya kap) duvarları gibi mekanik vasıtalar kullanmak.

(c) FDM 'de "soğuk cisim" tutmak veya FDM 'de soğuk bir bölge oluşturarak çekirdekleşmeyi sağlamak.

Erime sırasında ortaya çıkan problem ise aşağıdaki yöntemlerden biri ile çözülebilir :

(a) Susuz tuzun çökmesini önlemek veya süspansiyonda daha az hidrat tutmak için koyulaştırıcı bir madde kullanmak.

(b) Faz ayrılmasını önlemek için karıştırma, titreştirme v.s gibi mekanik yöntemler kullanmak.

(c) Katıları çözmek için ortama fazla su ilave etmek. Ortamda fazla su olduğundan erimiş hidrat kristalleri aşırı doygun bir çözelti meydana getirmezler.

(d) Faz ayrılmasını azaltmak için FDM yi kapsül içerisine koymak.

Tuz hidratlar, metalik kapları korrozyona uğratabileceğinden, bu maddeler için plastik kapların kullanılması korrozyon yönünden avantajlıdır. Ancak ısı iletim problemi vardır.

#### 2.2.3.2. Parafinler

Parafinlerin pekçoğu "alkanlar" olup, genel formülleri  $C_nH_{2n+2}$  dır. Metandan ( $CH_4$ ) pentana ( $C_5H_{12}$ ) kadar olan alkanlar oda sıcaklığında ve atmosfer basıncında gazdırlar.  $C_5H_{12}$  ile  $C_{15}H_{32}$  arasındaki bileşikler sıvıdır ve 15 karbondan fazla olan bileşikler ise oda sıcaklığında mumumsu (wax) katılıktadırlar. Bu maddelerin erime noktaları ve füzyon ısıları molekül ağırlığının artması ile artar. Böylece, karbon sayısı 14-40 arasında olan bileşikleri seçerek erime noktası 6-80 °C olan ve ısı depolama için kullanılabilen parafin hidrokarbonları seçmek mümkündür. Parafinler ucuz olmaları, bol bulunmaları ve daha kararlı olmalarından dolayı ısı depolama maddesi olarak tercih edilirler. Faz değiştiren depolama maddesi olarak parafinlerde bulunan bazı cazip özellikler aşağıda verilmiştir :

- a- Bol ve ucuz olarak bulunabilirler,
- b- Korrozif ve oksitleyici değildirler,
- c- Geniş bir erime noktası sıcaklık aralığında bulunabilirler,
- d- Yüksek füzyon gizli ısısına sahiptirler,
- e- Faz geçişleri süratlidir,
- f- Kimyasal olarak kararlıdırlar,
- g- Yoğunlukları düşüktür,
- h- Önemsiz miktarda aşırı soğuma gösterirler,
- i- Düşük miktarda aşırı doygunluğa sahiptirler,
- j- Kendi kendilerine çekirdekleşebilirler,
- k- Erime noktasındaki hacim değişimleri düşüktür.

Parafinler, tuz hidratlarla karşılaştırıldıklarında hacimsel enerji depolama yoğunlukları daha düşüktür. Hernekadar erime ve katılaşma esnasında hacimlerinde % 10 'luk bir değişme oluyorsa da, bu maddeler enerji depolamak için FDM olarak kullanılabilirlerdir. Bu maddeler erime anında faz ayrılma problemi göstermezler ve çekirdekleştiriciye gerek duymayacak kadar kendi kendine çekirdekleşme özelliği gösterirler. Parafinler, tuz hidratlar ve diğer faz değiştiren maddelerle karşılaştırıldıklarında faz geçişi için en iyi kinetik özelliği gösterirler. Bununla birlikte bu maddelerin ısı iletkenlikleri zayıftır ve ısı değiştirici tasarımında özel bir dikkat gerektirirler. Ayrıca, ekonomik olarak sadece teknik saflıkta parafinler kullanılır ve bunların erime noktası aralığı geniştir. Eğer sıcaklık aralığı wax 'ın erime noktasının çok üstünde ise, o zaman madde FDM olarak kullanılma özelliğini kaybeder. Parafinler plastik kaplarda depolanmaları için uygun olmadıklarından metalik depolama kapları kullanılmalıdır.

#### 2.2.3.3. Parafin Olmayan Organik Maddeler

Bunlar faz değişimi ile enerji depolama için kullanılabilir maddelerin en geniş kategorisini teşkil ederler. Lane ve diğ. [59] bu organik maddeler üzerinde geniş bir araştırma yaptılar ve enerji depolamak için uygun olan pekçok yağ asitleri, alkoller ve glikolleri tespit ettiler. Bu organik maddelerin bazı özellikleri aşağıda verilmektedir :

- a- Yüksek füzyon ısısı,
- b- Kolayca tutuşabilme,
- c- Düşük ısı iletkenlik,
- d- Düşük alevlenme noktası,
- e- Değişen miktarlarda zehirlilik,
- f- Yüksek sıcaklıklarda kararsızlık.

Bu organik maddeler daha çok yağ asitleri ve diğer parafin olmayan organik maddeler olarak alt guruba ayrılırlar. Yağ asitlerinin genel formülü  $CH_3(CH_2)_{2n}COOH$  olup, füzyon ısı değerleri parafinlerle karşı-

laştırılacak kadar yüksektir. Yine yağ asitleri tersinir erime ve donma davranışı gösterirler, ayrıca donma esnasında aşırı soğuma göstermezler. Yağ asitlerinin fiyatları yüksek olduğundan genelde ısı depolama maddeleri olarak tercih edilmezler. Bu gruptaki diğer organik maddelerde yağ asitlerine benzer davranışlar gösterirler.

Güneş enerjisini depolama uygulamaları için, özellikle düzlemsel güneş kolektörleri ile enerji depolamada, 30 - 100 °C 'lık sıcaklık aralığı uygundur. Bu sıcaklık aralığı için parafinler, su ve tuz hidratlar dikkate alınabilir. Tablo 2.6, faz değişimi ile enerji depolamak için kullanılan bazı inorganik bileşiklerini vermektedir. sadece bu maddeler zehirleyici olmayıp, ucuz ve bol bulunmaktadır. Bunlardan kalsiyum klörür heksahidrat ve sodyum sülfat dekahidrat en çok kullanılan, bol ve ucuz enerji depolama maddeleridirler. Özellikle kalsiyum klörür heksahidrat daha ucuz olması ve diğer tuz hidratlara göre daha iyi ısı kararlılık göstermesinden dolayı üzerinde en çok çalışılan FDM maddelerinin başında gelmektedir [57-79].

Tablo 2.6 Enerji Depolamada En Çok Kullanılan Tuz Hidratlar.

Tuz hidratlar	e.n.(°C)	Yoğunluk				
		(kg/m <sub>3</sub> )	Q(kJ/kg)	Q(kJ/m <sub>3</sub> )	\$/kg	\$/m <sub>3</sub>
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .10H <sub>2</sub> O	31.6	1460.0	252.16	368158	0.26	378.18
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .10H <sub>2</sub> O	32-36	1440.0	248.48	357810	0.29	410.29
CaCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	27-32	1710.0	187.49	320609	0.17	291.04
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> .12H <sub>2</sub> O	36.0	1520.0	274.22	410820	0.61	926.05

#### 2.2.3.4. Isı Değiştiriciler

Gizli ısı enerji depolama sistemi (GIEDS), toplanan güneş enerjisini ısı depolama maddesine ve daha sonrada ısıtma ortamına transfer etmek için bir ısı değiştiriciye sahip olmalıdır. GIEDS sistemlerinde kullanılan ısı değiştirici aşağıdaki gereksinimleri karşılamalıdır :

a- Deponun, enerjiyi hızlı bir şekilde depolaması ve boşaltması (yani ısıtılacak ortama vermesi) için ısı değiştirici yüksek ve etkili bir ısı transfer hızı sağlamalıdır. Bu durum, faz değiştiren ısı depolama maddelerinin pek çoğunun ısıl iletkenliğinin düşük olduğu dikkate alındığında, gizli ısı enerji depolama uygulamasında oldukça önemlidir. İyi bir ısı transfer hızı sağlamak için en iyi yöntem, depolama ortamında doğal yada zorlanmış konveksiyon etkileri (örneğin ortamın karıştırılması) yapmaktır.

b- Isı değiştiriciler, deponun yüklenmesi ve boşaltılması için sadece küçük sıcaklık gradientlerine izin vermelidirler.

c- Ayrıca ısı değiştiriciler yüksek ısı transferi sağlamalıdır

Gizli ısı enerji depolama sistemlerindeki ısı değiştiriciler iki kategoriye ayrılırlar :

1- Passif Isı Değiştiriciler : Bunlar hareketli parçaları olmayan ısı değiştiricilerdir. Tipik olarak küçük çaplı (30-50 mm) borulardan veya FDM ile doldurulmuş yassı tavalardan (20-30 mm derinlik) meydana gelmiştir. Borular birbirleriyle kabuk (shell) ve boru tipi ısı değiştiricilerde olduğu gibi bağlanarak borular arasında oluşan boşluklardan ısı transfer akışkanı akabilir.

2- Aktif Isı Değiştiriciler : Genelde bu ısı değiştiriciler faz değiştiren ısı depolama maddesini karıştırarak tuz hidratlarda meydana gelen faz ayrılmasını önlemek için yapılan cihazlardır.

Pekçok durumda, ısı depolama maddesi (FDM), plastik şişeler, borular, teneke kutular ve plastik ince torbalar gibi kaplar içine doldurulabilir. Fakat bu kapsül malzemesinin ısıl iletkenliğinden daha düşük olmamalıdır. Plastik kaplar pekçok uygulama için uygun olabilirler

Kapsüller, yüksek basınç düşüşlerine yolaçmayacak ve iyi bir ısı transfer yüzeyi sağlayacak şekilde deponun içine yerleştirilmelidirler

#### 2.2.4. Termokimyasal Depolama

Termokimyasal depolama sistemleri, endotermik tersinir bir kimyasal reaksiyon meydana getirmek için dışarıdan ısı alırlar ve daha sonra oluşan bu reaksiyon aldığı ısıdan daha fazla bir ısıyı reaksiyon sonunda ortama verir ve tersinir olarak sürekli bir şekilde meydana gelir. Bina ısıtma ve soğutma gibi düşük sıcaklık uygulamaları için ısının depolanmasında kimyasal reaksiyonları kullanan sistemleri geliştirmek için yapılan teşvikler, duyulur ısı (sensible heat) ve faz değiştiren gizli ısı (latent heat) enerji depolama maddelerine göre bazı avantaj sağlarlar. Bu avantajlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

a- Isı çevre havasının sıcaklığına yakın sıcaklıklarda depolanabilir ve bundan dolayı depolama tankının yalıtımı önemli bir problem teşkil etmez.

b- Isı özel kolektörler olmaksızın çevreden alınabilir ve böylece sistemin maliyetinde azalmalar sağlanabilir.

c- Enerji yükleme ve boşaltma sıcaklıkları sabit tutulabilir.

d- Kimyasal reaksiyonlarla ısı depolama potansiyeli belirli bir depo hacmi için daha büyüktür.

e- Kimyasal reaksiyon sonucu üretilen ısı kayıplar olmaksızın depolanabilir ve kolayca taşınabilir.

Güneş enerjisini depolamak için kullanılacak olan reaksiyon aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır :

a- Reaksiyon tersinir olmalıdır.

b- Fotosentezleştirici ortama ilave edilsin veya edilmesin, reaktant atmosferdeki güneş ışınımını mümkün olduğu kadar fazla kullanmalıdır.

c- Reaksiyon sonunda depolanan enerji en azından 200 kJ/Kg değerinde olmalıdır.

d- Reaktantlar ucuz olmalıdır.

Termokimyasal enerji depolama sistemlerinin bazı dezavantajları :

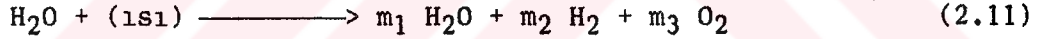
a- Reaksiyon ürünlerinin depolanmasında kullanılacak depoların maliyeti yüksektir.

b- Zehirleyici özellik, yanma tehlikesi ve diğer emniyet tedbirlerini almak teknik ve ekonomik yönden ciddi problemlere yolaçabilir.

Hernekadar düşük sıcaklık uygulamalarında enerji depolama amacı için kimyasal reaksiyonları kullanmak gittikçe cazip hale geliyorsa da, henüz bu tür enerji depolama sistemlerinin pratik olarak kullanılması yaygın değildir [45,80].

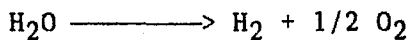
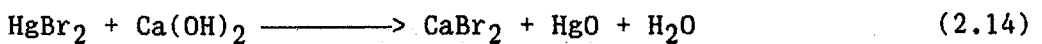
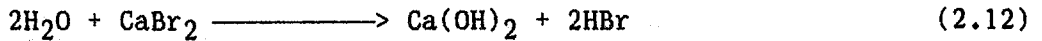
Termokimyasal reaksiyonlara tipik bir örnek olarak hidrojen üretimi verilebilir. Aslında burada güneş enerjisinin kullanılabilirdiği başlıca dört hidrojen üretim metodu vardır. Bunlar ; direkt ısı, termokimyasal, elektrolitik ve fotolitik metodlardır.

Eğer su (buhar) 3000 K veya daha fazla sıcaklığa ısıtılırsa, hidrojen ve oksijene ayrılmaya başlar ve bu reaksiyon aşağıdaki gibi ifade edilebilir :



burada  $m_1$ ,  $m_2$  ve  $m_3$  mol kesirleri olup maddeler gaz halindedirler.

Termokimyasal proseslerde, hidrojen üretimi için iki veya daha fazla kimyasal reaksiyon kademeleri gerekmektedir. Örnek olarak aşağıda, % 50 verimle ve 730 °C da dört kademede oluşan reaksiyon verilmektedir :

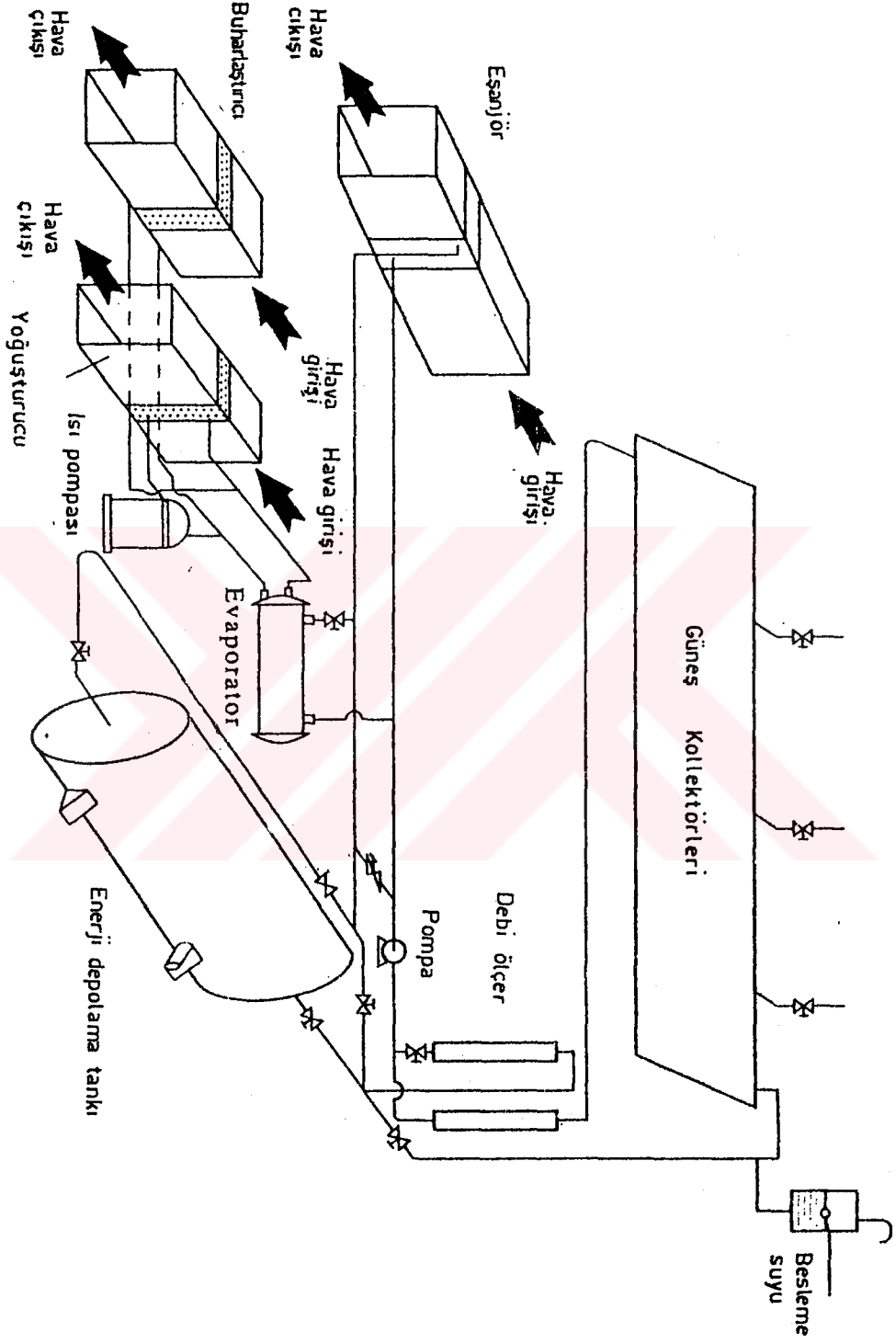


### 3. DENEY DÜZENEGİ

Deney düzeneği, Şekil 3.1 'de şematik olarak ve Şekil 3.2 'de ise güneş kolektörleri hariç fotoğrafıyla gösterilmektedir. Bu düzenek, 18 adet su soğutmalı düzlemsel güneş kolektörleri, bir adet enerji deposu, çift evaporatör ve tek kondensörlü ısı pompası, su-hava ısı eşanjörü, sıcak havanın ısıtılacak ortama gönderildiği ısıtma kanalları, ısıtma ortamı olarak kullanılan  $75 \text{ m}^2$  lik laboratuvar, bir adet su sirkülasyon pompası ve diğer yardımcı elemanlardan meydana gelmiştir. Güneş kolektörlerine gidiş hattı üzerine, su sirkülasyon pompası, bypass devresi, bir adet rotametre, su sayacı ve su akışını yönlendirme vanaları yerleştirilmiştir. Ayrıca güneş kolektörlerinden dönen su hattı üzerine bir adet rotametre yerleştirilmiştir. Kolektör yüzeyine gelen toplam güneş ışınımı Kipp-Zonen solarimetresi ile (solar pyranometer) ölçülerek ona bağlı integratörde kaydedilmiştir. Deney düzeneğindeki enerji deposu, güneş kolektörlerinden toplanan ısı enerjisini depolamak amacıyla kullanılmıştır. Deponun içine, toplanan güneş enerjisini gizli ısı (latent heat) şeklinde depolamak için tuz hidrat olarak kalsiyum klorür heksahidrat ( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) konulmuştur. Kurulmuş olan deney düzeneğindeki ısı pompası, hava ve su kaynaklı iki evaporatör, bir adet hava soğutmalı kondenser, tam hermetik kompresör, soğutucu akışkan deposu, serbest genişleme kutusu, kurutucu (filtre), yan geçiş devresi, iki adet termik kısılma vanası, selenoid valf, alçak ve yüksek basınç prosestatı ve sekiz adet manometreden meydana gelmiştir. Isı pompasında soğutucu akışkan olarak R-22(klorodifloro metan- $\text{CHClF}_2$ ) kullanılmıştır. Ayrıca deney düzeneğinde güneş kolektörlerinden sıcak suyun enerjisini ısıtma ortamına direkt olarak vermek için bir adet sudan-havaya ısı değiştirici kullanılmıştır.

Şimdi de yukarıda kısaca anlatılan deney düzeneğinin her bir elemanını daha detaylı olarak inceliyelim :





Şekil 3.1. Deneysel Düzenek'inin Şematik Olarak Görünüşü.



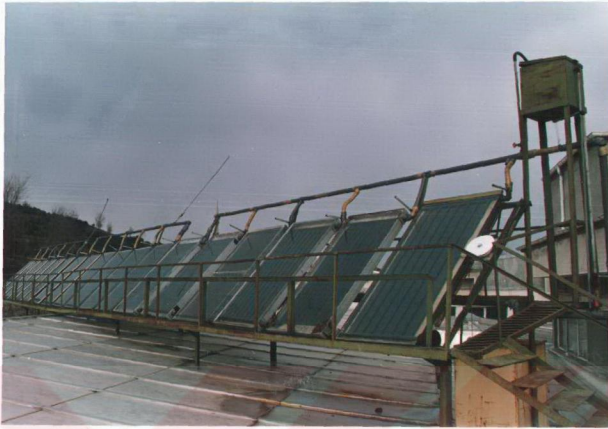
Şekil 3.2. Deney Düzenekinin Kısmen Görünüşü.

### 3.1. Güneş Enerjisi Düzenekİ

Güneş enerjisi düzenekİ, bağlantıları ile birlikte 18 adet su soğutmalı düzlemsel güneş kolektörleri ile solarimetre ve ona bağılı integratörden meydana gelmiştir. Aşağıdaki bölümde güneş enerjisi düzenekini oluşturan elemanların teknik ve yapısal özellikleri açıklanmıştır.

#### 3.1.1. Düzlemsel Güneş Kolektörleri

Şekil 3.3 'de görüldüğü gibi deney düzenekinde, 18 adet düzlemsel güneş kolektörü kullanılmıştır. Güneş kolektörleri Trabzon için eğim açısı yazın  $28^\circ$  ve kış için  $48^\circ$  olacak şekilde kuzey-güney doğrultusunda güneye yönelik olarak yerleştirilmiştir. Güneş kolektörlerinin 13 adetinin güneş enerjisi absorbe eden absorblayıcı panosu, alüminyum malzemeden imal edilmiştir. Diğer 5 kolektörün absorblayıcı panosu, saç üzerine 1/2" 'lik su boruları kaynak edilerek imal edilmiştir.



Şekil 3.3. Düzlemsel Güneş Kollektörleri ve Su Takviye Tankı.

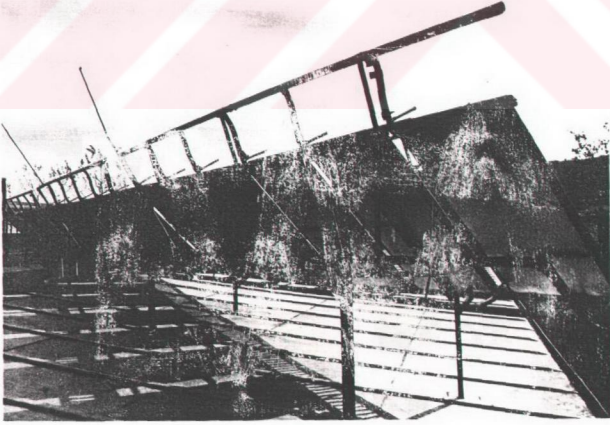
Kollektörlerin hepsinde, absorblayıcı levha ile kasa arası 6 cm kalınlığında cam yünü ile yalıtılarak ısı kayıpları en düşük seviyeye indirilmeye çalışılmıştır.

Tablo 3.1. Düzlemsel Güneş Kollektörlerinin Teknik Özellikleri

	Alüminyum	Sac
Dış ölçüler	: 1.9 * 0.9 * 0.09 m	1.99 * 0.99 * 0.12 m
Faydalı alan	: 1.6 m <sup>2</sup>	1.6 m <sup>2</sup>
Ağırlığı	: 50 Kg	75 Kg
Basınca dayanıklılığı	: Max. 20 bar	Max. 20 bar
cam örtü sayısı	: 1 adet	1 adet
$(\tau\alpha)_e$	: 0.80	0.80
$F_R$	: 0.85	0.85

### 3.1.2. Güneş Enerjisi Tesisatının Boru Donanımı ve Bağlantıları

Güneş enerjisi sisteminde, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4 'den de görüldüğü gibi güneş kollektörlerinin sayısı çok olduğundan, güneş kollektörlerinin boru bağlantıları paralel-seri düzeninde yapılmıştır. Güneş kollektörleri birbirleri ile seri olarak bağlanmış üç ana guruptan meydana gelmiştir. Her bir guruptaki 6 adet kollektörde birbiri ile kendi arasında paralel bağlanmıştır. Güneş kollektörlerindeki suyun gidiş ve dönüş ana boruları 1 1/4 " lük galvanizli borulardan yapılmıştır. Ana dağıtma ve toplama borularının kollektörlere bağlantısı kolay sökülüp açılması bakımından 1 " lik plastik hortumlarla yapılmıştır. Ayrıca kollektörlerin her birinin girişine vana, çıkışına kazan termometresi yerleştirilmiştir. Dönüş (toplama) borularına üç ayrı noktada her bir gurubun sonuna da hava tahliye vanası konulmuştur. Yine kollektörlere giden su borusu üzerine su sirkülasyon pompası, yan geçiş (by-pass) devresi, su sayacı ve 1000 Kg/saat kapasiteye sahip bir adet rotametre yerleştirilmiştir. Güneş kollektör sistemindeki boruların ısı yalıtımı klima flex boru izolasyon malzemesiyle yapılmıştır.



Şekil 3.4. Güneş Kollektörlerinin Arka Kısmından Görünüşü.

### 3.1.3. Su Takviye Tankı (İmpisat Deposu)

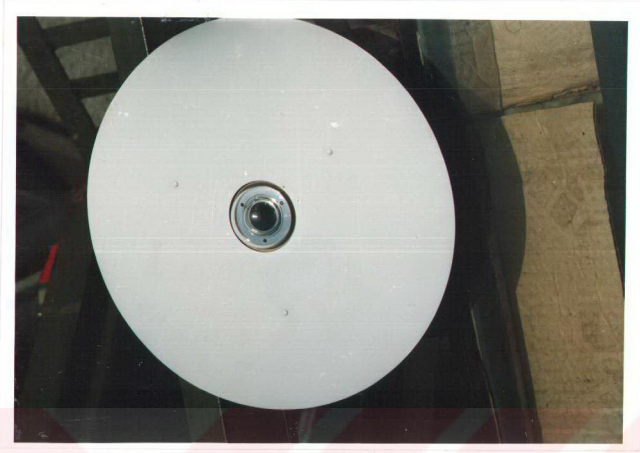
Sistemde olabilecek su kayıplarını karşılamak için kollektörlerin en üst noktasından 70 cm yükseğe, kollektörlerin kuzey-doğu ucunun baş kısmına, 50 \* 40 \* 50 cm boyutlarında, Şekil 3.3 de görüldüğü gibi bir tank yerleştirilmiştir. Bu tank taban kısmından 1/4 " lık boru ile enerji deposunun tabanına bağlanarak sistemdeki su eksilmeleri ve hacim genişlemeleri önlenmiştir. Ayrıca gidiş borusuna, aynı çaptaki borudan bir dirsek ve vana yardımı ile bağlantı yapılarak enerji deposu çalışmazken sistemde eksilen suyun buradan karşılanması sağlanmıştır. Ayrıca takviye tankından eksilen suyu takviye etmek için 1/4 " lik boru ile şebeke suyu şamandıraya bağlanmıştır.

### 3.1.4. Solarimetre ve Kaydedici (integratör)

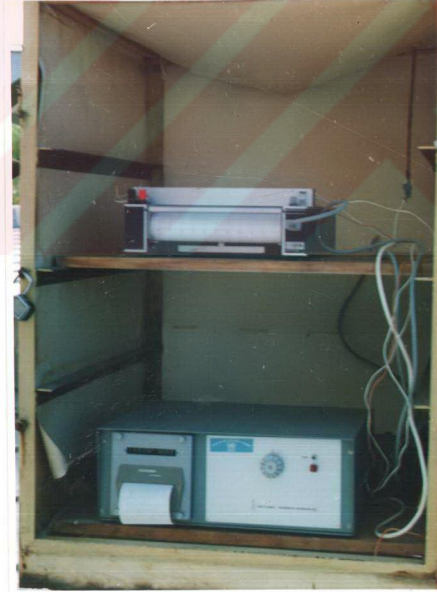
Düzlemsel güneş kollektörleri yüzeyine gelen toplam güneş ışınımı deney esnasında Şekil 3.5 de görülen Kıpp-Zonen solarimetresiyle ölçülmüştür. Ölçülmüş olan bu değerler, Şekil 3.6 da görülen ve solarimetreye bağlı olan integratörde kaydedilmiştir. Solarimetre çatıda güneş kollektörlerinin yanına ve kollektörlerle aynı eğimle monte edilmiştir. Integrator ile ona bağlı kaydedici de dış etkilerden korunacak şekilde kapaklı uygun bir saç dolap içerisinde solarimetreye yakın bir yere yerleştirilmiştir.

### 3.2. Enerji Deposu

Enerji deposu, güneş kollektörlerinde toplanan ısı enerjisini faz değiştiren kimyasal madde ile gizli ısı şeklinde depolayan bir tanktır. Depo, Şekil 3.7 de görüldüğü gibi yarı çapı 65 cm ve boyu 320 cm olarak silindirik biçimde 3 mm sac dan imal edilmiştir. Depo orta kısmından iki parçaya ayrılacak şekilde 50 ayrı noktadan somunlu civata ile, araya plastik özel conta koyarak birleştirilmiştir. Bu deponun içine kimyasal maddelerin doldurulduğu plastik şişeleri yerleştirmek için, 10 mm \* 20 mm lik lama demirden deponun iç çapı ile aynı



Şekil 3.5. Kipp-Zonen Solarimetresi.



Şekil 3.6. Solarimetre Integratörü ve Kaydedicisi.

boyutta çemberler yapılmıştır. Bu çemberlerin araları 4 mm demir tel-lerle birleştirilerek plastik şişelerin yerleştirilebileceği boyutlar- da elekler yapılmıştır. Deponun içine giren suyun dağılımını sağlamak için deponun iç tarafının ön ve arka kısmına tam daire şeklinde 1.5 mm sac 'dan imal edilmiş ayna ve ara kısımlara da biri alt ve diğeri üst bölgede olmak üzere üç adet yarım daire şeklinde kesilmiş 1.5 mm ka- lınlığında sac monte edilmiştir. Deponun içine önceden laboratuvar- da uygun bir şekilde hazırlanmış olan 1500 Kg kalsiyum klorür heksahidrat 1 litre hacminde silindirik plastik (PVC) şişeler içine doldurularak yerleştirilmiştir. Deponun içindeki sıcaklık dağılımını ölçmek için deponun üst kapağı beş ayrı noktadan eşit aralıklarla delinerek termo- eleman bağlama parçaları monte edilmiştir. Depodan çevreye olan ısı kayıplarını minimum seviyeye indirmek için, depo 5 cm kalınlığında izocam ile yalıtılmıştır.



Şekil 3.7. Enerji Deposu.

### 3.2.1. Isı Enerjisini Depolayan Kimyasal Madde

Bilindiği gibi düşük sıcaklık (20-100 °C) ısı depolama uygulamaları için iki tür depolama kullanılmaktadır. Birincisi duyulur ısı (sensible heat) depolama, diğeri ise gizli ısı (latent heat) depolama yöntemidir. Bu çalışmada, güneş kolektörlerinden toplanan güneş enerjisini depolamak için gizli ısı enerji depolama metodu seçilmiş ve enerji depolayıcı madde olarak da düşük sıcaklıkta faz değiştiren ticari saflıkta  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  kullanılmıştır. Çünkü, daha önce ifade edildiği gibi (bakınız Bölüm 2), kalsiyum klörür hekza hidrat hem ekonomik hemde ısısız ve kimyasal kararlılık bakımından diğeri faz değiştiren kimyasal maddelerden daha iyi sonuç vermektedir. Bilindiği gibi kalsiyum klörür soda fabrikalarında yan ürün olarak elde edildiğinden daha ekonomik olmaktadır.

Susuz olarak satın alınan bu maddeye labratuvarda teorik miktarın (ağırlıkça % 51  $\text{CaCl}_2$  ve % 49  $\text{H}_2\text{O}$ ) biraz fazlası su ilave edilerek çözümlü içine kristallenmeyi sağlamak için çekirdekleştirici olarak kimyasal maddenin ağırlığının % 2-4 oranında merk  $\text{KNO}_3$  (% 99,8 saflıkta) ilave edilerek kalsiyum klörür hekza hidrat hazırlanmış ve 1 litre lik PVC şişelere doldurularak enerji deposuna yerleştirilmiştir. Tablo 3.2 de, kalsiyum klörür hekza hidratın bazı teknik özellikleri verilmiştir. Depolama amacıyla kullanılan kimyasal madde miktarı oldukça fazla olduğundan (800 kg susuz  $\text{CaCl}_2$ ) teknik saflıkta tuz hidrat kullanılmıştır. Böylece hem depolama maliyeti azalmakta ve hemde maddenin içinde bulunan diğeri safsızlıklar (% 5-8 oranında  $\text{KCl}$ ,  $\text{NaCl}$  vs.) sayesinde tuz hidrat daha iyibir erime-katılaşma özelliği göstermektedir. Fakat maddenin safsızlığı % 92-95 arasında değiştiğinden ısı depolama kapasitesi merk maddeye göre biraz daha az olmaktadır (165-170 kJ/kg). Bununla birlikte, ekonomik faktörler dikkate alındığında uygulamada ucuz olan teknik saflıkta madde kullanmak oldukça uygun olmaktadır.



Tablo 3.2. Kalsiyum klorür hegzahidratın bazı fiziksel özellikleri.

Erime noktası	: 28 - 30 °C
Yoğunluk	: 1500 kg/m <sup>3</sup>
Depoladığı gizli ısı	: 45 kcal/kg
Aşırı soğuma derecesi	: 1 °C (çekirdekleştirici ilavesiyle)
Isı depolama kapasitesi	: 7.6*10 <sup>4</sup> kcal/m <sup>3</sup>
Gözlenen ısı çevrim sayısı	: 800 (literatürde 3200)
Fiyat	: 0.30 \$/kg
Yanıcılık ve zehirleyicilik	: yok
C <sub>p</sub> k (özellik ısı)	: 0.34 kcal/kg°C
C <sub>p</sub> s (özellik ısı)	: 0.50 kcal/kg°C

### 3.3. Isı Pompası Düzeneği

Deney düzeneğinde Şekil 3.8 de görüldüğü gibi hava ve su kaynaklı olarak çalışabilen çift evaporatörlü ısı pompası kullanılmıştır. Yani ısı pompası çift ısı kaynaklı olup, istendiğinde sistemdeki vanalar yardımı ile hava veya su kaynaklı olarak çalıştırmak mümkündür.



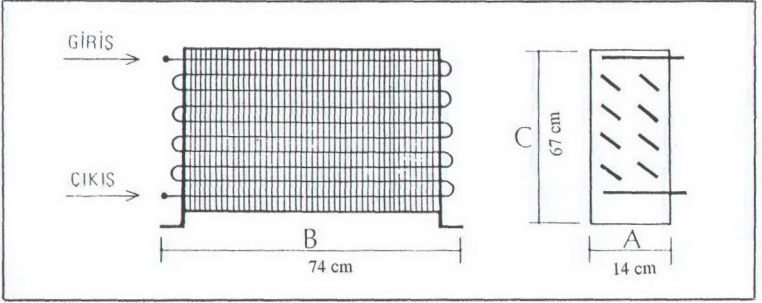
Şekil 3.8. Hava ve Su Kaynaklı Isı Pompası Sistemi.

### 3.3.1. Kondenser

Isı pompası sisteminde hava soğutmalı kondenser kullanılmıştır. Kondenser kapasitesi 11 kWh (9460 kcal/h) ısı verecek şekilde seçilmiştir. Kondenslerden hava akışını sağlamak için Şekil 3.9 'dan da görüldüğü gibi kondenslerin hava kanalının emme tarafına yerleştirilmiş olan 37 cm çapında 110 W lık bir adet fan kullanılmıştır. Kondenser kanatlı olup 3/8 " lık bakır borudan imal edilmiştir. Ayrıca kanat malzemeleri alüminyum levhadan seçilmiş ve kanat aralığı 3.5 mm olacak şekilde yapılmıştır.



Şekil 3.9. Sistemdeki Hava Akışını Sağlayan Fanlar.



Şekil 3.10. Hava Soğutmalı Kondenserin Şematik Görünüşü.

### 3.3.2. Evaporatörler

Isı pompası sistemi, hava ve su kaynaklı olmak üzere iki evaporatörden meydana gelmiştir.

#### 3.3.2.1. Hava Kaynaklı Evaporatör

Isı pompası sisteminde ısı kaynağı olarak dış ortam havasını kullanmak için Şekil 3.8 'de de görüldüğü gibi bir adet hava kaynaklı evaporatör (ısıyı havadan R-22 gazına aktaran ısı değiştirici) kullanılmıştır. Evaporatörün maksimum kapasitesi 9.5 kWh (8170 kcal/h) olacak şekilde seçilmiştir. Evaporatörden hava akışını sağlamak için Şekil 3.9 da görüldüğü gibi hava kanalının emme tarafına yerleştirilmiş 250 W lık radyal bir fan kullanılmıştır. Evaporatör kanatlı olup 3/8 " lik bakır borulardan imal edilmiştir. Yine kanat malzemeleri alüminyum levhadan seçilmiş ve kanat aralığı 3 mm olacak şekilde imal edilmiştir.

#### 3.3.2.2. Su Kaynaklı Evaporatör

Isı pompası sisteminde ısı kaynağı olarak güneş kolektörlerinden enerji deposuna gelen sıcak suyu kullanmak için Şekil 3.11 de dıştan ve Şekil 3.12 de ise şematik olarak görülen bir adet su kaynaklı eva-

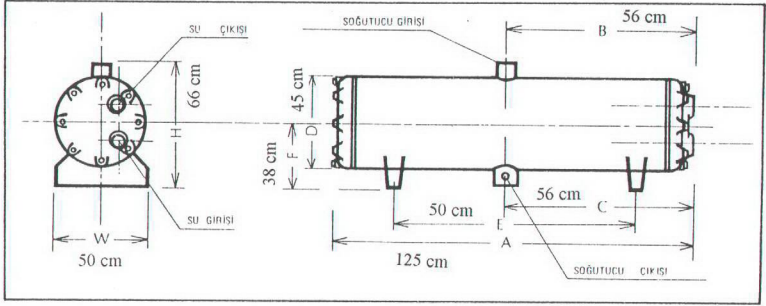
poratör (ısıyı sudan R-22 gazına aktaran ısı değiştirici) kullanılmıştır. Su kaynaklı evaporatör hava kaynaklı evaporatörle aynı kapasitede olacak şekilde seğilmiştir. Evaporatörün toplam ısı transfer alanını  $2 \text{ m}^2$  olarak belirlenmiştir. Sistemde dolaşan suyun sirkülasyonunu sağlamak için 40 W lık bir su sirkülasyon pompası kullanılmıştır.

### 3.3.3. Kompresör

Isı pompası düzeneğinde, soğutucu akışkan olarak R-22 kullanan tam hermetik kompresör kullanılmıştır. Kompresörün teknik özellikleri Tablo 3.3 de ve şematik olarak görünüşü ise şekil 3.13 de verilmiştir. Ayrıca,ısı pompası sisteminin kompresörünün dıştan görünümü şekil 3.14 de verilmiştir.



şekil 3.11. Su Kaynaklı Evaporatör.



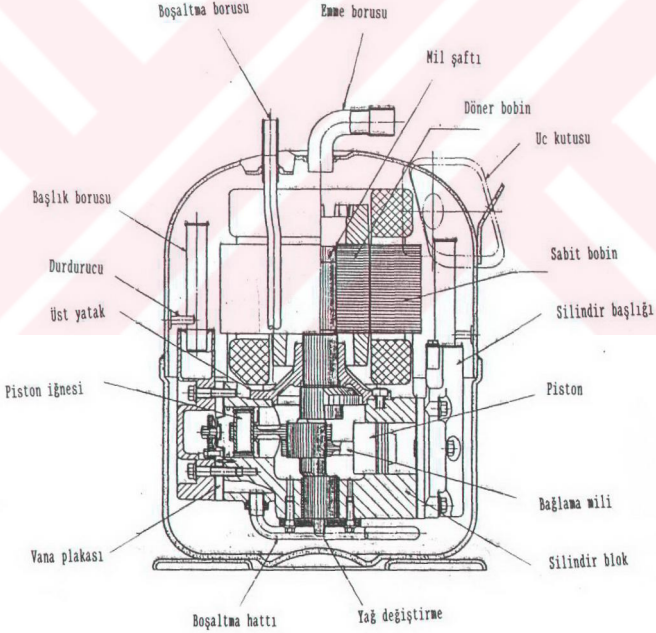
Şekil 3.12. Su Kaynaklı Evaporatörün Şematik Görünüşü.

Tablo 3.3 Kompresörün Teknik Özellikleri.

Marka	: DWM COPELAND
Model	: DCRD 1 - 0200
Nominal voltaj	: 220 - 240/1/50
kapasite	: 5820 W (aşağıdaki şartlarda)
Güç harcaması	: 2.07 kW (aşağıdaki şartlarda)
buharlaştırma sıcaklığı	: 7.2 °C
yoğunlaşma sıcaklığı	: 54.4 °C
emme-gaz sıcaklığı	: 35.0 °C
sıvı-alt-soğuma	: 8.3 K
R-22 50 Hz	
Yerdeğiştirme 2900 dev./dak.	: 7.16 m <sup>3</sup> /h
Yağ doldurma	: 1.5 litre
Soğutucu doldurma	: 2.7 kg (max.tavsiye edilen)
Max. çalışma basıncı	: 25 bar
Net ağırlığı	: 28 Kg

### 3.3.4. Termik Kısılma Vanası

Isı pompası deney düzeneğinde 3/8 " lik iki adet termik kısılma vanası kullanılmıştır. Bunlardan bir tanesi hava kaynaklı evaporatörün girişine, diğeri ise su kaynaklı evaporatörün girişine yerleştirilmiştir. Termik kısılma vanası soğutucu akışkanın basıncını ve sıcaklığını düşürmeye yarar. Sıcaklığa duyarlı olan ucu evaporatörün çıkışına temas edecek şekilde yerleştirilmiştir. Termik kısma vanasının bu hassas ucu buharlaştırıcıdan çıkan soğutucu akışkanın kızgınlığına göre buharlaştırıcıya gidecek olan R-22 gazının miktarını ayarlamaktadır.



Şekil 3.13. Kompresörün Şematik Görünümü.



Şekil 3.14. Kompresörün Dıştan Görünümü.

### 3.3.5. Kurutucu ve Yangeçiş (By-pass) Devresi

Kondensördeki soğutucu akışkanın basıncı atmosfer basıncının altına düştüğü zaman, sistem ne kadar iyi izole edilirse edilsin sisteme dışarıdan bir miktar hava sızıntısı olacaktır. Havanın içinde bulunan su buharı dar kesitlerden geçerken donarak soğutucu akışkanın geçmesini engeller. Bu durum, ısı pompasının performansının düşmesine yol açmaktadır. Bunu önlemek için ısı pompasının kondenseri ile termik kısılma vanası arasına 3/8 " lik kurutucu konmuştur. Kurutucu içinde bulunan silikajel maddesi soğutucu içindeki su buharını ve diğer yabancı maddeleri soğutucu gazdan ayırmaktadır. Kurutucu bozulduğu veya tıkanıldığı zaman, ısı pompasının çalışmasını sağlamak için kurutucuya paralel olarak sisteme yangeçiş (by-pass) devresi konulmuştur.

### 3.3.6. Alçak ve Yüksek Basınç Prosestatı

Kompresörün alçak ve yüksek basınç kısmına otomatik olarak kumanda edebilen bir cihazdır. Isı pompası düzeneğinde prosestat, kompresö-

rün girişine ve çıkışına birer ucundan bağlanarak monte edilmiştir. Buharlaştırıcının basıncı, ayarlanan basıncın altına düştüğü zaman alçak basınç prosestatı otomatik olarak kompresörün elektrik motoruna kumanda ederek kompresörü durdurur. Yüksek basınç prosestatı da aynı şekilde sistemde meydana gelecek aşırı basınç yükselmesi (ayarlanan basınçtan daha büyük basınç) durumunda kompresörü otomatik olarak durdurur. Böylece kompresörün aşırı güç çekerek yanması engellenmiş olur. Yukarıda ifade edilen nedenlerden dolayı ısı pompası düzeneğine emniyetli çalışmayı sağlamak için iki adet prosestat yerleştirilmiştir.

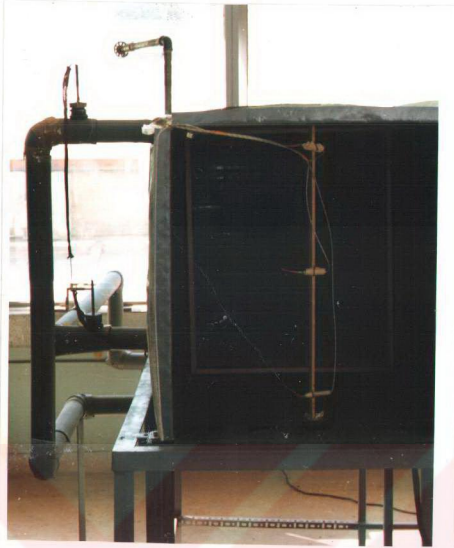
### 3.3.7. Selenoid Vanası

Selenoid vanası termik kısılma vanası gibi soğutucu akışkanın geçişine kumanda eder. Soğutucu akışkan borusu üzerinde bulunan selenoid vananın açılıp kapanması elektromanyetik olarak yapılmaktadır. Selenoid vananın kumanda ucu kompresörün elektrik motoruna bağlanmıştır. Kompresörün motoru her hangi bir sebeple durduğu zaman, selenoid vana otomatik olarak sistemde dolaşan soğutucu akışkanın geçişini durdurmaktadır. Böylece meydana gelebilecek teknik arızalar önlenmiş olmaktadır.

### 3.4. Sudan-Havaya Isı Eşanjörü

Deney düzeneğinde, güneş kolektörlerinden gelen sıcak suyun ısısını ısıtma ortamına direkt olarak göndermek için sudan-havaya ısı transfer eden bir adet ısı değiştirici kullanılmıştır. Şekil 3.15 de görülen bu ısı değiştirici, tasarım olarak kondensere benzemektedir. Tek fark, kondenserde kanatçıkların arasındaki bakır boruların içinden R-22 gazı dolaşırken, burada boruların içinden kolektörlerden gelen sıcak su dolaşmakta ve ısısını ısıtma ortamına gönderilen havaya vermektedir. Kullanılan ısı eşanjörünün kapasitesi maksimum 11 kWh olarak seçilmiştir. Isı eşanjörü kanatlı olup 17.17 mm çapında bakır borulardan imal edilmiştir. Bakır boruların etrafındaki kanatçıklar alüminyum levhalardan yapılmıştır. Kanatçıkların kalınlığı 0.404 mm olup, kanat-





Şekil 3.15. Sudan-Havaya Isı Eşanjörü.

çıklar arası mesafe 3.27 mm olarak imal edilmiştir. Isı eşanjörünün soğutulması için emme kanalı tarafına Şekil 3.9 da görülen 37 cm çapında 90 W lık ve dönme hızı 1350 devir/dakika ( $3\ 200\ m^3/dak.$ ) olan bir adet fan konulmuştur.

### 3.5. Su Sirkülasyon Pompası

Deney düzeneğinde kolektörlere gidiş hattı üzerine, Şekil 3.16 da görülen su sirkülasyon pompası ve by-pass devresi yerleştirilmiştir. Kullanılan su sirkülasyon pompası, ısı pompasının su kaynaklı evaporatöründen veya sudan-havaya ısı değiştiricisinden çıkan suyun kolektörlere yada enerji deposuna gönderilmesini, kısacası sistemdeki suyun dolaşımını sağlamaktadır. Su sirkülasyon pompasının teknik özellikleri Tablo 3.4 de verilmiştir.

Tablo 3.4 Su Sirkülasyon Pompasının Teknik Özellikleri.

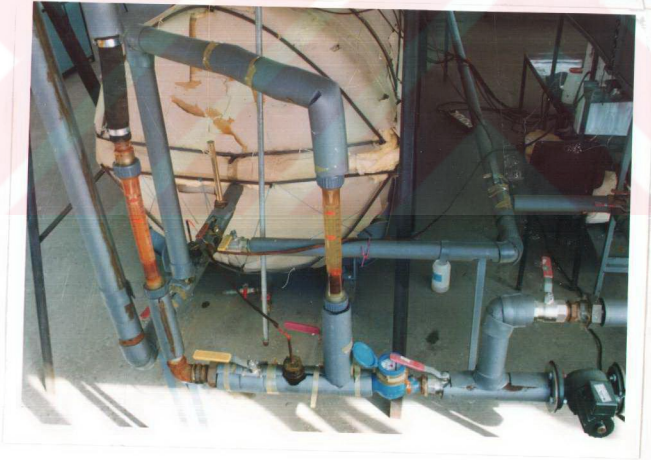
---

Markası	: Alarko
Gücü	: 40 W
Debisi	: 2600 Kg/h
Basma Yüksekliği	: 5.6 mSS

---

### 3.6. Su Sayacı ve Rotametreler

Deney düzeneğine sistemde dolaşan suyun debisini ölçmek için Şekil 3.16 da görüldüğü gibi bir adet su sayacı ve iki adet rotametre yerleştirilmiştir. Rotametrelerden biri kollektöre gidiş hattı üzerine



Şekil 3.16. Su Sirkülasyon Pompası, Su Sayacı ve Rotametreler .

diğeri ise kollektor d6nüş hattı üzerine monte edilmiştir. Rotametrelerin kapasiteleri maksimum 1000 Kg/saat olup, sistemdeki su debisi bu miktarın üzerine çıkarıldığında ise debi ölçümü su sayacı ile yapılmaktadır.

### 3.7. Termoeleman Bağlama Parçaları

Sistemdeki termoeleman bağlama parçaları, bir ucu kapalı silindirik bakır boru kullanılarak ölçüm yerine monte edilecek şekilde imal edilmiştir. Termoelemanın (demir-konstantan çifti) içinde bulunduğu bir ucu kapalı silindirik bakır boru, soğutucu akışkanın içinde dolaştığı bakır borulara lehimlenerek, termoeleman bağlama parçası ile soğutucu akışkanın bulunduğu bakır boru arasından soğutucu akışkanın sızması önlenmiştir. Deney düzeneğinde dolaşan suyun sıcaklıklarını ölçmek için bir ucu kapalı silindirik bakır borular hazırlanmıştır. Sarı pirinç malzemeden özel kapaklar yapılmış ve orta kısımlarından delinerek silindirik bakır borular açık olan uçlarından bu kapaklara lehim yapılarak gerekli sızdırmazlık sağlanmıştır. Bu termoeleman bağlama parçaları, su tesisatındaki borulara bağlanacağı yere T boru bağlantısı ile beraber bağlanmıştır. Ayrıca, enerji deposu için hazırlanan termoeleman bağlama parçaları, deponun üst kapağından açılan beş ayrı noktadaki deliklere manşon ile birlikte kaynak edilerek monte edilmiştir. Termoeleman bağlama parçalarındaki bakır borular ısı iletim katsayısı yüksek olan madeni yağ ile doldurulduktan sonra, termoeleman çifti izolasyonlu olarak bakır boru içerisine yerleştirilip ağzı tıpa ile kapatılmıştır.

### 3.8. Isıtma Kanalları

Isı pompasının kondenserinden çıkan sıcak havayı ısıtılacak ortama ve ısıtılan ortamdanda tekrar kondensöre göndermek için Şekil 3.17 da görülen ısıtma kanalları kullanılmıştır. Böylece ısı pompası hava kanalları ile ısıtma ortamına bağlanarak sıcak havanın sürekli olarak dolaşımı sağlanmıştır. Isıtma kanalları 10 m boyunda, 30 cm kesitinde

olup 0.5 mm kalınlığındaki sac dan kare Őekliinde imal edilerek kondenserin giriş ve çıkışına monte edilmiŐlerdir. Ayrıca ısıtma kanalları 3 cm kalınlığındaki izolasyon maddesi ile yalıtılarak ısı kayıpları en dŐŐk seviyeye indirilmiŐtir.

### 3.9. Isıtma Ortamı

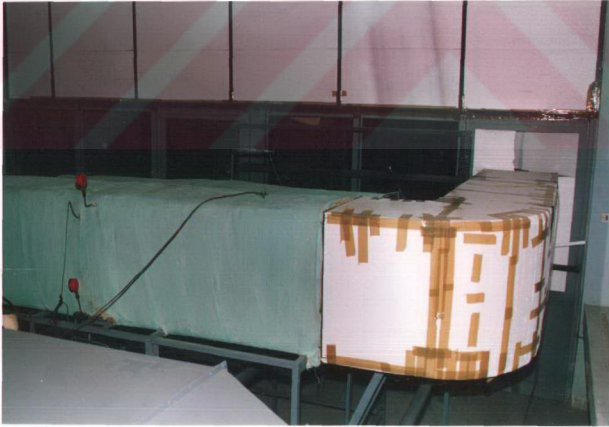
Isıtma ortamı olarak 75 m<sup>2</sup> döŞeme yŐzeyi olan, 12,5 \* 6 \* 3,5 m boyutundaki laboratuvar binası kullanılmıştır. Bina, normal betonarme yapı olup, ikinci katta yer almaktadır. Binanın çatısı alüminyum ile kaplanmıŐtır, fakat duvarlarda, dŐŐemede ve tavanda herhangi bir ısı yalıtım malzemesi yoktur. Binanın yapısal özellikleri Tablo 3.5 de verilmiştir.



Şekil 3.17 (a). Isıtma Kanallarının Görünüşü .

Tablo 3.5. Laboratuvar Binasının Yapısal Özellikleri.

Pencere yüzeyi (tek cam, $U = 4.8 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C-gün}$ )	: 75 $\text{m}^2$
Duvar yüzeyi (tek tuğla, $U = 1.6 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C-gün}$ )	: 60 $\text{m}^2$
Döşeme yüzeyi (beton, $U = 2.5 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C-gün}$ )	: 75 $\text{m}^2$
Çatı yüzeyi (beton-metal, $U = 2.0 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C-gün}$ )	: 75 $\text{m}^2$
Etkili $U^*A$ [(kWh/( $^\circ\text{C-gün}$ ))]	: 0.800
Boyutlar (metre)	: 3.5 * 6 * 12.5
Konfor sıcaklığı	: 20 $^\circ\text{C}$
Binanın mevsimlik ortalama ısı yükü (kcal)	: $17.2 * 10^6$



Şekil 3.17 (b). Isıtma Kanallarının Görünüşü.

#### 4. DENEY SIRASINDA ÖLÇÜLEN DEĞERLER

Deneyleerde, her yarım saatte bir aşağıdaki ölçümler yapılmıştır.

- a- Güneş ışınım ölçümü
- b- Sıcaklık ölçümü
- c- Debi ölçümü
- d- Basınç ölçümü
- e- Güç ölçümü

##### 4.1. Güneş Işınımının Ölçümü

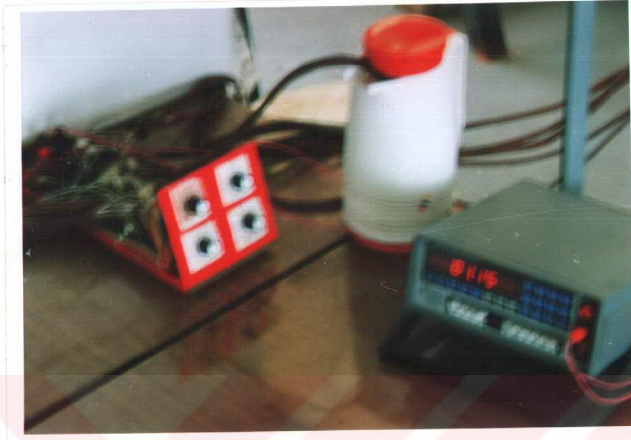
1991 ve 1992 yıllarında ısıtma mevsimi boyunca hergün güneş ışınımı Kipp-Zonen solarimetresi ile ölçülerek solarimetreye bağlı integratörde kaydedilmiştir. Solarimetre her iki ayda bir kalibrasyon cihazı ile kalibre edilmiştir.

##### 4.2. Sıcaklık Ölçümü

Yapılan deneyler süresince sistemin çeşitli yerlerinden (Şek.5.2) soğutucu akışkan, sistemde dolaşan su ve hava kanallarındaki havanın sıcaklıkları demir-konstantan termoeleman çifti ve Şekil 4.1 de görülen multimetre yardımı ile ölçülerek kaydedilmiştir. Ayrıca ısıtma ortamı ile dış ortam sıcaklıkları saatte bir termometreler yardımı ile ölçülmüştür.

##### 4.2.1. Soğutucu Akışkanın Sıcaklık Ölçümleri

Deney düzeneğinde ısı pompasının kompresörünün, kondenserinin, hava ve su kaynaklı evaporatörlerinin giriş ve çıkış noktalarında soğutucu akışkanın sıcaklıkları yine aynı termoeleman çiftleri ve multimetre yardımı ile ölçülmüştür.



Şekil 4.1. Sıcaklık ölçümlerinde kullanılan Kanal Seçici Multimetre ve Termos.

#### 4.2.2. Sistemde Dolaşan Suyun Sıcaklık Ölçümleri

Deney düzeneğinde, güneş kolektörlerinin, su kaynaklı evaporatörün, sudan-havaya ısı değiştiricisinin ve enerji deposunun giriş-çıkışı ile deponun çeşitli noktalarındaki suyun sıcaklıkları yine aynı ölçüm sistemi ile ölçülerek multimetrede milivolt olarak kaydedilmiştir.

#### 4.2.3. Sistemde Hava Kanallarındaki Sıcaklık Ölçümleri

Deney düzeneğinde, hava kaynaklı evaporatörün, kondenserin ve sudan-havaya ısı eşanjörünün hava kanallarının giriş ve çıkışlarının belirli yerlerine (Şekil 5.2) 12 adet termoeleman çiftleri yerleştirilerek bu noktalarındaki havanın sıcaklıkları ölçülmüştür.

#### 4.3. Sistemdeki Debi Ölçümleri

Deney sırasında sistemde dolaşan suyun ve hava kanallarındaki havanın debileri ayrı ayrı ölçülerek kaydedilmiştir.

#### 4.3.1. Sistemde Dolaşan Suyun Debisinin Ölçümü

Sistemde dolaşan suyun debisi su sayacı ve kollektör gidişi ile dönüş hattına yerleştirilen iki adet rotametre yardımı ile ölçülerek kaydedilmiştir. Rotametrelerin maksimum kapasiteleri 1000 Kg/saat olduğundan, sistemde dolaşan suyun debisi bu değer üzerinde olduğu zaman debi ölçümü su sayacı ile yapılmıştır.

#### 4.3.2. Sistemdeki Hava Kanallarının Debisinin Ölçümü

Deney düzeneğindeki hava kaynaklı evaporatör, kondenser ve sudan-havaya ısı değiştirici kanallarındaki hava debilerinin ölçümü için kanalların çıkışındaki basınç farkı mikromanometre ve prandil tüpü yardımı ile taranarak ölçülmüştür. Bu basınç farklarından yararlanarak hava kanallarındaki ortalama basınç farkları hesaplanmıştır. Bu basınç farkları ile her bir hava kanalındaki ortalama hız ve buradanda hava kanallarından geçen havanın debisi hesaplanmıştır.

#### 4.4. Sistemdeki Basınç Ölçümü

Isı pompası sisteminde kompresör, hava ve su kaynaklı evaporatör ve kondenserin girişi ve çıkışındaki soğutucu akışkanın basınçları manometrelerle ölçülerek kaydedilmiştir. Basınç ölçümünde kullanılan manometreler tekrar kalibre edilmiştir.

#### 4.5. Sistemdeki Güç Ölçümü

Deney düzeneğinde kullanılan fanlar, su sirkülasyon pompası ve kompresörün çektiği güç, Şekil 4.2 de görülen ve TEK Trabzon Bölge Müdürlüğünden temin edilen özel bir wattmetre cihazı ile ölçülerek kaydedilmiştir. Bu wattmetre cihazı hem sistemin çekmiş olduğu enerjiyi kWh olarak vermekte ve hemde sistemin 15 dakikalık zaman aralığı için ortalama gücü watt olarak okuma imkanını sağlamaktadır.



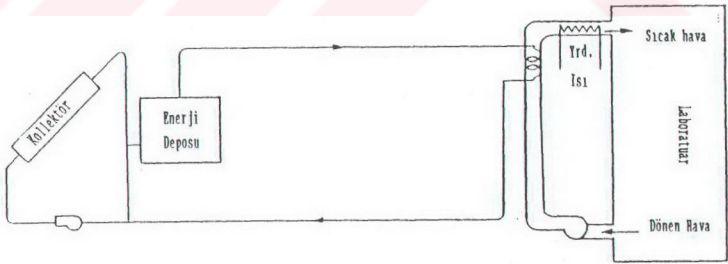


Şekil.4.2. Elektrik Sayacı.

## 5. İNCELENEN SİSTEMLER VE DENEYLERİN YAPILIŞI

Bu çalışmada, binaların ısıtılması amacıyla geleneksel güneş ısıtma sistemi ile geleneksel ısı pompası sisteminin birlikte kullanılmaları ve kendi aralarında karşılaştırılmaları yapılmıştır. Aktif güneş enerjisi ile ısıtma sistemi, Sekil 5.1 de görülen standart sulu ısıtma sistemidir. Bu sistem, geleneksel su soğutmalı düzlemsel güneş kolektörleri, depolama tankı, ısıtma kanallarına yerleştirilmiş sudan havaya ısı değiştirici, yardımcı ısıtıcı (elektrikli ısıtıcı), geleneksel kontrol ve ölçüm cihazlarından meydana gelmiştir. Isı pompası sisteminin güneş enerjisi ile birlikte kullanıldığı üç temel sistem vardır, bunlar :

- a- Güneş destekli ve enerji depolu seri ısı pompası sistemi.
- b- Güneş destekli ve enerji depolu paralel ısı pompası sistemi.
- c- Güneş destekli ve enerji depolu ikili sistem.



Şekil.5.1. Klasik Güneş Enerjisi Isıtma Sistemi.

### 5.1. Güneş Destekli ve Enerji Depolu Seri Isı Pompası Sistemi

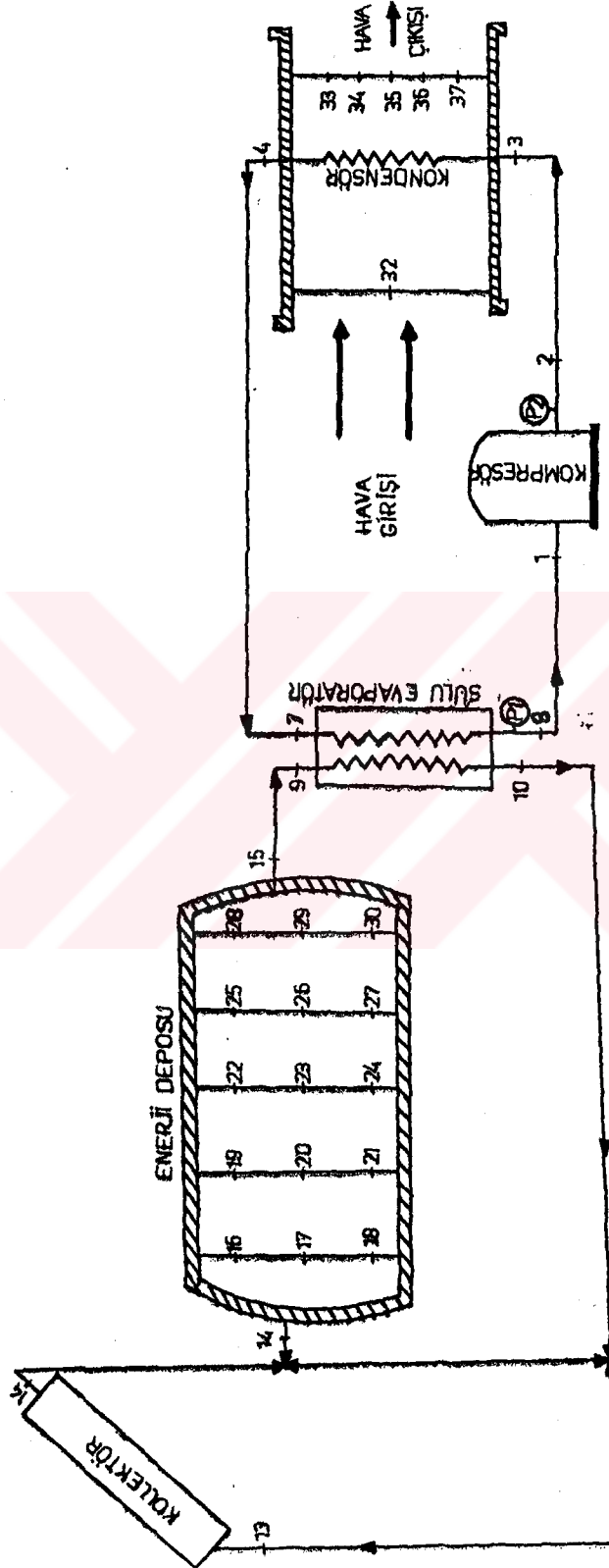
Bu sistem, Şekil 5.2 den de görüldüğü gibi güneş kolektörleri, enerji deposu, su kaynaklı ısı pompası, su sirkülasyon pompası ve diğer yardımcı ölçüm ve kontrol cihazlarından meydana gelmiştir.

Bu sistemde, güneş kolektörlerinden ısınmış olarak dönen su, ilk önce enerji deposuna girip, ısı enerjisinin bir kısmını enerji depolayan kimyasal maddeye ( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) bırakarak ısı pompasının su kaynaklı evaporatörüne ısı kaynağı olarak kullanıldıktan sonra, su sirkülasyon pompası yardımı ile kolektörlere gönderilmiştir. Ancak, geceleyin ve güneş ışınımının olmadığı bulutlu günlerde, ısı pompasının sulu evaporatöründen çıkan su, kolektörler yerine tekrar depoya gönderilmiştir. Enerji deposuna giren düşük sıcaklıktaki su daha önce kimyasal madde tarafından depolanmış olan ısı enerjisinden aldığı ısı ile sıcaklığı yükselerek çıkar ve ısı pompasının evaporatörüne ısı kaynağı olarak kullanılır. Böylece güneş olmadığı zamanlarda, enerji deposunda depolanmış ısı enerjisi ısı pompasına ısı kaynağı olarak kullanılmıştır.

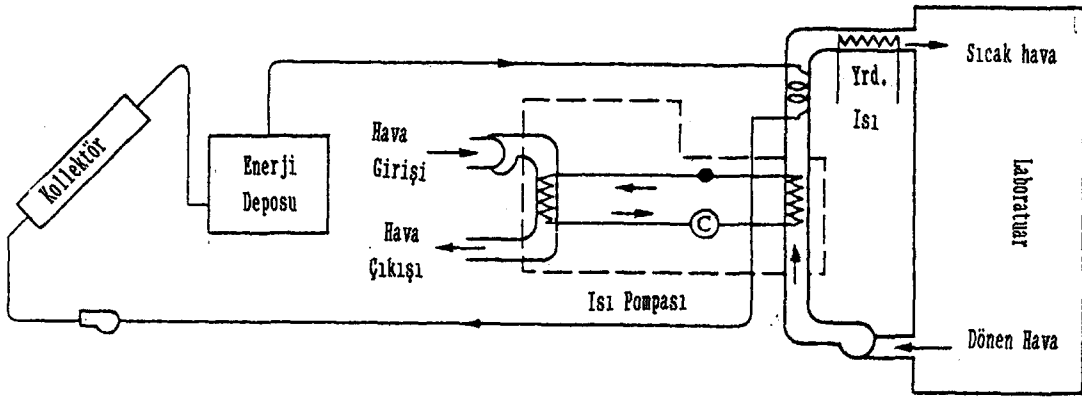
### 5.2. Güneş Destekli ve Enerji Depolu Paralel Isı Pompası Sistemi

Bu sistem Şekil 5.3 den de görüldüğü gibi güneş kolektörleri, sudan-havaya ısı değiştirici, enerji deposu, hava kaynaklı ısı pompası su sirkülasyon pompası ve diğer yardımcı elemanlardan meydana gelmiştir.

Paralel sistem, birbirinden bağımsız olarak çalışan hava kaynaklı ısı pompası ile sulu güneş kolektör sisteminden ibarettir. Böylece binanın ısıtılması aynı anda iki kaynaktan sağlanan enerji ile yapılmıştır. Bunlardan birincisi hava kaynaklı ısı pompasının kondenserinden alınan ısı, diğeri ise güneş enerjisi ısıtma sisteminin ısı değiştiricisinden alınan ısıdır. Böylece ısıtılacak ortama iki ısı kaynağından elde edilen toplam ısı miktarı gönderilmektedir.



Şekil 1.5.2. Güneş Destekli ve Enerji Depolu Seri Isı Pompası Sistemi.



Şekil 5.3. Güneş Destekli ve Enerji Depolu Paralel Sistem.

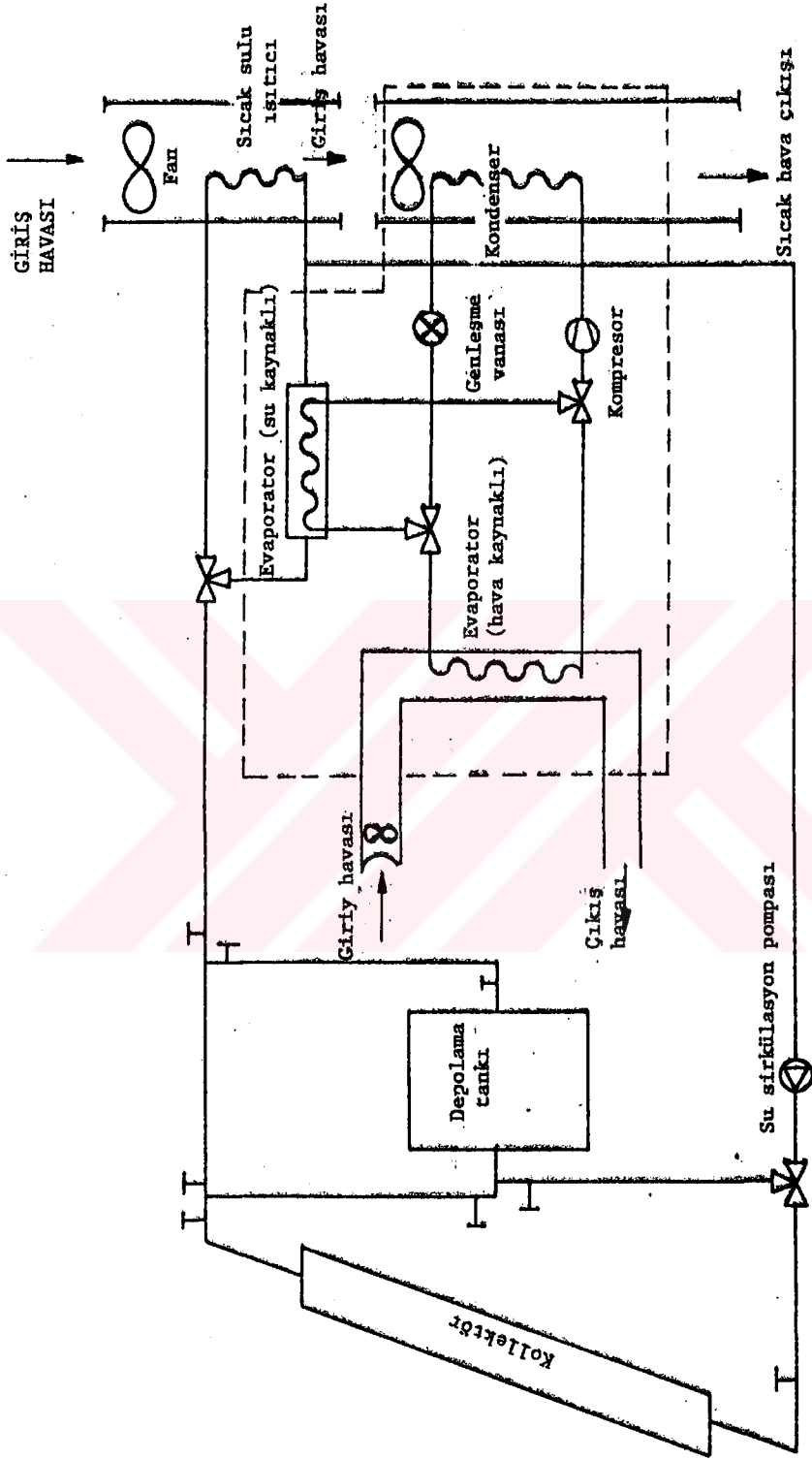
### 5.3. Güneş Destekli ve Enerji Depolu İkili Sistem

Şematik olarak Şekil 5.4 de görülen bu sistem, güneş kolektörleri, sudan-havaya ısı değiştirici, enerji deposu, hava ve su kaynaklı ısı pompası ile diğer yardımcı ölçüm ve kontrol elemanlarından meydana gelmiştir.

Çift kaynaklı sistemde, ısı pompasının iki evaporatörü vardır; bunlardan biri enerji depolama tankına, diğeri ise dış ortam havasına bağlanmıştır. Bu durum, hangi sistem daha yüksek COP değeri sağlayacaksa ısı pompasının buna göre ısı kaynağı olarak ya çevre havasını veya enerji deposunda depolanan güneş enerjisinin kullanılmasını sağlamaktadır. Çift kaynaklı ısı pompası sistemi paralel ve seri s pompası sistemlerinin tek bir sistem halinde birleştirilmesinden meydana gelmiştir. Böylece dış ortam havasının durumuna göre paralel veya seri sistemlerden herhangi birisinin kullanılması sağlanmıştır.

### 5.4. Deneylerin Yapılışı

Isıtma deneyleri, 1990-91 ve 1991-92 yıllarındaki Aralık, Ocak, Şubat, Mart, Nisan ve Mayıs aylarında, her gün bir deney yapmak şartıyla mümkün olduğu kadar fazla deney yapılarak yukarıda ifade edilen



Şekil 5.4. Güneş Destekli ve Enerji Depolu İkili Sistem.

güneş-ısı pompası kombine sistemlerinin performansları incelenmiştir. Ayrıca güneş enerjisi ısıtma sisteminin ve hava kaynaklı ısı pompasının tek başına bina ısıtılmasındaki performansları gözlenmiştir. Deneylere genelde sabahleyin saat 08:00 de başlanmış, bazı günler gece saat 22:00 ye, bazanda saat 19:00 'a kadar devam edilmiştir. Genelde güneşli günlerde seri ve paralel sistem deneyleri yapılmıştır. Bulutlu günlerde ise sadece hava kaynaklı ısı pompası veya depoda yeterli enerji varsa (yani depo sıcaklığı çevre havası sıcaklığından daha fazla ise) su kaynaklı ısı pompası çalıştırılarak ısıtma deneyleri yapılmıştır.



## 6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Deneyleer sırasında, ölçüm değerlerini tablolar halinde düzenlemek ve analiz etmek için Lotus 123 Bilgisayar paket programı kullanılmıştır. Her deney için deney sonuçları bilgisayarda ayrı bir dosya açılarak saklanmış ve üzerinde gerekli matematiksel işlemler yapılmıştır. Deney sonuçlarının analizini yapmak için R-22 soğutucu akışkanının doymuş buhar ve kızgın buhar tablolarından yararlanılarak, ısı pompasının çevrim hesabında kullanmak üzere entalpi, basınç ve sıcaklık arasındaki regrasyon denklemleri elde edilmiştir. Elde edilen eşitlikler :

$$T(K) = -0.33637 * (V)^2 + 19.95156 * (V) + 3.9063 + 273 \quad (6.1)$$

$$H = (-0.00010 * (P)^2 + 0.01265 * P + 0.67589) * T + (0.02736 * (P)^2 - 5.48901 * P + 130.53870) \quad (6.2)$$

$$T_d = -0.05042 * (P_2)^2 + 4.23461 * P_2 + 259.7228 \quad (6.3)$$

$$C_f = 0.00277 * T_d - 0.39075 \quad (6.4)$$

$$H_f = 0.00229 * (T_d)^2 - 0.08450 * T_d - 49.40606 \quad (6.5)$$

$$\Delta T = T_d - T_4 \quad (6.6)$$

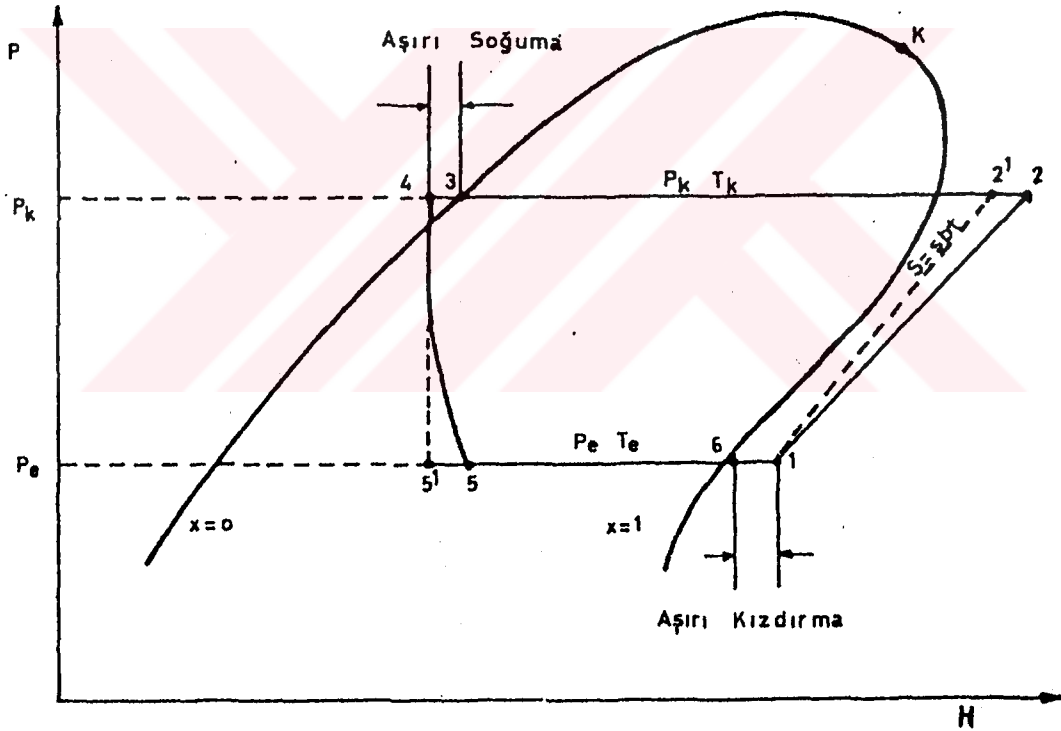
$$H_3 = H_f - \Delta T * C_f \quad (6.7)$$

$$COP_{pompa} = (H_2 - H_3) / (H_2 - H_1) \quad (6.8)$$



### 6.1. Isı Pompasının Çevrim Hesabı

Isı pompasının çevrim analiz hesapları, ölçülen değerleri ve soğutucu akışkanın doymuş buhar ve kızgın buhar tablolarından elde edilen regrasyon katsayıları kullanarak Lotus Bilgisayar paket programı ile yapılmıştır. Çevrim hesabında Şekil 6.1 de verilmiş olan ısı pompasının P-H diyagramı esas alınmıştır. Bu ısı pompası çevriminde  $1-2^1$  tersinir adyabatik sıkıştırma,  $1-2$  adyabatik olmayan tersinir sıkıştırma,  $2-4$  sabit basınçta yoğuşma,  $4-5^1$  sabit entalpide genleşme,  $4-5$  sabit olmayan entalpide genleşme ve  $5-1$  sabit basınçta buharlaşmayı göstermektedir. Ayrıca  $3-4$  arasında aşırı soğuma ve  $6-1$  arasında ise aşırı kızdırma olmaktadır.



Şekil 6.1. Isı pompasının P - H diyagramı.

#### 6.1.1. Isı Pompası Devresinde Dolaşan Akışkanın Kütlelesel Debisinin Hesaplanması

Akışkanın kütlelesel debisi aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmıştır.

$$m_s = \frac{n_v V_s S_d}{V_{\text{öz}}} \quad (6.9)$$

Burada ;

$m_s$  = Isı pompasında dolaşan akışkanın kütleli debisi [Kg/h]

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

$n_v$  = Kompresörün volumetrik verimi

$S_d$  = Kompresörün devir sayısı [dev/h]

$V_{\text{öz}}$  = Kompresörün girişindeki akışkanın özgül hacmi ( $m^3$ /Kg)

olarak tanımlanmıştır.

### 6.1.2. Isı Pompasının Kondenserinden Alınan Isı Miktarı

Kondenserden alınan ısı miktarı ;

$$Q_{\text{kön}} = m_s (H_2 - H_3) \quad (6.10)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

Burada ;

$Q_{\text{kön}}$  = Kondenserin verdiği ısı miktarı [kJ/h]

$H_2$  = Akışkanın kompresör çıkışındaki entalpisi [kJ/Kg]

$H_3$  = Akışkanın kondenser çıkışındaki entalpisi [kJ/Kg]

olarak tanımlanmıştır.

### 6.1.3. Isı Pompasının Evaporatörünün Çektiği Isı Miktarı

Evaporatörün çektiği ısı miktarı ;

$$Q_{\text{ev}} = m_s (H_4 - H_5) \quad (6.11)$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır.

Burada ;

$Q_{\text{ev}}$  = Evaporatörün çektiği ısı miktarı [kJ/h]

$H_4$  = Akışkanın evaporatörün çıkışındaki entalpisi [kJ/Kg]

$H_5$  = Akışkanın evaporatörün girişindeki entalpisi [kJ/Kg]

olarak tanımlanmıştır.

#### 6.1.4. Isı Pompası Kompresörüne Verilen İş

Isı pompasında, kompresöre verilen iş ;

$$W_{\text{komp}} = m_s (H_2 - H_1) / n_m \quad (6.12)$$

olarak ifade edilmiştir.

Burada ;

$W_{\text{komp}}$  = Kompresöre verilen iş [kW]

$n_m$  = Kompresörün mekanik verimi

#### 6.1.5. Isı Pompasının Performans Katsayısının Hesabı

Isı pompasının performans katsayısı ;

$$\text{COP}_{\text{pompa}} = \frac{\text{Kondenserden alınan ısı miktarı}}{\text{Kompresöre verilen iş}}$$

$$\text{COP}_{\text{pompa}} = \frac{Q_{\text{kon}}}{W_{\text{komp}}} = \frac{H_2 - H_3}{H_2 - H_1} \cdot n_m \quad (6.13)$$

şeklinde ifade edilir [1,81]

#### 6.2. Sistemlerin Performans Katsayısının Hesabı

Sistemlerin performans katsayısının hesabı ;

$$\text{COP}_{\text{sis}} = \frac{\text{Sistemden alınan enerji miktarı}}{\text{Sisteme harcanan enerji}}$$

### 6.2.1. Güneş Destekli ve Enerji Depolu Seri Isı Pompası Sisteminin Performans Katsayısı Hesabı

Bu sistemin performans katsayısı ;

$$COP_{sis} = \frac{m_{hc} C_{ph} (T_{c2} - T_{c1})}{W_{komp} + W_p + W_{kf}} \quad (6.14)$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır.

Burada ;

$m_{hc}$  = Kondenserden geçen havanın debisi [Kg/h]

$C_{ph}$  = Havanın özgül ısısı [kJ/Kg K]

$T_{c2}$  = Kondenserden çıkan havanın sıcaklığı [K]

$T_{c1}$  = Kondensere giren havanın sıcaklığı [K]

$W_p$  = Su sirkülasyon pompasına verilen iş [kW]

$W_{komp}$  = Kompresöre verilen iş [kW]

$W_{kf}$  = Kondenser fanına verilen iş [kW]

olarak tanımlanmıştır.

### 6.2.2. Güneş Destekli ve Enerji Depolu Paralel Isı Pompası Sisteminin Performans Katsayısı Hesabı

Bu sistemin performans katsayısı ;

$$COP_{sis} = \frac{m_{hc} C_{ph} (T_{c2} - T_{c1}) + m_{heş} C_{ph} (T_{eş2} - T_{eş1})}{W_{komp} + W_p + W_{kf} + W_{ef} + W_{eşf}} \quad (6.15)$$

ifadesi ile hesaplanmıştır.

Burada;

$m_{heş}$  = Sudan-havaya ısı değiştiricisinden geçen havanın debisi [Kg/h]

$T_{eş2}$  = Isı değiştiricisinden çıkan havanın sıcaklığı [K]

$T_{eş1}$  = Isı değiştiricisine giren havanın sıcaklığı [K]

$W_{eşf}$  = Isı değiştiricisinin fanına verilen iş [kW]

$W_{ef}$  = Evaporatör fanına verilen iş [kW]

olarak tanımlanmıştır.

### 6.3. Güneş Işınım Hesapları

Güneşin dünyaya gönderdiği değişmez enerji miktarı 1353 W/m<sup>2</sup> kadardır. Ancak yeryüzüne ulaşan güneş işınımının miktarı, aşağıdaki nedenlerden dolayı bu değerden daha azdır.

a- Dünyanın güneşe uzaklığının + % 3.5 değişmesi.

b- Dünya yörünge düzleminin güneş ekvator düzlemi ile + 23.30 derece arasında değişen bir açı yapması nedeniyle güneş işınlarının yön ve geliş açıları ile beraber atmosfer içinde aldıkları yolun uzunluğunun değişmesi.

c- Dünya yüzeyindeki noktaların ekvatora olan uzaklıklarının farklı olması nedeniyle yansıma açılarının güneş işınımının bir bölümünü soğurmasıdır.

Atmosfere giren güneş işınımının bir bölümü atmosferde bulunan cisimlere çarptıkları zaman kırılarak dağılırlar ve gökyüzünün aydınlığını oluştururlar. Bu işınlara yaygın (diffuse) işınım denmektedir. Hiç bir engelle karşılaşmadan yeryüzüne ulaşan işınlara ise direkt işınım denmektedir.

Hesap yöntemleri ile bulunacak işınım miktarları, W/m<sup>2</sup> ile ifade edilir. Bu miktarlar öğlen güneşine (solar noon = 12:00) göre simetrik olmak üzere her saat ve hergün değişik olacaktır. Bundan dolayı hesaplanacak işınım miktarları da saatlik ve günlük toplamlardır.

Yeryüzüne gelen güneş işınımi, çok sayıda değişkene bağlıdır. Bu değişkenler [82] :

a- Astronomik faktörler (güneş sabiti, dünya ile güneş arasındaki mesafe, deklinasyon açısı, saat açısı)

b- Coğrafik faktörler (bulunan yerin enlemi, boylamı ve deniz seviyesinden yüksekliği)

c- Geometrik faktörler (yüzeyin azimut açısı, yüzeyin eğimi, güneş yükseklik açısı, güneş azimut açısı)

d- Fiziksel faktörler (hava moleküllerinin yayması, atmosferdeki su buharının azaltma etkisi, tuzların yayması, ozon ve karbondioksit yutması v.s)

e- Meteorolojik faktörler (bulutların tesiri, çevrenin yansıtması) olarak sınıflandırılmıştır. Bu değişkenlerin etkilerini teorik olarak hesaplamak oldukça zordur. Bundan dolayı hesaplarda, genellikle ölçülen güneş ışıını verilerinden faydalanılarak geliştirilen ampirik bağıntılar kullanılmaktadır.

### 6.3.1. Yatay Düzleme Gelen Direkt Güneş Işınıının Hesaplanması

Yatay düzleme gelen direkt güneş ışıını;

$$Q_{da} = Q_0 \{0.6714 - 0.0846 W_1 + 0.2230 \ln [\cos(e-d)]\} \quad (6.16)$$

denklemlle hesaplanabilir [82]

Burada ;

$Q_{da}$  = Yatay düzleme gelen direkt güneş ışıını  $[W/m^2]$

$Q_0$  = Yatay yüzeye atmosfer dışında gelen tüm güneş ışıını  $[W/m^2]$

$W_1$  = yoğuşturulabilir su buharı miktarı

$e$  = Enlem açısı

$d$  = Deklinasyon açısı

olarak tanımlanmıştır.

### 6.3.2. Açık Günlerde Yatay Düzleme Gelen Günlük Tüm Güneş Işınıın Miktarının Hesaplanması

Açık günlerde yatay düzleme gelen günlük tüm güneş ışıını [84]:

$$Q_a = \left( \frac{Q_{da} Q_0}{1.13} \right)^{1/2} \quad (6.17)$$

### 6.3.3. Yatay Birim Yüze Atmosfer Dışında Gelen Tüm Güneş Işınım Miktarının Hesaplanması

Yatay birim yüze atmosfer dışında gelen tüm güneş ışınım miktarının hesabı :

$$Q_0 = \frac{24}{\pi} I_{gs} \cdot f \cdot \sin e \cdot \left( \sin d \left( \frac{\pi}{180} H - \tan H \right) \right) \quad (6.18)$$

bağıntısıyla yapılabilir.

Burada ;

$I_{gs}$  = Güneş sabiti

$f$  = Güneş sabiti düzeltme faktörü

$e$  = Enlem

$d$  = deklinasyon açısı

$H$  = Güneş doğuş açısı

olarak tanımlanmıştır.

### 6.3.4. Açık Günler İçin Yatay Düzleme Gelen Günlük Tüm Yaygın Güneş Işınımının Hesabı

Yatay yüze gelen günlük tüm güneş ışınımı, direkt ışınım ile yaygın ışınımın toplamı olduğundan, açık günler için yatay düzleme gelen günlük tüm yaygın güneş ışınımı :

$$Q_{ya} = Q_a - Q_{da} \quad (6.19)$$

eşitliğinden bulunur.

### 6.3.5. Yatay Düzleme Gelen Anlık Güneş Işınımının Dağılımı

Yatay düzleme gelen anlık güneş ışınımının dağılımı :

$$I(t) = I_{ort} \frac{\cos h - \cos H}{\frac{180}{\pi} \frac{\sin H}{H} - \cos H} \quad (6.20)$$

şeklinde hesaplanır.

Burada ;

$I_{ort}$  = Anlık ortalama ışınım miktarı [ $W/m^2$ ]

$H$  = Güneş doğuş açısı

$h$  = Saat açısı

olarak tanımlanmıştır.

Eğik düzleme gelen anlık direkt güneş ışınımının, yatay düzleme gelen anlık direkt güneş ışınımına oranı  $R_d$  aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir :

$$R_d = \frac{I_{ed}}{I_d} = \frac{\cos(e-s) \cos d \cos h + \sin(e-s) \sin d}{\cos e \cdot \cos d \cdot \cos h + \sin e \cdot \sin d} \quad (6.21)$$

Burada ;

$e$  = Enlem

$s$  = Kollektörün yatayla yaptığı açı

$d$  = Deklinasyon açısı

$h$  = Saat açısı

### 6.3.6. Eğik Düzleme Gelen Anlık Tüm Güneş Işınımının Hesaplanması

Eğik düzleme gelen anlık tüm güneş ışınımı ;

$$I_e = R_d I_d + I_y \frac{1 + \cos S}{2} + I_\alpha \frac{1 - \cos S}{2} \quad (6.22)$$



şeklinde hesaplanır [82,85,92,96]

Burada ;

$I_y$  = Yatay düzleme gelen anlık yaygın ışınım

$\alpha$  = Çevrenin yansıtma katsayısı

$I$  = Yatay düzleme gelen anlık tüm güneş ışınımı

$I_d$  = Yatay düzleme gelen anlık direkt güneş ışınımı

olarak tanımlanmıştır.

Anlık eğik düzleme gelen tüm güneş ışınımının, yatay düzleme gelen tüm güneş ışınımına oranı ;

$$R = \frac{I_e}{I} = R_d \left(1 - \frac{I_y}{I}\right) + \frac{I_y}{I} \frac{(1+\cos S)}{2} + \alpha \frac{(1-\cos S)}{2} \quad (6.23)$$

denklemlerle hesaplanabilir [85,86]

### 6.3.7. Eğik Düzleme Gelen Anlık Tüm Güneş Işınımının Hesaplanması

Eğik düzleme gelen anlık tüm güneş ışınımı ise ;

$$I_e = R * I \quad (6.24)$$

ifadesi ile hesaplanabilir.

## 6.4. Kollektörlerin Veriminin Hesaplanması

### 6.4.1. Anlık Kollektör Verimi

Anlık kollektör verimi ;

$$\eta_{kol} = F_R \left[ (\tau\alpha) \frac{U A_e (T_{sg} - T_{ç})}{A_{kol} I} \right] \quad (6.25)$$

ifadesi ile hesaplanabilir [83]

Burada ;

$n_{kol}$  = Anlık kollektör verimi

$F_R$  = Kollektör ısı kazanç faktörü

$(\tau\alpha)$  = Kollektörün ışınlı yutma-geçirme çarpanı

$U$  = Toplam ısı geçiş katsayısı [ $W/(m^2 K)$ ]

$A_e$  = Kollektörün absorblayıcı yüzey alanı [ $m^2$ ]

$A_{kol}$  = Kollektörün yüzey alanı [ $m^2$ ]

$T_{sg}$  = Kollektör girişindeki suyun sıcaklığı [K]

$T_{ç}$  = Çevre sıcaklığı [K]

$I$  = Kollektör yüzeyine gelen anlık tüm güneş ışınlı [ $W/m^2$ ]

olarak tanımlanmıştır.

#### 6.4.2. Net Kollektör Veriminin Hesaplanması

Net kollektör verimi aşağıdaki gibi ifade edilebilir ;

$$n_{kol} = \frac{\text{Kollektörde toplanan faydalı enerji}}{\text{Kollektör yüzeyine gelen enerji}}$$

$$n_{kol} = \frac{Q_{kol}}{A_c I} = \frac{m_{su} C_{psu} (T_{sg} - T_{sç})}{A_c I} \quad (6.26)$$

Burada ;

$n_{kol}$  = Net kollektör verimi

$m_{su}$  = Sistemde dolaşan suyun kütleli akış hızı (Kg/saat)

$C_{psu}$  = Suyun özgül ısı [ $kJ/(Kg K)$ ]

$T_{sg}$  = Kollektör girişindeki suyun sıcaklığı [K]

$T_{sç}$  = Kollektör çıkışındaki suyun sıcaklığı [K]

$Q_{kol}$  = Kollektörde toplanan faydalı enerji [Watt]

olarak tanımlanmıştır.

## 7. GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİNİN EKONOMİK ANALİZİ

### 7.1.1. Ekonomik Analiz İhtiyacı

Güneş enerjisi temiz, gürültüsüz, bolca bulunan güvenilir ve tükenmez bir enerji kaynağıdır. Yeryüzüne düşen güneş ışınım potansiyeli oldukça fazla olup, yeryüzünün pekçok bölgesinde güneş enerjisi faydalı enerjiye dönüştürülebilir. Bu ilgi çekici özelliklerine rağmen güneş enerjisi "bedava" değildir. Güneş enerjisini faydalı hale dönüştürebilmek için önemli ölçüde yatırım gerekmektedir.

Herhangi bir enerji dönüşüm sisteminde, yatırım yaparken verilecek ekonomik karar, yapılacak ilk yatırımın sistemin ekonomik ömrü boyunca kaç yılda geri döneceği esasına dayanır. Güneş enerjisini faydalı enerjiye dönüştüren sistemlerde ise verilecek yatırım kararına etki eden en önemli parametre, sistemin ekonomik ömrü boyunca yakıttan elde edilen tasarrufun sistemin ilk yatırım maliyeti ile karşılaştırıldığında bu yatırım miktarını karşılayıp karşılayamayacağı durumudur. Eğer sistemin kurulmasında yapılacak olan ilk yatırım maliyeti, sistemin ekonomik ömrü boyunca sağladığı yakıt tasarrufundan daha büyükse o zaman bu sistem ekonomik değildir, bunun tersi durumda ise, yani ilk yatırım maliyeti sistemin ekonomik ömrü boyunca sağlanan yakıt tasarrufu ile karşılanabiliyorsa, o zaman bu sistem ekonomiktir. Sistemin mühendislik ekonomisi yönünden analizine geçmeden önce bazı temel ekonomik kavramları özet halinde verelim [86-92].

### 7.1.2. Paranın Zaman Değeri

Elde mevcut olan paranın toplamının değeri, aynı toplamın gelecekteki değerinden daha fazladır, çünkü eldeki para gelecekte daha fazla bir toplam oluşturmak için herhangi bir yatırıma verilebilir. Örneğin, eldeki 10 000 TL 'yi % 50 kârla bir yıllığına bir yatırıma verirsek bu para bir yıl sonra 15 000 TL olacaktır. Bunun tersi olarak

paranın gelecekteki toplamı veya nakit akışı azalacaktır ve değeri bu günkü değerinden daha az olacaktır. n yıl sonraki nakit akışının şimdiki değeri aşağıdaki eşitlikle verilebilir :

$$P = \frac{FF}{(1 + d)^n} \quad (7.1)$$

Burada ;

P = Paranın şimdiki değeri

FF = Gelecekteki nakit akışı

n = Yıl

d = Kâr veya faiz oranı

Bu arada enflasyondan dolayı satın alınan malın fiyatı her geçen gün artmaktadır. Yıllık enflasyon hızı e, satın alınan malın şimdiki değeri E 'nin n yıl sonraki fiyatı :

$$FF = E (1+e)^n \quad (7.2)$$

şeklinde olacaktır.

Gelecekteki değer FF, aynı zamanda iskonto miktarı ile ilişkilidir. Sonuçta şimdiki değer :

$$P = \frac{(1 + e)^n}{(1 + d)^n} \quad (7.3)$$

Toplam şimdiki değerler :

$$\text{Toplam şimdiki değer} = E \sum_{J=1}^n \left( \frac{1 + e}{1 + d} \right)^n = E \text{ ŞDF } (n, e, d) \quad (7.4)$$

Burada, ŞDF (n,e,d) şimdiki değer faktörü olarak adlandırılır ve aşağıdaki gibi ifade edilir :

$$\text{ŞDF (n,e,d)} = \frac{1 + e}{d - e} \left[ 1 - \left( \frac{1 + e}{1 + d} \right)^n \right] \quad e = d \text{ için} \quad (7.5)$$

### 7.1.3. Geri Ödeme Periyodu

Geri ödeme periyodunun en genel tanımı, güneş enerjisi sistemindeki ilk yatırım masraflarının toplamına eşit olacak kümülatif yakıt tasarrufları için gerekli zaman miktarıdır ve aşağıdaki gibi ifade edilebilir [86]:

$$n_p = \frac{I_s - (I_s * V)}{F_s} \quad (7.6)$$

Burada ;

$n_p$  = Geri ödeme periyodu

$I_s$  = Isıtma sisteminin ilk yatırım maliyeti

$V$  = Vergi oranı

$F_s$  = ilk yıl yakıtta sağlanan tasarruflar

olup aşağıdaki gibi verilir ;

$$F_s = F \cdot Q_L \cdot P_c \quad (7.7)$$

Burada ;

$F$  = Isıtma sisteminin ısıtma yükünü karşılama yüzdesi

$Q_L$  = Binanın yıllık ısıtma yükü [kcal]

$P_c$  = Tasarruf edilen fosil yakıtın fiyatı [\$]

şeklinde tanımlanmıştır.

## 7.2. TEKNİK - EKONOMİK MODEL

Güneş enerjisi dönüşüm sisteminin ekonomik olup olmadığını incelemek için model olarak iki tip bina ele alındı. Bu binaların birisinde ısıtma ve sıcak su temini geleneksel ısıtma sistemi (soba ve kaloriferli ısıtma) sistemi ile yapılmakta, diğerinde ise ısıtma güneş destekli ısı pompası ile yapılmaktadır. Her bir sistemin yıllık masraflarının ilk yatırım, yakıt, işletme ve bakım masraflarını içerdikleri dikkate alınmaktadır. Vergi masrafları analize dahil olup, sigorta masrafları ise analize dahil değildir, çünkü bunların miktarları bölgeden bölgeye değişmektedir. Tamir, yerleştirme ve işçilik masrafları ise bakım masraflarına dahil edilmiştir.

Sürekli çalışmadan ötürü, sistemin tüm verimindeki azalma, yapılan ekonomik analizi daha karmaşık yapmaması için dikkate alınmamıştır. Kollektörün absorblayıcı yüzeyi üzerindeki boyanın bozunması ve çeşitli kaçaklardan dolayı sistemin performansı ekonomik ömür boyunca % 2-5 oranında azalacaktır. Böylece performanstaki bu azalma yakıt maliyetini etkileyecektir. Binanın toplam ısı yükünü karşılamak için güneş destekli ısı pompası sisteminin yardımcı ısıtıcı kısmında elektrikli ısıtma kullanılmaktadır.

### 7.2.1. Geleneksel Isıtma Sisteminin Yıllık Masrafı

#### 7.2.1.1. İlk Yatırım Masrafı

İlk yatırım masrafı ;

$$C_1 = e_c \cdot I_c + \sum_{J=1}^{n_c} (1-e_c)^J I_c \frac{r_c (1+r_c)^n}{(1+r_c)^n} \cdot \frac{1}{(1+d)^2} \quad (7.8)$$

olarak ifade edilir.

Burada ;

$C_1$  = Geleneksel ısıtma sisteminin yıllık masrafı

$I_c$  = Toplam ilk yatırım maliyeti

$e_c$  = Yüzde çarpan

$r_c$  = Kâr (faiz) oranı

$n_c$  = Yılların sayısı

$n$  = Sistemin ekonomik ömrü, 15 yıl

$d$  = iskonto oranı

Bu denklemi ŞDF fonksuyonunun terimleriyle yazarsak :

$$C_1 = e_c I_c + (1-e_c) I_c \frac{r_c (1+r_c)^n}{(1+r_c)^n - 1} \text{ ŞDF } (0,d,n_c) \quad (7.9)$$

#### 7.2.1.2. Yakıt ve İşletme Masrafları

Harcanan yakıtın yıllık maliyetinin şimdiki değeri  $P_c \cdot Q$  'dır. Burada  $Q$ , yıllık ısıtma yükü (kcal/yıl) ve  $P_c$  ise \$/kcal olarak geleneksel yakıt fiyatının şimdiki değeri olup, yıllık artış hızı  $i_c$  kadardır.

Sistemdeki fanlar, pompalar ve kontrol sistemi için harcanan güç masraflarının şimdiki yakıt fiyatının  $O_c$  kadarlık bir yüzdesini oluşturduğunu ve yakıt fiyatındaki artış miktarının  $i_c$  kadar olduğu kabul edilmektedir. Böylece toplam yakıt ve işletme masrafları aşağıdaki gibi verilebilir ;

$$C_2 = (1+O_c) \cdot Q \cdot P_c \text{ PWF } (i_c,d,n) \quad (7.10)$$

#### 7.2.1.3. Bakım Masrafları

Bakım masrafları, sistemin ilk yatırımının belirli bir yüzdesini teşkil ederler ve bu miktar ( $m_c$ ) olarak ifade edilir. Yine burada da

bakım masraflarındaki yıllık artış oranının ( $i_c$ ) kadar olduğu kabul edilmektedir. Böylece sistemin ekonomik ömrü boyunca toplam bakım masrafları :

$$C_3 = m_c \cdot I_c \text{ ŞDF } (i_c, d, n) \quad (7.11)$$

olarak ifade edilir.

Burada ;

$n$  = Sistemin ekonomik ömrüdür (15 yıl).

### 7.2.2. Güneş Destekli Isı Pompası Sisteminin Yıllık Masrafı

#### 7.2.2.1. İlk Yatırım Masrafı

Toplam ilk yatırım ( $I_s$ ) masrafının,  $e_s$  kadarlık bir yüzdesinin sıfırıncı yılda ödendiği kabul edilmektedir ve  $n_s$  yılları boyunca yüzde  $r_s$  'lik bir kâr ile  $a_s$  'ye eşdeğer bir bakiye kalmaktadır.

Böylece ilk yatırım masrafı :

$$S_1 = e_s \cdot I_s + a_s \text{ ŞDF } (o, d, n) \quad (7.12)$$

olarak ifade edilmektedir.

Burada ;

$$a_s = (1 - e_s) I_s \frac{r_s (1 + r_s)^n}{(1 + r_s)^n - 1}$$

olarak tanımlanmaktadır.

#### 7.2.2.2. Yakıt ve İşletme Masrafları

Yıllık güneş ısıtma yüzdesi  $F$ , yıllık yakıt harcamasının şimdiki değeri ise  $(1 - F) \cdot P_s \cdot Q$  dır. Sistemin yardımcı ısıtıcı kısmında fiyatı  $P_s$  (\$/kcal) ve yıllık artış hızı  $i_s$  olan geleneksel bir yakıt kulla-



nılmaktadır. İşletme masraflarının ise, yakıt masraflarının  $O_S$  kadarlık bir kısmını içerdiği kabul edilmektedir. Böylece sistemin ekonomik ömrü boyunca toplam yakıt ve işletme masrafları aşağıdaki gibi ifade edilebilir :

$$S_2 = (1+O_S).(1-F).Q.P_S \text{ ŞDF } (i_S, d, n) \quad (7.13)$$

### 7.2.2.3. Bakım Masrafları

Bakım masrafları olarak her yıl sistemin ilk yatırımının  $m_S$  kadarlık bir yüzdesinin (% 1) ödendiği kabul edilmektedir. Eğer bakım masraflarındaki yıllık artış oranı  $i_S$  kadar kabul edilirse, o zaman sistemin ekonomik ömrü boyunca bakım için ödenecek toplam miktar :

$$S_3 = m_S.I_S \text{ ŞDF } (i_S, d, n) \quad (7.14)$$

olarak ifade edilir.

Ekonomik ömür boyunca sistemden sağlanan toplam tasarruflar EÖST, geleneksel ısıtma sistemi için yapılan toplam masraflar ( $C_C$ ) ile güneş destekli ısı pompası sistemi için yapılan masraflar ( $C_S$ ) arasındaki fark şeklinde ifade edilebilir :

$$EÖST = C_C - C_S \quad (7.15)$$

EÖST 'nin daha basit bir şekilde ifade edilmesi için makul bazı varsayımlar yapılabilir.

Eğer sistemlerin ilk yatırım masraflarının tümü önceden (sıfırıncı yılda) ödenmiş ise, o zaman gelecek yıllarda herhangi bir ipotek ödeme yapılmayacaktır. Bu durumda  $e_S = e_C = 1$  'dir. Eğer geleneksel ısıtma sistemi ile güneş destekli ısı pompası ısıtma sisteminin yardımcı ısıtıcı kısmında aynı yakıt kullanılırsa, o zaman  $P_S = P_C$  ve  $i_S = i_C$  'dir, fakat bu genel bir durum değildir. Güneş destekli ısı

pompası ısıtma sisteminde genelde yardımcı ısı kaynağı olarak elektrik enerjisi kullanılmaktadır.

Her iki sistemin işletme masrafları, yıllık yakıt masraflarının % 1 'i kadardır ( $O_S = O_C = 0.01$ ). Bu kabul gerçeğe uygundur, fakat ısıtma sistemlerinin tümü için genelleştirilemez.

Bakım masrafları her iki sistemin başlangıçtaki yatırım masraflarının belirli bir miktarını oluşturmaktadır ki bunun anlamı  $m_S = m_C$  dır.

Yapılan bu kabüllere göre EÖST :

$$EÖST = (I_C - I_S) + Q_L * [P_C - (1-F) * P_S] * \frac{(1+v)^{1+c}}{(v-c)^{1+v}} [1 - \left(\frac{1+c}{1+v}\right)^n] \quad (7.16)$$

olarak ifade edilebilir.

burada ;

- $I_C$  = Geleneksel ısıtma sisteminin ilk yatırım masrafı [\$]
- $I_S$  = Alternatif ısıtma sisteminin ilk yatırım masrafı [\$]
- $Q_L$  = Binanın mevsimlik ısıtma yükü [kcal]
- $P_C$  = Klasik ısıtma sisteminde kullanılan yakıtın fiyatı [\$]
- $P_S$  = Alternatif sist. yard. ısıt. kullanılan yakıtın fiyatı [\$]
- $F$  = Alternatif sisteminin ısı yükünü karşılama yüzdesi
- $v$  = Yıllık faiz (kâr) oranı (% 12)
- $c$  = Yakıt fiyatındaki yıllık artış oranı (% 15)
- $n$  = Sistemin ekonomik ömrü (15 yıl)

olarak ifade edilebilir.

Burada EÖST 'nin değeri pozitif veya negatif olabilir.

### 7.3. GÜNEŞ ISITMA YÜZDESİNİN HESAPLANMASI

Güneş enerjisi ile konutların ısıtılmasında, ısıtma sisteminin depolama ünitesindeki enerji dengesi, üniteye giren faydalı ısı ve üniteden çıkan enerji (ısıtma yüküne va kayıplara verilen enerji) mik-

tarlarıyla ifade edilir. Bunun sonucundada depolama sıcaklığında bir değişme meydana gelir.

Aylık veya yıllık olarak dikkate alınan bu periyod aşağıdaki gibi ifade edilebilir :

$$m \cdot C_p \int_{t_{ilk}}^{t_{son}} \frac{dT}{dt} dt = \int_{\Delta t} q_u dt - \int_{\Delta t} q_s dt - \int_{\Delta t} q_p dt \quad (7.17)$$

Burada ;

$q_u$  = Depoya verilen faydalı ısı

$q_s$  = Depodan alınan enerji

$q_p$  = Depodan çevreye olan ısı kayıpları

olarak tanımlanmıştır.

Yardımcı ısının sağladığı enerji ise :

$$q_a = q_L - q_s \quad (7.18)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Burada ;

$q_a$  = Yardımcı enerji

$q_L$  = Binanın ısı yükü

$q_s$  = Binaya verilen enerji

olarak tanımlanmıştır.

Her hangi bir ısıtma tesisatının aylık veya yıllık GIY (Güneş Isıtma Yüzdesi) değeri, ısıtma sezonunda güneş enerjisi ısıtma sistemi tarafından sağlanan toplam enerjinin binanın toplam ısı yüküne oranıdır. Bunu matematiksel olarak ifade edecek olursak :

$$f = \frac{Q_L - Q_a}{Q_L} = \frac{Q_s}{Q_L} \quad (7.19)$$

eşitliği yazılabilir.

Sonuçta GIY için aşağıdaki ifade yazılabilir :

$$f = \frac{1}{Q_L} \left\{ \int_0^{\Delta t} q_u dt - \int_0^{\Delta t} q_p dt - mC_p \int_0^{\Delta t} \frac{dT}{dt} dt \right\} \quad (7.20a)$$

Tekrarlanan bu denklemin yeniden çözümü, faydalı ısı ifadesindeki artı işaretinden ( $q_u^+$ ) dolayı analitik bir yöntemle gerçekleşemez. Bu işaret, sisteme ısı yardımını sadece pozitif terimlerin yaptığını göstermektedir. GIY, ya saat-saat bilgisayar simülasyon programları veya genelleştirilmiş tasarım metodlarını kullanarak hesaplanabilir.

Burada GIY 'yi hesaplamak için F-chart metodu [87,93] kullanılacaktır. Bu metodda, depodan çevreye olan ısı kayıpları [Denk. (7.21a) daki ikinci terim] ve depolanan duyulur ısı (üçüncü terim) bu denklemdaki toplanan faydalı enerji ile karşılaştırıldıklarında ihmal edilebilirler. Yapılan bu ihmal sistemin uzun süreli işletimi için gerçekçi bir yaklaşımdır.

Buradan denklem 7.20a aşağıdaki şekle indirgenir :

$$f = \frac{1}{Q_L} \int_0^{\Delta t} q_u^+ dt = \frac{Q_u^+}{Q_L} \quad (7.20b)$$

Burada  $f$ , iki boyutsuz parametre olan  $X$  ve  $Y$  nin bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir :

$$f = f(X,Y) \quad (7.21)$$

Burada :

$$X = \frac{A F_R U_L (T_{ref} - T_a) \Delta t}{Q_L} = \frac{\text{Ref. kolektör ısı kaybı}}{\text{Binanın ısıtma yükü}} \quad (7.22)$$

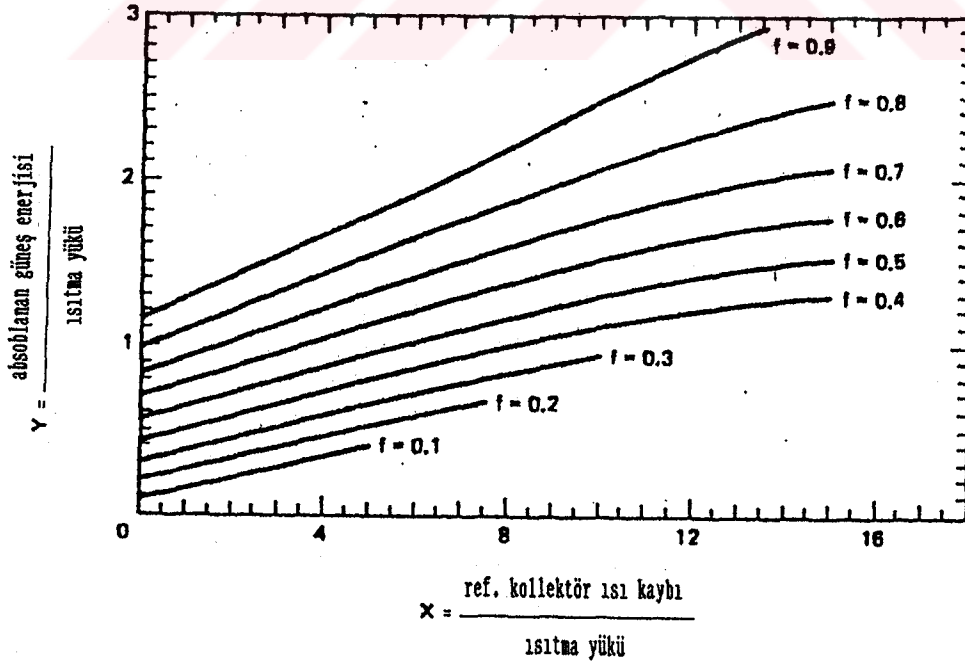
$$Y = \frac{A F_R (\tau \alpha) H_t N}{Q_L} = \frac{\text{Absorplanan güneş enerjisi}}{\text{Binanın ısıtma yükü}} \quad (7.23)$$

olarak ifade edilmektedir.

f-chart 'lar üç standart durum için geliştirilmiş olup bunlar ; bina ısıtma için su ve havalı sistemler ve sadece kullanım (temizlik, banyo v.s.) için sıcak su sistemleridir. Şekil.7.1 'de bina ısıtmada su güneş ısıtma sistemleri için çizilen grafik verilmiştir.

Sulu güneş ısıtma sistemleri için f-chart bağıntısı :

$$f = 1.029 Y - 0.065 X - 0.245 Y^2 + 0.0018 X^2 + 0.0215 Y^3 \quad (7.24)$$



Şekil 7.1. Sulu sistemler için f-Chart diyagramı.

## 8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 8.1. Sonuçlar

Karadeniz bölgesinde, güneş destekli ısı pompaları ile konutların ısıtılabilirliğini incelemek amacıyla bir model ısıtma ortamı seçildi (Bölüm 3). Bu ortamın ısıtılabilirliğini deneysel olarak araştırmak amacıyla güneş destekli ve enerji depolu bir ısı pompası sistemi kuruldu. Bu sistem üç değişik şekilde çalıştırılarak her biri için aşağıdaki ölçümler yapılmıştır :

Deneyler sırasında güneş ışınımı solarimetre ile ölçüldü (Tablo A1-A4) ve günün saatlerine göre değişim grafiği çizildi (EK 4, Şekil.1). Kollektör giriş-çıkış, depo giriş-çıkış, depo içi, ısıtılan ortam, dış ortam, ısı değiştirici giriş-çıkış, sulu ve havalı buharlaştırıcıların giriş-çıkış, yoğunlaştırıcı giriş-çıkış sıcaklıkları periyodik olarak ölçüldü (EK 3, Tablo A1-A4). Ayrıca seri ve paralel sistemlerde kompresörün, buharlaştırıcıların ve yoğunlaştırıcıların giriş-çıkış basınçları ölçüldü (EK 3, Tablo A1-A4).

Bu ölçümlerden yararlanılarak her sistem için aşağıdaki işlemler yapılarak elde edilen sonuçlar tablo ve grafiklerle verildi. Bu sonuçlar birlikte değerlendirilerek sistemlerin birbirine göre üstünlükleri tartışıldı. Yapılan işlemler :

a)- Depodaki kimyasal maddenin çeşitli noktalardaki sıcaklığının günün saatlerine göre değişiminin grafiği çizildi (EK 4, Şekil 3).

b)- Kollektör giriş-çıkış, depo giriş, dış ortam ve iç ortam sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişim grafikleri çizildi (EK 4 Şekil 4).

c)- Depo giriş-çıkış, freon gazının sulu evaporatör giriş-çıkış, dış ortam ve iç ortam sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişim grafikleri çizildi (EK 4, Şekil 5).

d)- Hava ve su kaynaklı ısı pompasının performans katsayısının (COP) günün saatlerine göre değişim grafikleri çizildi (EK 4, Şekil 2).

e)- Suyun ve soğutucu akışkanın evaporatöre giriş-çıkış sıcaklıklarının COP değerine karşı değişim grafikleri çizildi (EK 4, Şekil 7).

f)- Freon gazının kompresör giriş-çıkış, havanın yoğuşturucu giriş-çıkış, dış ortam ve iç ortam sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişim grafikleri çizildi (EK 4, Şekil 6).

g)- Havanın yoğuşturucu ve sudan-havaya ısı değiştirici giriş-çıkış, dış ortam ve iç ortam sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişim grafikleri çizildi (EK 4, Şekil 8).

h)- Freon gazının kompresöre giriş-çıkış, havanın hava kaynaklı evaporatöre giriş, dış ortam ve iç ortam havasının sıcaklıklarının günün saatlerine göre değişim grafikleri çizildi.

i)- Denklem (6.25) kullanılarak anlık kollektör verimi ve denklem (6.26) kullanılarak net kollektör verimleri hesaplandı (EK 3, Tablo A1-A4) ve verimlerin  $(T_{gir} - T_{çık})/I$  'ya göre değişim grafiği çizildi (EK 4, Sekil 10, 11).

j)- F-Chart yöntemi (Bölüm 7) uygulanarak ısıtma yükünün güneş enerjisi ile karşılanma yüzdesi hesaplandı (EK 3, Tablo A6,A7) ve aylara göre değişim grafiği çizildi (EK 4, Şekil 12).

Isıtma mevsimlerinde binanın ısıtma yükleri bir bilgisayar programı (EK 1) yardımıyla hesaplanarak verildi. Ayrıca heriki ısıtma mevsimine ait meteorolojik veriler tablo halinde verildi (EK 3, Tablo 8,9)

Ayrıca literatürde verilen [83] bir simülasyon programı (SOLSIM), sistemimize uygun hale getirilerek, güneş destekli ve enerji depolu seri ısı pompası sistemi için elde edilen deneysel değerlerle bu program yardımı ile hesaplanan teorik değerlerin karşılaştırılması tablo halinde verilmiştir (EK 3, Tablo A11, A12). Tablolardan da görüleceği gibi, kullanılan simülasyon programı deneysel değerlere çok yakın teorik sonuçlar vermiştir. Bu durum kullanılan programın sistemimiz için uygun olduğunu göstermektedir.

Sistemleri ekonomik yönden birbiriyle karşılaştırmak için iki analiz metodu kullanılarak hesaplar yapıldı ve sonuçlar tablo halinde verildi (EK 3, Tablo 10). Bu metodların ilki ekonomik ömür boyunca sistemden sağlanan tasarruflar (EÖST), ikincisi ise sisteme yapılan ilk yatırım masraflarının ne kadar zamanda (yıl) geri ödendiği (MGÖS) yöntemidir. Çünkü bu iki ekonomik kriter, güneş destekli ısı pompası ısıtma sisteminin ekonomik yönden uygun olup olmadığına karar vermek için yeterli olmaktadır.

Bölgemizin meteorolojik verilerinden de anlaşılacağı gibi konutların tek başına güneş enerjisi ile ısıtılması mümkün olamamaktadır. Tablo A6 ve A7 'den de görüldüğü gibi güneş enerjisi sisteminin bina ısıtma yükünü karşılama oranı ( $F_{\text{Güneş}}$ ) oldukça düşüktür ve bu sonuca bağlı olarak elde edilen ekonomik analiz sonuçları sistemi bu amaçla kurmak için uygun değildir. Buna karşın güneş destekli ve enerji depolu seri ve paralel ısı pompası sistemlerinin ısı yükünü karşılama yüzdeleri ( $F_{\text{Seri}}$  ve  $F_{\text{Paralel}}$ ) daha yüksektir. Her ne kadar paralel sistemin ısı yükünü karşılama yüzdesi seri sisteme göre daha büyük isede, sistemlerden sağlanan net ısı tasarruf miktarı seri sistemde daha fazladır (EK 3, Tablo A6 ve A7). Tasarruf edilen net ısı miktarına bağlı olarak yapılan ekonomik analiz sonuçları dikkate alındığında, seri sistem paralel sisteme göre daha ekonomik olmaktadır.

Ekonomik analiz sonuçlarına ilaveten, güneş destekli ve enerji depolu seri ısı pompası sisteminin diğer sistemlere göre avantajları :

- 1- COP değerleri yüksektir (EK 3, Tablo A1-A4).
- 2- Depo sıcaklığı hemen hemen sabit olduğundan kompresörün çalışma düzeni oldukça kararlıdır ve arıza yapma ihtimali azdır.
- 3- Depo sıcaklığı çevreye göre daha yüksek olduğundan kompresörün sıkıştırma oranı azdır ve bundan dolayı iş için dışarıdan daha az enerjiye gereksinim duyar.



4- Depo kullanıldığı için, çevre sıcaklık değişimlerinden etkilenmez ve dolayısıyla defrost problemi yoktur.

5- Sistemde yardımcı ısı kaynağına gerek yoktur.

6- İşletme masrafları paralel sistemden daha düşüktür, çünkü sistemde daha az sayıda elektrik tüketici cihaz (fanlar v.s.) vardır.

7- Kollektör verimi daha fazladır.

8- Isı kayıpları daha azdır.

Yapılan deneysel ve teorik çalışmalardan elde edilen sonuçlarla, ekonomik analiz yöntemlerinden elde edilen sonuçları birlikte değerlendirdiğimizde, Karadeniz bölgesindeki konutları ısıtmak için geleneksel ısıtma sistemlerine alternatif olarak güneş destekli ve enerji depolu seri ısı pompası sistemi önerilebilir.

## 8.2. Öneriler

1- Bölgemiz ısıtma sezonunda güneş enerjisi açısından istenen düzeyde olmadığından, güneş enerjisinin daha fazla olduğu yaz aylarında depolanıp, kışın kullanılabilirliği araştırılmalıdır.

2- Isı kayıplarını en az düzeye indirmek için binalar istenen standartlara göre (TSE ve ASHRAE) iyice yalıtılmalıdır.

3- Bu tür sistemlerin kurulmasında, sistem teknik ve ekonomik yönden devlet tarafından desteklenmelidir.

4- Enerji depolayıcı çeşitli maddeler üzerinde daha fazla araştırma yapılarak, daha ucuz ve daha uygun maddeler kullanıcıların hizmetine sunulmalıdır.

**9-KAYNAKLAR**

- 1- Reay, D.A. and Macmichael, D.B.A., Heat Pumps : Design and Application, Pergamon Press, Oxford, 1979.
- 2- Calm, J.M., Heat Pump, ASHRAE Journal, August 1984, 40-44.
- 3- Gürüz, K., Kimya mühendisliği Termodinamiği, Ankara, 1986.
- 4- Dwight, C.L. and Harry, J.S., Engineering Thermodynamics, PWS Publishers, Boston, 1986.
- 5- Haines, R., Solar Energy Heating Of The Albuquerque Office Building, The Sun at Work, 1(4), 1956.
- 6- Bliss, R.S., New Solar Energy Research Facility For The Southwest Region, The Sun at Work, 11(2), 1957.
- 7- Harper, E.Y., Solar House Tests to Compare Heating Costs, The Sun at Work, 11(3), 1958.
- 8- Howe, E.D.A. and Tleimat, B.W., Solar-Assisted Heat Pump System for Heating and Cooling Residences, Solar Energy, vol.21, 1978, 45-54.
- 9- Gilman, S.F. and Struz, D.H., Solar Energy Assisted Heat Pump Systems For Commercial Office Buildings, ASHRAE Transactions, vol.82, 1976, 374-381.
- 10- Jardine, D.M. and Kuharich, R.F., Operational Report on an Integrate Solar-Assisted Optimized Heat Pumps Systems, ASHRAE Transactions, 1976. 426-432.
- 11- Freeman, T.L., Mitchell, J.M. and Audit, T.E., Performance of Combined Solar-Heat Pump Systems, Solar Energy, vol.22, 1979, 125-135.
- 12- Hart, G.H. and Goldschmidt, V.W., Field Measurements of a Mobile Home Unitary Heat Pump, ASHRAE Transactions, vol.86, 1980, 347-367.
- 13- Paul, J. and Steimle, F., Experiences with Air-to-Water and water-to-Water Heat Pumps Operations in Existing Buildings-Ways of Improving the COP of Heat Pumps for Hydronic Heating Systems, Building Energy Management, Pergamon Press, Oxford, 1981, 527-541.

- 14- Adnot, J., Peterson, F., Brejon, P. and Doux, F., Heat Pump Assisted Solar Space Heating, Building Energy Management, Pergamon Press, Oxford, 1981, 553-564.
- 15- Raffellini, G., A Solar-Assisted Heat Pump With A Long Therm Storage Heating System for a Residential House, Building Energy Management, Pergamon Press, New York, 1981, 577-586.
- 16- Hughes, J.A., Lechton, J.M. and Poole, L.R., A Utility Looks at the Dual Fuel Heat Pump, ASHRAE Transactions, vol.15, 1981, 1056-1066.
- 17- Krakow, K.I. and Lin, S., A Solar Source Heat Pump With Refrigerant Cooled Collectors for Cold Climates, ASHRAE Transactions, vol.88, 1982, 417-438.
- 18- Chandrashekar, M.L.N., Suluvan, H.T. and Hollands, K.G.T., A Comparative Study of Solar Assisted Heat Pump Systems for Canadian Locations, Solar Energy, vol.28, 1982, 217-226.
- 19- Groff, G.C. and Moreau, J.P., An Investigation of Air-to-Water Heat Pumps for New and Existing French Homes, ASHRAE Transactions, vol.89, 1983, 526-537.
- 20- Krakow, K.I. and Lin, S., Seasonal Performance of Multiple-Source Heat Pump for Space Heating in Cold Climates, ASHRAE Transactions, vol.90, 1984, 137-152.
- 21- Kugle, S., Green, S., Haji-Sheikh, A. and Lou, D.Y.S., Performance of Solar Assisted Heat Pump System in Residential Applications, Solar Energy, vol.32, 1984, 169-179.
- 22- Reistad, G.M., Griffiths, J.G. and Lang, S., Evaluations of Dual Source Evaporator for Residential Heat Pump, ASHRAE Transactions, vol.90, 1984, 1024-1041.
- 23- Weinstein, A., Einshower, L.D. and Jones, N.S., Water-Source Heat Pump System for Mount Vernon Unitarian Church, ASHRAE Transactions vol.90, 1984, 304-312.

- 24- Dini, D., Hybrid Solar-Conventional Heat Pump for Residential House, 8th Miami International Conference on Alternative Energy Source, 14-16 December, Proceedings of Condensed Papers, Miami, Florida, vol.1, 1987, 155-155
- 25- Nicolas, J. and Porcelent, J.P., Solar-Assisted Heat Pump System and In-Ground Energy Storage in a School Building, Solar Energy, vol.40, 1988, 117-125.
- 26- Okuyan, M. ve Okuyan, C., Güneş Yardımlı Isı Pompası ile Bina Isıtılması, Mühendis ve Makina, cilt 27, sayı 318, 1986, 23-27.
- 27- Kılıkış, B., Potential of Heat Pump Utilization for Heating Purpose in Turkey, 8th International Conference on Alternative Energy Sources, 14-16 December, Proceedings of Condensed Papers, Miami, Florida, vol.1, 1987, 157-158.
- 28- Oksay, R. ve Babür, N., Toprak Kaynaklı Isı Pompasının Tasarımı ve Yapımı, Isı Bilim ve Tekniği 6. Ulusal Kongresi, 21-23 Eylül 1987, ODTÜ-Ankara, Bildiriler Kitabı, 430-455.
- 29- Yamankaradeniz, R. ve Arıncı, T., Hava Kaynaklı Isı Pompasının Türkiye için Performans Haritalarının Çıkartılması, Isı Bilimi ve Tekniği 6. Ulusal Kongresi, 21-23 Eylül 1987, ODTÜ-Ankara, Bildiriler Kitabı, 419-423.
- 30- Yamankaradeniz, R., Güneş Enerjisi Kaynaklı Isı Pompası için Geliştirilen Teorik Analiz Modeli, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, cilt 9, sayı 2, Temmuz 1986, 27-31.
- 31- Chaturvedi, S.K. and James, Y.S., Thermal Performance of a Direct Expansion Solar-Assisted Heat Pump, Solar Energy, vol.33, 1984, 155-162.
- 32- MacArthur, J.W., Theoretical Analysis of the Dynamic Interactions of Vapor Compression Heat Pumps, Energy Convers. Mgmt, vol.24, 1984, 49-66.
- 33- Terrel, R.E., Performance and Analysis of a Series Heat Pump-Assisted Solar Heated Residence in Madison, Wisconsin, Solar Energy vol.23, 1979, 451-453.

- 34- Ellison, R.D., The Effects of Reduced Indoor Temperature and Night Setback on Energy Consumption of Residential Heat Pumps, ASHRAE Journal, February 1977, 21-25.
- 35- Oshinski, J.N. and Abrams, D.W., Applications Tests of Commercial Heat Pump Water Heaters, Energy Engineering, 1988, 49-70.
- 36- Tleimat, B.W. and Howe, E.D., A Solar-Assisted Heat Pump System for Heating and Cooling Residence, Sol.Energy, vol.21, 1978,45-54.
- 37- Morgan, R.G., Solar Assisted Heat Pump, Solar Energy, vol.28, 1982 129-135.
- 38- McGraw, B.A., Bedinger, A.F.G. and Reid, R.L., Experimental Evaluation of A Series Solar Assisted Heat Pump System. Proceedins of 1981 American Section, ISES Annual Meeting, 1981, 562-566.
- 39- Bond, T.Y., Toward an Efficient Operation of a Series Solar Heat Pump System, ASHRAE Transac. vol.90, Rep.No.2799, 1984, 617-625.
- 40- MacArthur, J.W., Analytical Representation of the Transient Energy Interactions in Vapor Compression Heat Pumps, ASHRAE Transactions, vol.90, 1984, 982-996.
- 41- Kakaç, S., Paykoç, E. and Yener, Y., Storage of Solar Thermal Energy, Energy Storage Systems, NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers, 1989, 129-162.
- 42- Baylin, F., Low Temperature Thermal Energy Storage : A State of the Art. Solar Energy Research Institute Report No.SERI/RR-54-164, Golden, Colorado, USA, 1979.
- 43- Abhat, A., Short Term Thermal Energy Storage, Revue Phys. Appl., vol.15, 1980, 477-501.
- 44- Office of Technology Assessment, U.S. Congress : Application of Solar Technology to Today's Energy Needs, vol.1 (CTA), Washington, D.C.: U.S. Goverment Printing Office (052-003-005-395), Jun 1978, 443-445.
- 45- National Research Coincil : Energy Storage for Solar Applications, A Report by the Solar Energy Panel of the Committee on Advanced

- Energy Storage Systems, National Academic Press, Washington, D.C., 1981.
- 46- RCA Advanced Technology Laboratories : Technical and Economical Feasibility of Thermal Storage, Final Report, U.S. Department of Energy , Contract FY 76-C-02-2591, Washington D.C., June 1976.
- 47- Lorsch, H.G., Thermal Energy Storage for Solar Heating, ASHRAE Journal, 1975, 47-52.
- 48- Wyman, C., Cestle, J. and Kreith, F., A Review of Collector and Energy Storage Technology for Intermediate Temperature Applications, Solar Energy, vol.24, 1980, 517-540.
- 49- Fanney, A.H. and Klein, S.A., Performance of Solar Domestic Hot Water Systems at the National Bureau of Standards-Measurements and Predictions, Journal of Solar Energy Engineering, vol.105, 1983, 311-321.
- 50- Davis, E.S. and Bartera, R., Stratification in Solar Water Heater Storage Tanks, Proc. Workshop on Solar Energy Storage Subsystems for Heating and Cooling of Buildings, Charlottesville, Virginia, 1975, 38-42.
- 51- Brumleva, T.D., Sensible Heat Storage in Liquids, Sandia Laboratories, Energy Report SLL-73-263, 1974.
- 52- Sharp, M.K. and Loehrke, R.I., Stratified Versus Well-Mixed Sensible Heat Storage in a Solar Space Heating Application, Paper No.78-HT-49, Presented at the AIAA-ASME Thermodynamics and Heat Transfer Conference, Palo Alto, California, May 1978.
- 53- Lavan, Z. and Thomson, J., Experimental Study of Thermally Stratified Hot Water Storage Tanks, Solar Energy, vol.19, 1977, 514-519.
- 54- Schmidt, F.W. and Willmott, A.J., Thermal Energy Storage and Regeneration, McGraw-Hill Book Company, New York, 1981.
- 55- Jaluria, Y. and Gupta, S.K., Decay of Thermal Stratification in a Water Body for Solar Energy Storage, Solar Energy, vol.28, 1982, 137-143.

- 56- Phillips, W.F. and Dave, R.N., Effects of Stratification On The Performance of Liquid-Based Solar Heating Systems, Solar Energy, vol.29, 1982, 111-120.
- 57- Kimura, H. and Kai, J., Phase Change Stability of  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , Solar Energy, vol.33, 1984, 49-55.
- 58- Carlsson, B., Stymne, H. and Wettermark, G., An Incongruent Heat-of-Fusion System- $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ -Made Congruent Through Modification of the Chemical Composition of the System, Solar Energy, vol.23, 1979, 343-350.
- 59- Lane, G.A., Adding Strontium Chloride or Calcium Hydroxide to Calcium Chloride Hexahydrate Heat Storage Material, Solar Energy, vol.27, 1981, 73-75.
- 60- Feilchenfeld, H., Fuchs, J., Kahana, F. and Sarig, S., The Melting Point Adjustment of Calcium Chloride Hexahydrate by Addition of Potassium Chloride or Calcium Bromide Hexahydrate, Solar Energy, vol.34, 1985, 199-201.
- 61- Kimura, H. and Kai, J., Mixtures of Calcium Chloride Hexahydrate With Some Salt Hydrates or Anhydrous Salts as Latent Heat Storage Materials, Energy Convers. Mgmt, vol.28, 1988, 197-200.
- 62- Telkes, M., Solar Energy Storage, ASHRAE Journal, September 1974, 38-44.
- 63- Carlsson, B. and Wettermark, G., Heat Transfer Properties of a Heat-of-Fusion Store Based on  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , Solar Energy, vol.24, 1980, 239-247.
- 64- Katayama, K., Saito, A., Utaka, Y., Saito, A., Matsui, H., Maekawa, H. and Saifullah, A.Z.A., Heat Transfer Characteristics of the Latent Heat Thermal Energy Storage Capsule, Solar Energy, vol.27, 1981, 91-97.
- 65- Brandstetter, A., On the Stability of Calcium Chloride Hexahydrate in Thermal Storage Systems, Solar Energy, vol.41, 1988, 183-191.

- 66- Yanadori, M. and Masuda, T., Heat Transferential Study On a Heat Storage Container With Phase Change Material, Solar Energy, vol.36 1986, 169-177.
- 67- Porisini, F.C., Salt Hydrates Used For Latent Heat Storage : Corrosion of Metals and Reliability of Thermal Performance, Solar Energy, vol.41, 1988, 193-197.
- 68- Gültekin, N., Ayhan, T. and Kaygusuz, K., Heat Storage Chemical Materials Which can be Used for Domestic Heating by Heat Pumps, Energy Convers. Mgmt, vol.32, 1991, 311-317.
- 69- Cherng, J. and Makhlof, M., Design Guidelines for Phase Change Thermal Storage in Residential Solar Space Heating/Cooling Applications, Alternative Energy Source, Ann Arbor Sci., Michigan, vol.4, 1989, 319-335.
- 70- Kohler, J. and Lewis, D., Phase-Change Products For Passive Homes, Solar Age, vol.8, May 1983, 65-67.
- 71- Jafrin, A. and Cadier, P., Latent Heat Storage Applied To Horticulture, Solar Energy, vol.28, 1982, 313-321.
- 72- Yanadori, M. and Masuda, T., Heat Transfer Study on Heat Storage Container With a Phase Change Material, Solar Energy, vol.42, 1989, 27-34.
- 73- Abhat, A., Low Temperature Latent Heat Thermal Energy Storage : Heat Storage Materials, Solar Energy, vol.30, 1983, 313-331.
- 74- Huang, B.K., Toksoy, M. and Çengel, Y.A., Transient Response of Latent Heat Storage in Greenhouse Solar System, Solar Energy, vol.37, 1986, 279-292.
- 75- Lou, D.Y.S., Solidification Process in a Glauber Salt Mixture, Solar Energy, vol.30, 1983, 115-121.
- 76- Telkes, M., Nucleation of Supersaturated Inorganic Salt Solutions, Industrial and Engineering Chemistry, vol.44, 1952, 1308-1310.
- 77- Yang, W.J., Thermal Energy Storage Systems and Their Dynamic Behavior, Energy Storage Systems, NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers, 1989, 11-35.



- 78- Krane, R.J., Second Law Optimization of Thermal Energy Storage Systems : Latent Heat Systems, Energy Storage Systems, NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers, 1989, 69-88.
- 79- Buchlin, J.M., Experimental and Numerical Modelling of Solar Energy Storage in Encapsulated Phase Change Material Packings, Energy Storage Systems, NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers, 1989 274-297.
- 80- Wettermark, G., Thermochemical Energy Storage, Energy Storage Systems, NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers, 1989, 673-681.
- 81- Harris, N.C., Modern Air Conditioning Practice, McGraw-Hill International Editions, Third Edition, New York, 1983.
- 82- Kılıç, A. ve Öztürk, A., Güneş Enerjisi, Kipaş Dağıtımçılık, Çağaloğlu, İstanbul, 1983.
- 83- Howell, J.R., Bannerot, R.B. and Vliet, G.C., Solar Thermal Energy Systems: Analysis and Design, McGraw-Hill Book Company, N.Y, 1982.
- 84- Meinel, A.B. and Meinel, M.P., Applied Solar Energy: An Introduction, Addison-Wesley Publishing Company, London, Fourth Printing, 1979.
- 85- Sayigh, A.A.M., Solar Energy Engineering, Academic Press, New York 1977.
- 86- Kreider, J.F. and Kreith, F., Solar Heating and Cooling: Active and Passive Design, Second Edition, McGraw-Hill Book Company, New York, 1982.
- 87- Taşdemiroğlu, E., Solar Energy Utilization: Technical and Economic Aspect, Middle East Technical University, 1990.
- 88- Taşdemiroğlu, E. and Arınç, F., A Method For Technical-Economic Analysis of Solar Heating Systems, Energy Convers, Mgmt, vol.28, 1988, 95-103.
- 89- Okka, O., Mühendislik Ekonomisi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 1983.

- 90- Hatheway, F.M. and Converse, A.O., Economic Comparison of Solar-Assisted Heat Pumps, Solar Energy, vol.27, 1981, 561-569.
- 91- Brandemuehl, M.J. and Beckman, W.A., Economic Evaluation and Optimization of Solar Heating Systems, Sol.Energy, vol.23, 1979, 1-10.
- 92- Setty, B.S.V., Economics of Heat Pumping, ASHRAE Journal, September 1979, 48-51.
- 93- Beckman, W.A., Klein, S.A. and Duffie, J.A., Solar Heating Design by the F-Chart Method, John Wiley Interscience, New York, 1977.
- 94- Duffie, J.A. and Beckman, W.A., Solar Energy Thermal Processes, John Wiley Interscience Publication, New York, 1974.
- 95- ASHRAE Handbook of Fundamentals, Atlanta, 1989.
- 96- Atagündüz, G., Güneş Enerjisi Temelleri ve Uygulamaları, Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova, İzmir, 1989.

## EK 1 BINA ISITMA YÜKÜNÜN HESAPLANMASI

Bir binanın ısı yükü, kış ve yaz iklim şartlarına göre ısı kaybı veya ısı kazancı olarak ifade edilmektedir. Isı kaybı, dış ortama göre daha yüksek sıcaklıkta olan iç ortamdan dışarıya doğru olan ısı akımıdır. Isı kaybı hesapları oldukça basittir. Genellikle iç ortam sıcaklığı sabit tutularak (293 K) değişen dış ortam sıcaklığına bağlı olarak kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

Binadan veya binanın herhangi bir yerinden dış ortama doğru ısı transferi olarak tanımlanan ısı kaybı, genel olarak iki şekilde meydana gelmektedir. Bunlardan birincisi ısı iletimi (konveksiyon + konduksiyon), ikincisi ise havanın yerdeğişimi (infiltrasyon ısı kaybı) ile olmaktadır.

Isı iletimi ile meydana gelen ısı kaybı hesabı, aşağıdaki formülle kolaylıkla hesaplanabilir :

$$Q = U A ( T_{iç} - T_{dış} )$$

Burada ;

$U$  = Binanın toplam ısı transfer katsayısı, ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

$A$  = Binanın toplam dış yüzey alanı,  $m^2$

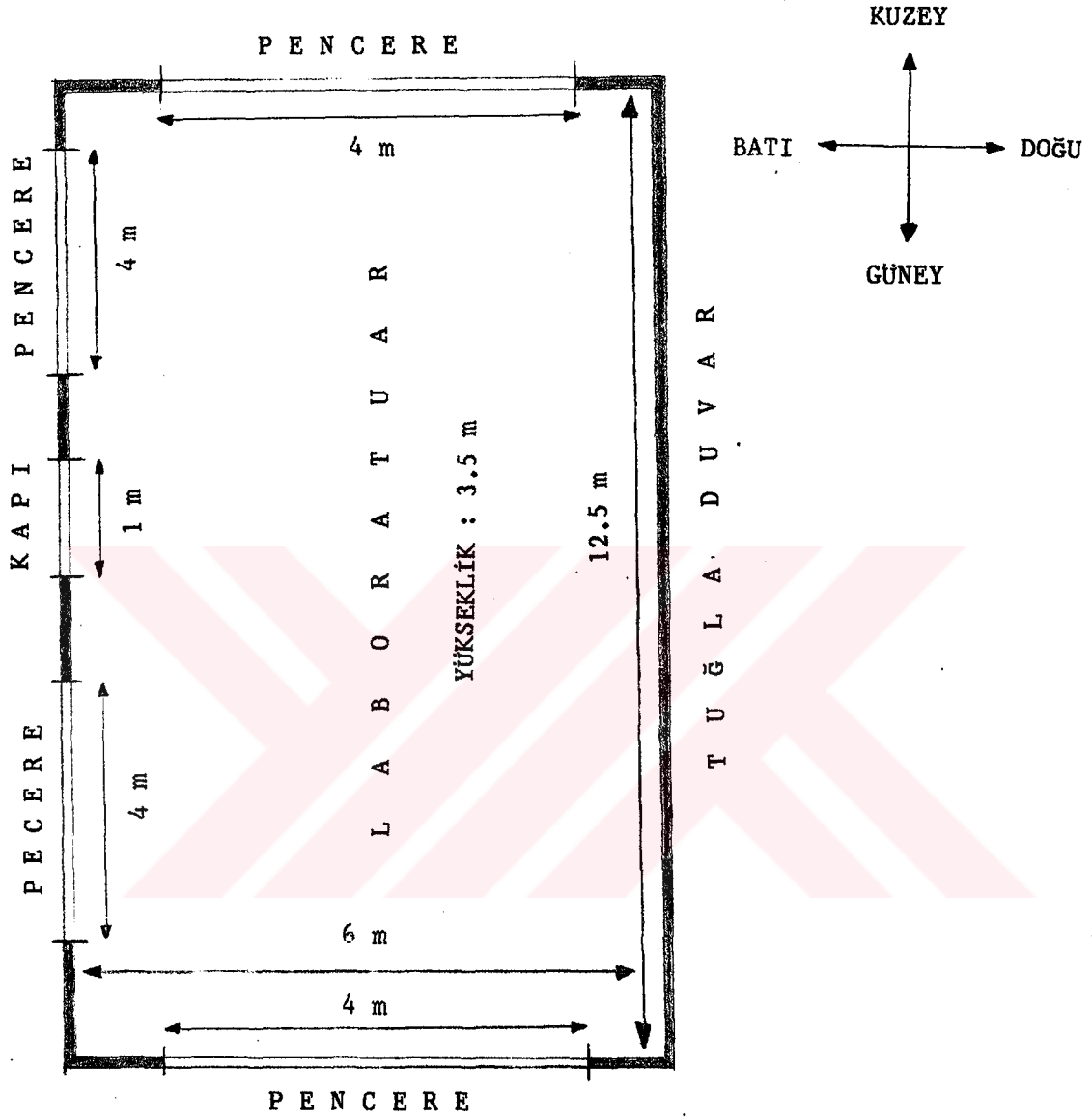
$T_{iç}$  = Binanın iç ortam sıcaklığı, ( $^\circ C$ )

$T_{dış}$  = Dış ortam sıcaklığı, ( $^\circ C$ )

olarak tanımlanmıştır.

Tablo 1 'de insanların çalışma ve dinlenme durumuna göre ısıtılan ortamın olması gereken iç hava sıcaklıkları verilmiştir.

Isıtma ortamı olarak Şekil 1 de şematik olarak görülen labratuvar binası kullanılmıştır. Binanın ısıtma yükünü hesaplamak için bir BASIC bilgisayar programı hazırlanmıştır. Bu hesaplamada iç ortam sıcaklığı 293 K olarak kabul edilmiş ve dış ortam sıcaklığı olarak da meteoroloji bölge müdürlüğünden alınan ortalama günlük çevre sıcaklığı değerlendirilmiştir.



Şekil 1. Laboratuvar Binasının Şematik Görünüşü.

rinin aylık ortalama değerleri kullanılarak aylık ortalama ısıtma yükü hesaplanmıştır. Isıtma yükünü hesaplarken günlük ısıtma miktarı ortalama 14 saat olarak kabul edilmiştir. Hesaplama da kullanılan bilgisayar programı aşağıda verilmiştir.

Tablo 1. Binaların çalışma durumuna göre iç ortam sıcaklıkları [95].

Mahal	iç ortam sıcaklığı [°C]
<b>Konutlar :</b>	
Oturma Odası	20
Yatak Odası	22
Banyo	26
<b>İş ve İdare Binaları :</b>	
Lokanta	20
İş Atelyesi	20
Tesviye, Marangoz v.b. Atelyesi	20
Kaporta, boya v.b. İş Atelyesi	20
Toplantı Salonu	20
Sinema, Tiyatro, Gazino	18
Bürolar	21
<b>Okullar :</b>	
Derslikler, Salonlar, Öğretmen, Yönetici ve Kreş Odaları	20
Duş, Soyunma ve Giyinme Odaları	26
Revir, Doktor ve Muayene Odası	24
Konferans Salonu	18
<b>Hastane Yapıları :</b>	
Hasta yatak ve poliklinik odası	20
Eczane ve Labratuvarlar	20
Merdiven boşluğu, bekleme salonu	18

```

10 REM *****
20 REM * BİNA ISI YÜKÜNÜ HESAPLAMAK İÇİN BİLGİSAYAR PROGRAMI *
30 REM *****
40 REM KÜTÜK = ISI YÜKÜ
50 REM VERİLERİN YERLEŞTİRİLMESİ
60 REM OPTION BASE 1
70 BIŞ=CHR$(27)+CHR$(7)
80 REM IS=iÇ ISI; °C
90 REM DS=DIŞ ISI; °C
100 REM H=YÜKSEKLİK; m
110 REM ADŞ=ODANIN ADI
120 REM K=DUVARIN KALINLIĞI; cm
130 REM KT=TUĞLA DUVAR İÇİN ISI TRANSFER KATSAYISI
140 REM KB=BETON DUVAR İÇİN ISI TRANSFER KATSAYISI
150 REM DTŞ=DUVAR TÜRÜ (TD/TB)
160 REM DK=DUVARIN KALINLIĞI; cm
170 REM DY=DUVARIN YÖNÜ (K/G/D/B)
180 REM DU=DUVARIN UZUNLUĞU; m
190 REM Y=ÇARPIM İÇİN YÖN FAKTÖRÜ
200 REM P=PENCERE YÜZEYİ; m2
210 REM PA=TOPLAM PENCERE YÜZEYİ; m2
220 REM QP=PENCEREDEN KAYBEDİLEN ISI; KJ/SAAT
230 REM DY=DUVAR YÜZEYİ; m2
240 REM QD=DUVARDAN KAYBEDİLEN ISI; KJ/SAAT
250 REM QT=TOPLAM ISI KAYBI QP+QD (PENCERE+DUVAR)
260 REM TT=BÜTÜN QT 'LERİN TOPLAMI
270 REM SAŞ=TABANIN BÖLÜNDÜĞÜ BÖLGE SAYISI
280 REM L1=TABANIN BİRİNCİ KENARININ UZUNLUĞU; m
290 REM L2=TABANIN İKİNCİ KENARININ UZUNLUĞU; m
300 REM A1=TABAN BÖLGESİNİN ALANI, L1*L2
310 REM AT=TOPLAM TABAN ALANI; m2
320 REM QV=TABAN VE TAVAN DÖŞEMESİNDEN KAYBEDİLEN ISI
330 REM QR=HAVA AKIMI İLE KAYBEDİLEN ISI; KJ/SAAT
340 REM T1=BÜTÜN ISI KAYIPLARININ TOPLAMI
350 REM T2=QR 'LERİN TOPLAMI
360 REM T3=QV 'LERİN TOPLAMI
370 REM
380 INPUT "iÇ ISI"; IS
390 INPUT "DIŞ ISI"; DS
400 INPUT "YÜKSEKLİK"; H
410 PRINT BIŞ : BIŞ=CHR$(27)+CHR$(7)
420 PRINT "PROGRAMI DURDURMAK İÇİN (SON) KELİMESİNİ GİRİN"
430 INPUT "ODANIN ADI";ADŞ
440 IF ADŞ="SON" THEN GOTO 610
450 GOSUB 750 'DUVAR İÇİN ALT PROGRAM
460 IF DTŞ="SON" THEN GOTO 510
470 GOSUB 1170 'PENCERE İÇİN ALT PROGRAM
480 GOSUB 1300 'ISI DEĞİŞİMİ İÇİN ALT PROGRAM
490 TT=TT+QT
500 GOTO 440

```

```

510 GOSUB 1390 'TABAN İÇİN ALT PROGRAM
520 IF C=0 GOTO 530
530 GOSUB 1780
540 TK=TT+QV+QR
550 PRINT ADŞ;"DAN KAYBEDİLEN TOPLAM ISI"; TK :TT=0
560 'PRINT CHRŞ(12) 'YENİ KAĞIT İÇİN KOMUT
570 T1=T1+TK 'T1=ISITMA VERİMİ (KALORİFER V.S) İÇİN
580 'HESAPLARIN TOPLANACAĞI DEĞİŞKEN
590 TK=0
600 GOTO 410
610 '**BİLGİ YAZIM İÇİN SON KOMUTLAR *****
620 PRINT "İÇ ISI=";IS
630 PRINT "DIŞ ISI="; DS
640 PRINT "ODANIN YÜKSEKLİĞİ=";H
650 PRINT
660 PRINT "TOPLAM ISI KAYBI (KJ/SAAT):"
670 PRINT
680 PRINT "DUVARLAR VE CAMLAR=";T4 : PRINT
690 PRINT "TABAN VE TAVAN=";T3
700 PRINT
710 PRINT "HAVA AKIMI=";T2
720 PRINT
730 PRINT "ISITMA VERİMİ (KALORİFER V.S)=";T1
740 END
750 '** DUVAR ALT PROGRAMI *****
760 S(1)=25
770 S(2)=38
780 S(3)=50
790 KT(1)=6.7
800 KT(2)=5.4
810 KT(3)=4.2
820 KB(1)=9.2
830 KB(2)=7.5
840 KB(3)=6.7
850 PRINT BIŞ
860 PRINT "DUVAR ALT-PROGRAMI ISI KAYBI HESAPLARI"
870 PRINT
880 PRINT ADŞ
890 PRINT :PRINT "ISI FARKI OLAN BAŞKA DUVAR YOKSA (SON) GİRİN"
900 INPUT "HANGİ DUVAR";LŞ
910 IF LŞ="SON" GOTO 1390
920 INPUT "DUVARIN TÜRÜ (TD/BD/SON)";DTŞ
930 IF DTŞ="SON" THEN RETURN
940 IF DTŞ<>"TD" AND DTŞ<>"BD" THEN PRINT "DUVARIN
950 'TÜRÜNDE HATA"; GOTO 1020
960 INPUT "DUVARIN KALINLIĞI (25/30/50)";DK
970 N=0
980 I=1
990 IF DK=S(I) THEN N=I
1000 IF I=3 THEN GOTO 1010 ELSE I=I+1 :GOTO 990

```

```

1010 IF N=0 THEN LPRINT "DUVARIN KALINLIĞINDA HATA YAPILDI": GOTO 950
1020 IF DTŞ="TD" THEN GOTO 1040
1030 K=KB(N) : GOTO 1050
1040 K=KT(N)
1050 INPUT "DUVARIN YÖNÜ NEDİR (G/K/D/B)";DYŞ
1060 INPUT "DUVARIN UZUNLUĞU NEDİR";DU
1070 IF DYŞ="K" THEN Y=1.2 : GOTO 1110
1080 IF DYŞ="B" THEN Y=1.1 : GOTO 1110
1090 IF DYŞ="D" THEN Y=1.15 : GOTO 1110
1100 Y=1
1110 PRINT : PRINT "ODA:"; ADŞ
1120 PRINT "DUVARIN ADI:";LŞ
1130 PRINT "KALINLIĞI=";K
1140 PRINT "YÖN KATSAYISI=";Y
1150 PRINT "DUVARIN UZUNLUGU=";DU
1160 RETURN
1170 '*** PENCERE ALT PROGRAMI ****
1180 PRINT BIŞ
1190 PRINT "PENCERE ALT PROGRAMI ISI KAYBI HESAPLARI"
1200 PRINT
1210 PRINT ADŞ
1220 TP=0
1230 INPUT "SIRAYLA PENCERE YÜZEYLERİNİ GİRİN";PY
1240 IF PY=0 THEN GOTO 1260
1250 TP=PY+TP
1260 QP=PY*21*Y*(IS-DS) 'K=21 PENCERE İÇİN
1270 PRINT "TOPLAM PENCERE YÜZEYİ=";TP
1280 PRINT "PENCEREDEN KAYBEDİLEN ISI=";QP
1290 RETURN
1300 '*** ISI KAYBI İÇİN ALT PROGRAM *****
1310 DY=(DU*H)-PA
1320 PRINT "TOPLAM DUVAR YÜZEYİ";DY
1330 QD=DY*K*Y*(IS-DS)
1340 QT=QD+QP
1350 PRINT "DUVARDAN KAYBEDİLEN ISI=";QD
1360 PRINT "DUVAR VE PENCERELERDEN KAYBEDİLEN ISI=";QT
1370 T4=T4+QT
1380 RETURN
1390 '*** TABAN ALT PROGRAMI *****
1400 PRINT BIŞ
1410 PRINT "TABAN ALT PROGRAMI ISI KAYBI HESAPLARI"
1420 PRINT
1430 PRINT ADŞ
1440 QV=0
1450 TA=0
1460 PRINT "TABAN TEK BİR BÖLGEDEN OLUŞUYOR OLSA BİLE 1 GİRİN"
1470 PRINT "PROGRAMI DURDURMAK İSTİYORSANIZ (0) GİRİN"
1480 INPUT "TABANIN BÖLÜNDÜĞÜ BÖLGE SAYISI";SA
1490 IF SA=0 THEN RETURN
1500 FOR N=1 TO SA

```



```
1510 INPUT "BÖLGELERİN UZUNLUĞU"; L1(N)
1520 INPUT "BÖLGELERİN GENİŞLİĞİ"; L2(N)
1530 A(N)=L1(N)*L2(N) 'BÖLGELERİN ALANI
1540 TA=A(N)+TA
1550 NEXT N
1560 PRINT "AŞAĞIDAKİ SEÇENEKLERDEN BİRİNİ GİRİNİZ"
1570 PRINT "0:NE TABAN NE TAVAN ISI KAÇIRIYORSA"
1580 PRINT "1:YANLIZCA TABAN ISI KAÇIRIYORSA"
1590 PRINT "2:YANLIZCA TAVAN ISI KAÇIRIYORSA"
1600 PRINT "3:HEM TABAN HEM TAVAN ISI KAÇIRIYORSA"
1610 INPUT "SEÇTİĞİNİZ SEÇENEĞİN SAYISINI GİRİNİZ";C
1620 IF C=0 GOTO 1780
1630 IF C=1 THEN GOTO 1660
1640 IF C=2 THEN GOTO 1700
1650 IF C=3 THEN GOTO 1740
1660 QV=TA*4.2*(IS-DS)
1670 PRINT "TABANDAN KAÇAN ISI=";QV
1680 T3=T3+QV
1690 GOTO 520
1700 QV=TA*8.399999*(IS-DS)
1710 PRINT "TAVANDAN KAÇAN ISI=";QV
1720 T3=T3+QV
1730 GOTO 520
1740 QV=TA*12.6*(IS-DS)
1750 PRINT "TABANDAN VE TAVANDAN KAÇAN ISI=";QV;"KJ/SAAT"
1760 T3=T3+QV
1770 GOTO 520
1780 '****HAVA AKIMI ALT PROGRAMI ****
1790 QR=TA*H*1.26*(IS-DS)
1800 PRINT "HAVA AKIMI İLE KAYBEDİLEN ISI=";QR; "KJ/SAAT"
1810 TR=TR+QR
1820 RETURN
```

## EK 2. ISI POMPASININ PERFORMANS DENKLEMLERİ

### 1- Güneş Destekli ve Enerji Depolu Seri Isı Pompası Sisteminin Performans Değerleri

Yapılan deneysel çalışmalara göre ısı pompasının COP değeri ve kondenserden alınan ısı miktarı, su kaynaklı evaporatöre giren suyun sıcaklığı ile doğrusal bir şekilde değişmektedir ve aşağıdaki denklemlerle gösterilebilir :

$$\text{COP} = 5.4656 + 5.33 \cdot 10^{-2} T_S - 5.53 \cdot 10^{-4} T_S^2 + 1.20 \cdot 10^{-6} T_S^3 \quad (1)$$

$$Q_{\text{kon}} = 21.4284 - 5.6203 \cdot 10^{-2} T_S - 7.4768 \cdot 10^{-4} T_S^2 + 2.6304 \cdot 10^{-6} T_S^3 \quad (2)$$

burada  $T_S$  = Sulu evaporatöre giren suyun sıcaklığıdır [K].

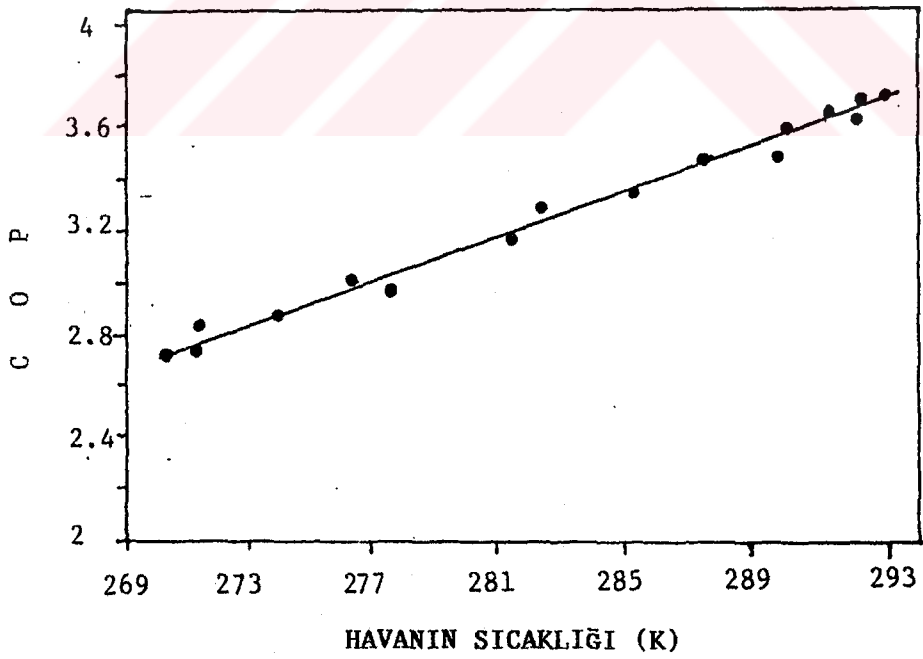
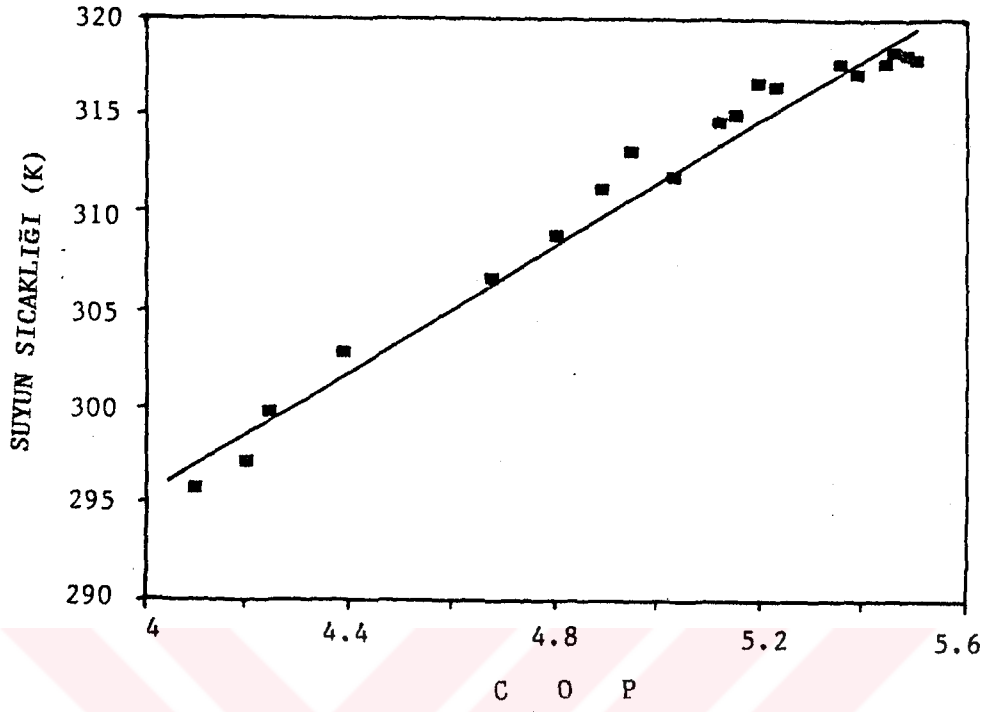
### 2- Hava Kaynaklı Isı Pompasının Performans Değerleri

Yapılan deneysel çalışmaların sonucuna göre, ısı pompasının COP değeri ve kondenserden alınan ısı miktarı dış ortam sıcaklığı ile doğrusal bir şekilde değişmekte olup aşağıdaki denklemlerle gösterilebilir :

$$\text{COP} = -27.9897 + 0.121 T_C + 1.601 \cdot 10^{-4} T_C^2 - 7.035 \cdot 10^{-7} T_C^3 \quad (3)$$

$$Q_{\text{kon}} = 18.454 - 0.1019 T_C + 6.5081 \cdot 10^{-5} T_C^2 + 5.0446 \cdot 10^{-7} T_C^3 \quad (4)$$

burada  $T_C$  = Çevre havasının sıcaklığıdır [K].



EK 2 Şekil 1. Hava ve Su Kaynaklı Isı Pompasının Performans Değişimi

EK 3. TABLOLAR



Tablo A.1. Güneş Destekli ve Enerji Depolu Seri Sistem (7 Mart 1992 - Güneşli)

Saat	T1	T2	T3	T4	T7	T8	T9	T10	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T24	T25	T26	T27
10:00	0,83	3,27	3,3	1,78	0,41	0,95	1,3	1,04	1,05	1,74	1,35	1,47	1,36	0,98	1,48	1,32	0,98	0,98	1,49	1,33	0,98
10:30	0,89	4,19	4,24	2,08	0,55	0,98	1,39	1,13	1,14	1,85	1,43	1,49	1,43	1,01	1,49	1,4	1	1	1,49	1,41	0,99
11:00	0,94	4,33	4,37	2,14	0,59	1	1,43	1,17	1,17	1,94	1,46	1,53	1,48	1,02	1,53	1,43	1,01	1,01	1,51	1,45	1,01
11:30	0,97	4,37	4,42	2,18	0,61	1,05	1,46	1,2	1,21	1,97	1,49	1,57	1,52	1,03	1,59	1,47	1,02	1,03	1,55	1,47	1,02
12:00	1	4,43	4,48	2,23	0,64	1,08	1,49	1,23	1,24	2	1,52	1,6	1,55	1,05	1,6	1,5	1,03	1,04	1,59	1,51	1,03
12:30	1,03	4,51	4,56	2,28	0,66	1,14	1,54	1,27	1,28	2,04	1,57	1,64	1,58	1,08	1,64	1,54	1,06	1,07	1,63	1,56	1,06
13:00	1,08	4,56	4,61	2,34	0,72	1,18	1,57	1,3	1,31	2,09	1,6	1,66	1,61	1,12	1,68	1,58	1,09	1,1	1,66	1,6	1,09
13:30	1,11	4,62	4,67	2,35	0,74	1,21	1,59	1,32	1,33	2,12	1,62	1,67	1,61	1,14	1,68	1,6	1,12	1,12	1,66	1,63	1,11
14:00	1,11	4,6	4,64	2,39	0,8	1,19	1,6	1,33	1,34	2,1	1,63	1,67	1,61	1,18	1,68	1,6	1,16	1,15	1,67	1,63	1,14
14:30	1,06	4,59	4,64	2,42	0,78	1,08	1,6	1,33	1,34	2,08	1,63	1,67	1,59	1,2	1,68	1,6	1,19	1,19	1,67	1,63	1,16
15:00	1,05	4,59	4,63	2,43	0,75	1,06	1,58	1,31	1,31	2,05	1,58	1,66	1,59	1,2	1,67	1,59	1,2	1,2	1,67	1,62	1,16
15:30	1,03	4,56	4,61	2,41	0,72	1,04	1,5	1,23	1,28	2	1,54	1,64	1,58	1,2	1,67	1,59	1,2	1,21	1,66	1,62	1,16
16:00	0,98	4,55	4,59	2,34	0,66	1,02	1,42	1,16	1,21	1,92	1,45	1,62	1,58	1,2	1,67	1,58	1,19	1,21	1,66	1,61	1,17
16:30	0,92	4,52	4,57	2,27	0,6	0,99	1,35	1,11	1,12	1,83	1,39	1,6	1,58	1,19	1,66	1,57	1,19	1,22	1,65	1,61	1,17
17:00	0,9	4,5	4,56	2,26	0,57	0,96	1,31	1,09	1,08	1,75	1,34	1,59	1,57	1,19	1,66	1,57	1,19	1,21	1,64	1,61	1,15
17:30	0,86	4,5	4,55	2,24	0,54	0,95	1,28	1,07	1,06	1,65	1,32	1,59	1,57	1,18	1,65	1,55	1,19	1,2	1,64	1,6	1,15
18:00	0,86	4,49	4,54	2,21	0,5	0,92	1,25	1,04	1,03	1,53	1,28	1,59	1,56	1,18	1,65	1,55	1,18	1,17	1,63	1,6	1,15
18:30	0,86	4,5	4,55	2,18	0,48	0,9	1,22	1,02	1,01	1,35	1,26	1,58	1,56	1,18	1,63	1,54	1,18	1,15	1,63	1,59	1,14
19:00	0,85	4,49	4,54	2,17	0,46	0,89	1,19	1	0,99	1,16	1,24	1,58	1,55	1,17	1,63	1,53	1,18	1,14	1,62	1,58	1,13
19:30	0,85	4,48	4,53	2,16	0,44	0,88	1,17	0,98	0,97	0,98	1,23	1,57	1,54	1,17	1,62	1,52	1,17	1,12	1,62	1,57	1,13
20:00	0,84	4,47	4,5	2,16	0,44	0,88	1,16	0,96	0,96	0,97	1,22	1,57	1,52	1,16	1,62	1,51	1,17	1,12	1,61	1,57	1,12
20:30	0,84	4,47	4,49	2,14	0,42	0,87	1,16	0,94	0,94	0,95	1,21	1,56	1,52	1,15	1,61	1,51	1,16	1,11	1,6	1,56	1,11
21:00	0,82	4,46	4,49	2,13	0,4	0,86	1,14	0,93	0,93	0,94	1,19	1,56	1,51	1,15	1,6	1,5	1,15	1,1	1,6	1,55	1,11
21:30	0,81	4,5	4,47	2,13	0,4	0,86	1,14	0,93	0,93	0,93	1,18	1,55	1,5	1,14	1,59	1,49	1,15	1,1	1,58	1,55	1,1
22:00	0,81	4,44	4,46	2,12	0,38	0,85	1,13	0,92	0,91	0,92	1,18	1,55	1,5	1,13	1,59	1,49	1,14	1,09	1,57	1,54	1,1

Tablo A.1. (devam).

T28	T29	T30	T32	T33	T34	T35	T36	T37	Tiç	Tdiş	P1	P2	Niik	Nson	T1	T2	T3	T4	T7	T8
1.35	0.98	1.49	0.9	1.68	1.76	1.77	1.66	1.54	288	284	5.4	14.5	4363.2	4404.1	293.23	338.55	339.08	311.35	285.03	295.56
1.43	1	1.49	1.07	2.07	2.02	2.03	1.91	1.78	290	284.5	6.4	17			294.40	354.60	355.45	316.95	287.78	296.14
1.46	1.16	1.52	1.11	2.16	2.1	2.1	1.99	1.85	293	285	6.6	17.8			295.36	356.99	357.67	318.06	288.56	296.52
1.5	1.22	1.56	1.15	2.2	2.13	2.15	2.02	1.89	293.5	285	6.6	17.8			295.94	357.67	358.52	318.80	288.95	297.48
1.53	1.28	1.6	1.18	2.25	2.16	2.18	2.06	1.92	294	285	6.8	18			296.52	358.69	359.54	319.73	289.54	298.06
1.58	1.34	1.64	1.23	2.33	2.24	2.25	2.13	1.99	294.5	285.4	7	18.5			297.10	360.05	360.89	320.65	289.93	299.21
1.6	1.36	1.67	1.27	2.39	2.29	2.3	2.18	2.04	295	285.95	7.2	19			298.06	360.89	361.73	321.75	291.10	299.98
1.61	1.37	1.69	1.28	2.41	2.29	2.32	2.2	2.06	295.5	285.5	7.4	19.5			298.64	361.90	362.74	321.93	291.49	300.56
1.61	1.39	1.68	1.3	2.44	2.34	2.35	2.23	2.09	296	285	7.4	19.5			298.64	361.57	362.24	322.67	292.65	300.17
1.62	1.39	1.68	1.31	2.46	2.36	2.37	2.25	2.11	296	285	7.4	20			297.68	361.40	362.24	323.22	292.26	298.06
1.62	1.39	1.67	1.29	2.45	2.32	2.33	2.24	2.12	296	285	7.2	19.8			297.48	361.40	362.07	323.40	291.68	297.68
1.62	1.37	1.65	1.28	2.41	2.27	2.28	2.21	2.11	296	284	7	19.4			297.10	360.89	361.73	323.04	291.10	297.29
1.59	1.37	1.65	1.27	2.36	2.24	2.25	2.16	2.1	296.4	283.5	6.8	19			296.14	360.72	361.40	321.75	289.93	296.91
1.59	1.36	1.63	1.26	2.3	2.2	2.21	2.1	1.97	296.65	283	6.4	18.5			294.98	360.22	361.06	320.46	288.76	296.33
1.58	1.36	1.63	1.25	2.29	2.19	2.2	2.09	1.96	296.65	283	6.4	18.4			294.59	359.88	360.89	320.28	288.17	295.75
1.57	1.35	1.61	1.26	2.28	2.2	2.2	2.09	1.96	296.65	282.55	6.2	18.2			293.82	359.88	360.72	319.91	287.58	295.56
1.57	1.34	1.61	1.25	2.26	2.17	2.19	2.07	1.93	296.65	282	6.2	18			293.82	359.71	360.55	319.36	286.80	294.98
1.57	1.34	1.6	1.24	2.23	2.14	2.15	2.05	1.91	296.65	282	5.8	18			293.82	359.88	360.72	318.80	286.41	294.59
1.56	1.33	1.6	1.23	2.2	2.12	2.12	2.02	1.89	296.3	281	5.6	17.8			293.62	359.71	360.55	318.62	286.01	294.40
1.55	1.33	1.6	1.21	2.17	2.1	2.1	2	1.86	296	281	5.4	17.5			293.62	359.54	360.38	318.43	285.62	294.20
1.55	1.32	1.59	1.2	2.15	2.08	2.08	1.98	1.83	296	281	5.4	17.5			293.43	359.37	359.88	318.43	285.62	294.20
1.54	1.31	1.58	1.18	2.13	2.06	2.06	1.97	1.81	296	281	5.2	17.3			293.43	359.37	359.71	318.06	285.23	294.01
1.53	1.31	1.58	1.17	2.11	2.03	2.03	1.95	1.79	296	281	5.2	17.2			293.04	359.20	359.71	317.88	284.83	293.82
1.53	1.3	1.57	1.17	2	2.02	2.01	1.94	1.77	296	281.5	5.1	17			292.85	359.88	359.37	317.88	284.83	293.82
1.52	1.3	1.56	1.15	1.98	2	2	1.94	1.75	295.95	282	5	17			292.85	358.86	359.20	317.69	284.44	293.62



Tablo A.1. (devam) ..

T36	T37	TORT	H1	H2	Td	Cf	Hf	$\Delta T$	H3	COP	SMAT	I(W/m2)	Tüst	Tort	Talt	Qkon	Tkol	Tdep	nkol	ndep
309.10	306.83	309.51	319.07	340.50	310.52	0.55	187.33	-0.83	187.79	4.19	07:00	47.78	305.08	301.26	298.57	8.77	16.30	10.56	0.95	0.65
313.79	311.35	314.75	318.14	350.81	317.14	0.58	202.78	0.19	202.67	4.28	07:30	172.22	305.60	302.45	298.86	9.14	13.45	7.92	0.66	0.59
315.28	312.67	316.20	318.51	351.86	319.12	0.58	204.38	1.06	203.76	4.31	08:00	350.00	306.22	303.79	299.20	9.31	14.56	9.03	0.67	0.62
315.84	313.41	316.91	318.95	352.45	319.12	0.59	205.28	0.32	205.10	4.34	08:30	476.11	307.07	304.55	299.53	9.44	14.35	9.02	0.65	0.63
316.58	313.97	317.58	319.03	353.09	319.61	0.59	206.26	-0.12	206.32	4.37	09:00	584.44	307.59	305.31	299.91	9.56	14.33	9.01	0.64	0.63
317.88	315.28	318.95	319.12	353.64	320.81	0.59	207.11	0.16	207.01	4.42	09:30	672.22	308.39	306.17	300.53	9.78	13.76	8.25	0.63	0.60
318.80	316.21	319.91	319.50	353.76	321.98	0.59	207.28	0.23	207.15	4.45	10:00	771.10	308.91	306.78	301.16	9.91	13.00	7.50	0.61	0.58
319.17	316.58	320.20	319.58	354.02	323.13	0.59	207.69	1.19	206.99	4.47	10:30	821.00	309.00	307.07	301.59	9.99	11.87	6.37	0.61	0.54
319.73	317.14	320.83	319.58	353.73	323.13	0.59	207.23	0.46	206.97	4.48	11:00	875.55	309.05	307.16	302.07	10.04	10.19	4.69	0.58	0.46
320.09	317.51	321.19	318.85	352.94	324.25	0.59	206.04	1.03	205.43	4.48	11:30	887.21	309.10	307.07	302.40	10.04	8.69	3.20	0.59	0.37
319.91	317.69	320.86	319.06	353.20	323.80	0.59	206.42	0.40	206.19	4.46	12:00	901.10	309.00	306.97	302.40	9.95	6.63	1.51	0.57	0.23
319.36	317.51	320.20	319.12	353.26	322.90	0.59	206.51	-0.14	206.59	4.38	12:30	878.32	308.86	306.83	302.31	9.61				
318.43	317.32	319.58	318.74	353.61	321.98	0.59	207.06	0.23	206.92	4.30	13:00	848.32	308.63	306.74	302.31	9.27				
317.32	314.91	318.35	318.57	353.79	320.81	0.59	207.34	0.34	207.13	4.24	13:30	777.21	308.44	306.64	302.17	8.98				
317.14	314.72	318.17	318.28	353.62	320.57	0.59	207.07	0.29	206.90	4.20	14:00	701.66	308.30	306.59	302.07	8.81				
317.14	314.72	318.17	318.06	353.87	320.09	0.59	207.46	0.18	207.35	4.17	14:30	592.77	308.20	306.40	301.93	8.69				
316.76	314.16	317.76	318.06	353.97	319.61	0.59	207.62	0.25	207.47	4.15	15:00	468.33	308.16	306.31	301.88	8.57				
316.39	313.79	317.24	318.78	354.12	319.61	0.59	207.84	0.81	207.37	4.12	15:30	312.22	308.01	306.22	301.79	8.45				
315.84	313.41	316.76	318.99	354.22	319.12	0.59	208.00	0.51	207.70	4.09	16:00	122.22	307.92	306.03	301.69	8.33				
315.46	312.85	316.32	319.35	354.45	318.39	0.59	208.35	-0.05	208.37	4.08	16:30	38.33	307.78	305.88	301.64	8.25				
315.09	312.29	315.91	319.21	354.30	318.39	0.59	208.12	-0.05	208.15	4.07			307.73	305.69	301.50	8.21				
314.91	311.92	315.57	319.57	354.55	317.89	0.59	208.50	-0.17	208.60	4.07			307.54	305.60	301.31	8.21				
314.53	311.54	315.13	319.28	354.53	317.64	0.59	208.47	-0.24	208.61	4.05			307.45	305.46	301.26	8.14				
314.35	311.17	314.49	319.32	355.36	317.14	0.59	209.75	-0.74	210.19	4.05			307.26	305.32	301.12	8.14				
314.35	310.79	314.23	319.50	354.48	317.14	0.59	208.40	-0.55	208.73	4.04			307.16	305.27	300.97	8.10				



Tablo A.2. Güneş Destekli ve Enerji Depolu Seri Sistem ( 11 Mart 1992 - Parçalı Bulutlu)

SAAAT	T1	T2	T3	T4	T7	T8	T9	T10	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21	T24	T25	T26	T27
09:30	0.38	1.58	1.44	1.39	0.08	0.6	0.84	0.67	0.68	1.25	0.86	1	0.85	0.68	1.02	0.84	0.66	0.66	1.02	0.88	0.7
10:00	0.57	3.86	3.9	1.74	0.2	0.64	0.96	0.75	0.75	1.38	1	1.09	0.88	0.72	1.11	0.87	0.72	0.72	1.1	0.93	0.73
10:30	0.62	4.14	4.15	1.83	0.25	0.74	1.07	0.85	0.86	1.56	1.1	1.16	0.9	0.76	1.17	0.9	0.77	0.76	1.15	1.08	0.77
11:00	0.75	4.22	4.24	1.96	0.34	0.8	1.14	0.92	0.93	1.67	1.17	1.25	0.94	0.8	1.24	0.95	0.79	0.78	1.22	1.16	0.79
11:30	0.78	4.21	4.24	1.97	0.39	0.82	1.18	0.95	0.95	1.64	1.21	1.27	0.96	0.81	1.27	0.98	0.79	0.81	1.26	1.19	0.79
12:00	0.8	4.21	4.24	2	0.42	0.85	1.21	0.98	0.98	1.61	1.24	1.3	1.04	0.83	1.31	1.04	0.81	0.83	1.3	1.21	0.8
12:30	0.8	4.24	4.27	2.04	0.43	0.85	1.22	1	0.99	1.49	1.25	1.29	1.08	0.85	1.29	1.07	0.83	0.85	1.3	1.23	0.83
13:00	0.74	4.24	4.27	2.03	0.41	0.84	1.2	0.97	0.97	1.23	1.23	1.28	1.11	0.89	1.28	1.1	0.85	0.86	1.28	1.24	0.84
13:30	0.7	4.25	4.28	1.97	0.34	0.81	1.15	0.92	0.92	1.1	1.18	1.27	1.13	0.89	1.27	1.14	0.86	0.88	1.27	1.23	0.85
14:00	0.67	4.27	4.29	1.93	0.28	0.78	1.09	0.88	0.88	0.95	1.12	1.26	1.08	0.9	1.26	1.09	0.88	0.89	1.27	1.22	0.85
14:30	0.66	4.3	4.31	1.95	0.3	0.77	1.07	0.87	0.87	0.91	1.1	1.28	1.05	0.93	1.28	1.07	0.9	0.91	1.27	1.22	0.85
15:00	0.64	4.33	4.35	1.98	0.32	0.76	1.04	0.86	0.87	0.87	1.08	1.3	1.03	0.96	1.29	1.05	0.93	0.93	1.26	1.21	0.83
15:30	0.64	4.31	4.33	1.96	0.29	0.7	0.97	0.8	0.81	0.81	1.02	1.3	0.98	0.95	1.26	0.98	0.89	0.9	1.26	1.21	0.83
16:00	0.63	4.29	4.32	1.94	0.26	0.65	0.93	0.75	0.75	0.75	0.96	1.28	0.98	0.95	1.24	0.97	0.87	0.88	1.24	1.21	0.83
16:30	0.61	4.29	4.32	1.89	0.22	0.63	0.9	0.72	0.72	0.72	0.93	1.28	0.97	0.94	1.24	0.97	0.87	0.85	1.23	1.19	0.81
17:00	0.59	4.29	4.32	1.83	0.19	0.6	0.87	0.69	0.69	0.69	0.89	1.27	0.97	0.94	1.23	0.96	0.84	0.82	1.23	1.19	0.81
17:30	0.57	4.27	4.3	1.83	0.17	0.58	0.84	0.66	0.66	0.66	0.86	1.27	0.95	0.94	1.23	0.96	0.84	0.81	1.22	1.17	0.79
18:00	0.56	4.25	4.27	1.82	0.15	0.54	0.8	0.63	0.63	0.63	0.82	1.27	0.95	0.92	1.22	0.96	0.84	0.8	1.21	1.17	0.79
18:30	0.52	4.24	4.25	1.77	0.09	0.49	0.77	0.61	0.61	0.61	0.79	1.25	0.95	0.92	1.21	0.95	0.82	0.8	1.21	1.17	0.77
19:00	0.5	4.24	4.26	1.8	0.12	0.48	0.75	0.58	0.59	0.59	0.77	1.25	0.94	0.92	1.2	0.94	0.81	0.8	1.2	1.16	0.77
19:30	0.48	4.23	4.25	1.78	0.08	0.47	0.72	0.56	0.56	0.56	0.74	1.25	0.94	0.9	1.2	0.94	0.81	0.78	1.2	1.16	0.77
20:00	0.46	4.22	4.24	1.76	0.06	0.45	0.69	0.53	0.53	0.53	0.71	1.24	0.92	0.9	1.19	0.94	0.79	0.77	1.19	1.16	0.76
20:30	0.45	4.21	4.23	1.73	0.06	0.42	0.66	0.5	0.51	0.51	0.68	1.24	0.92	0.9	1.19	0.92	0.79	0.76	1.19	1.14	0.74
21:00	0.42	4.22	4.24	1.72	0.04	0.4	0.64	0.48	0.49	0.49	0.66	1.22	0.92	0.9	1.18	0.92	0.78	0.76	1.18	1.14	0.74
21:30	0.41	4.23	4.25	1.71	0.02	0.38	0.61	0.46	0.46	0.46	0.63	1.22	0.9	0.88	1.18	0.92	0.77	0.74	1.18	1.13	0.73
22:00	0.39	4.24	4.25	1.68	0	0.35	0.58	0.43	0.44	0.44	0.6	1.22	0.9	0.88	1.16	0.89	0.77	0.74	1.16	1.13	0.73
22:30	0.38	4.22	4.23	1.67	-0.04	0.34	0.56	0.41	0.42	0.42	0.58	1.21	0.9	0.87	1.16	0.89	0.75	0.72	1.16	1.13	0.72

Tablo A.2. (devam).

T28	T29	T30	T32	T33	T34	T35	T36	T37	Tiç	Tdiş	P1	P2	Nilk	Nson	T1	T2	T3	T4	T7	T8
0.97	0.96	0.66	0.77	1.29	1.39	1.39	1.33	1.27	286	279	4.8	12.2	4456.7	4480.9	284.44	307.59	308.72	303.99	278.50	288.76
1	0.99	0.72	0.91	1.71	1.7	1.68	1.58	1.47	288	280	4.8	14			288.17	348.91	349.60	310.60	280.88	289.54
1.08	1.08	0.77	1	1.85	1.8	1.8	1.69	1.58	290.65	280.65	4.8	15			289.15	353.74	353.91	312.29	281.87	291.49
1.16	1.14	0.79	1.04	1.92	1.86	1.86	1.75	1.66	291	281	5.3	15.5			291.68	355.11	355.45	314.72	283.65	292.65
1.2	1.17	0.8	1.05	1.96	1.89	1.89	1.8	1.68	292	281.65	5.6	16			292.26	354.94	355.45	314.91	284.64	293.04
1.24	1.2	0.82	1.07	2	1.94	1.95	1.84	1.71	292.5	281.65	5.8	16.2			292.65	354.94	355.45	315.46	285.23	293.62
1.25	1.23	0.82	1.09	2.01	1.95	1.96	1.86	1.74	293	281.65	5.6	16			292.65	355.45	355.97	316.21	285.42	293.62
1.25	1.24	0.83	1.08	2.01	1.94	1.94	1.86	1.73	293	281.65	5.7	16.1			291.49	355.45	355.97	316.02	285.03	293.43
1.24	1.25	0.83	1.08	1.98	1.92	1.92	1.83	1.7	293.3	281.5	5.5	16			290.71	355.62	356.14	314.91	283.65	292.85
1.24	1.26	0.82	1.09	1.96	1.9	1.9	1.81	1.68	293.65	281	5.3	15.7			290.12	355.97	356.31	314.16	282.47	292.26
1.23	1.25	0.82	1.12	1.99	1.94	1.93	1.83	1.71	293.7	281	5.3	15.7			289.93	356.48	356.65	314.53	282.86	292.07
1.23	1.25	0.81	1.16	2.03	1.97	1.96	1.85	1.74	294	281	5.3	15.8			289.54	356.99	357.33	315.09	283.26	291.88
1.21	1.24	0.8	1.14	1.99	1.92	1.92	1.83	1.71	294	280.5	5	15.8			289.54	356.65	356.99	314.72	282.66	290.71
1.2	1.24	0.8	1.11	1.96	1.88	1.89	1.81	1.69	294	280	4.8	15.6			289.34	356.31	356.82	314.35	282.07	289.73
1.18	1.23	0.78	1.1	1.93	1.86	1.87	1.79	1.66	294	280	4.6	15.3			288.95	356.31	356.82	313.41	281.28	289.34
1.18	1.23	0.78	1.08	1.91	1.84	1.85	1.77	1.64	294	280	4.4	15			288.56	356.31	356.82	312.29	280.69	288.76
1.17	1.22	0.77	1.07	1.88	1.82	1.82	1.74	1.61	294	279.5	4.4	14.8			288.17	355.97	356.48	312.29	280.29	288.37
1.15	1.22	0.75	1.05	1.86	1.79	1.8	1.71	1.59	294	279	4.4	14.5			287.97	355.62	355.97	312.10	279.89	287.58
1.15	1.22	0.75	1.05	1.85	1.76	1.76	1.68	1.57	294	279	4.4	14.5			287.19	355.45	355.62	311.17	278.70	286.60
1.14	1.21	0.74	1.05	1.83	1.74	1.74	1.67	1.55	294	279	4.4	14.5			286.80	355.45	355.80	311.73	279.30	286.41
1.13	1.19	0.74	1.04	1.81	1.74	1.74	1.66	1.53	294	279	4.4	14.4			286.41	355.28	355.62	311.35	278.50	286.21
1.13	1.17	0.73	1.04	1.79	1.73	1.73	1.65	1.54	294	279	4.3	14.2			286.01	355.11	355.45	310.98	278.10	285.82
1.11	1.17	0.73	1.04	1.78	1.71	1.71	1.64	1.52	294	278.5	4	14			285.82	354.94	355.28	310.42	278.10	285.23
1.11	1.16	0.72	1.03	1.76	1.7	1.69	1.62	1.51	294	278	4	14			285.23	355.11	355.45	310.23	277.70	284.83
1.1	1.16	0.71	1.03	1.74	1.69	1.66	1.59	1.48	294	278	4	14			285.03	355.28	355.62	310.04	277.31	284.44
1.1	1.15	0.71	1.02	1.74	1.66	1.67	1.59	1.48	293.8	278	4	13.8			284.64	355.45	355.62	309.48	276.91	283.85
1.09	1.15	0.7	1.01	1.72	1.65	1.66	1.58	1.46	293.65	278	3.8	13.5			284.44	355.11	355.28	309.29	276.11	283.65



Tablo A.2. (devam).

T36	T37	TORT	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	T <sub>d</sub>	C <sub>f</sub>	H <sub>f</sub>	$\Delta T$	H <sub>3</sub>	COP	SMA <sub>T</sub>	I(W/m <sup>2</sup> )	T <sub>üst</sub>	T <sub>ort</sub>	T <sub>alt</sub>	Q <sub>kon</sub>	$\Delta T_{kol}$	$\Delta T_{dep}$	n <sub>kol</sub>	n <sub>dep</sub>
302.85	301.70	302.92	313.69	318.43	303.88	0.49	155.89	-0.11	155.95	3.81	06:30	42.78	296.57	294.25	290.22	7.02	11.00	7.50	0.65	0.68
307.59	305.51	308.49	316.43	349.83	309.13	0.58	201.29	-1.48	202.14	3.90	07:00	119.44	297.96	294.93	291.15	7.45	12.12	7.28	0.64	0.60
309.66	307.59	310.68	317.14	352.61	311.90	0.59	205.53	-0.39	205.76	3.99	07:30	268.89	299.21	296.33	292.02	7.87	13.40	8.77	0.63	0.65
310.79	309.10	311.91	318.10	353.15	313.25	0.59	206.34	-1.47	207.21	4.05	08:00	380.55	300.70	297.43	292.51	8.14	14.12	9.50	0.62	0.67
311.73	309.48	312.55	317.98	352.37	314.57	0.59	205.16	-0.34	205.36	4.08	08:30	497.22	301.32	297.96	292.60	8.29	13.17	8.17	0.61	0.62
312.48	310.04	313.37	317.91	352.12	315.09	0.58	204.77	-0.37	204.99	4.11	09:00	594.44	302.04	298.88	292.94	8.41	12.02	7.03	0.57	0.58
312.85	310.60	313.67	318.27	352.81	314.57	0.59	205.83	-1.64	206.79	4.12	10:00	681.10	301.94	299.45	293.28	8.45	9.56	4.57	0.45	0.48
312.85	310.42	313.52	317.22	352.69	314.83	0.59	205.64	-1.19	206.34	4.10	10:30	762.77	301.75	299.84	293.67	8.37	5.00	0.00	0.37	0.30
312.29	309.85	313.04	317.01	352.96	314.57	0.59	206.05	-0.34	206.25	4.06	11:00	513.33	301.56	300.12	293.77	8.18	3.47		0.42	0.25
311.92	309.48	312.66	316.94	353.62	313.78	0.59	207.07	-0.38	207.30	4.01	11:30	192.78	301.46	299.64	293.86	7.94				
312.29	310.04	313.22	316.80	354.06	313.78	0.59	207.74	-0.75	208.19	3.99	12:00	859.99	301.61	299.36	294.11	7.87				
312.67	310.60	313.78	316.51	354.37	314.04	0.59	208.22	-1.05	208.84	3.97	12:30	839.99	301.70	299.11	294.25	7.75				
312.29	310.04	313.11	317.06	354.08	314.04	0.59	207.77	-0.68	208.17	3.91	13:00	858.32	301.46	298.49	293.96	7.49				
311.92	309.66	312.59	317.29	354.04	313.51	0.59	207.71	-0.83	208.20	3.88	13:30	544.44	301.13	298.44	293.86	7.34				
311.54	309.10	312.14	317.37	354.41	312.71	0.59	208.28	-0.70	208.70	3.85	14:00	326.66	300.99	298.25	293.62	7.23				
311.17	308.72	311.76	317.45	354.78	311.90	0.59	208.85	-0.39	209.08	3.83	14:30	186.66	300.89	298.20	293.48	7.12				
310.60	308.16	311.24	317.17	354.74	311.35	0.59	208.79	-0.94	209.34	3.81	15:00	159.44	300.79	297.96	293.33	7.02				
310.04	307.78	310.79	317.03	354.82	310.52	0.59	208.91	-1.58	209.85	3.78	15:30	185.55	300.60	297.96	293.14	6.87				
309.48	307.40	310.30	316.45	354.67	310.52	0.59	208.69	-0.64	209.07	3.76	16:00	379.44	300.46	297.91	292.94	6.77				
309.29	307.02	309.96	316.17	354.67	310.52	0.59	208.69	-1.21	209.40	3.74	16:30	355.55	300.32	297.72	292.84	6.70				
309.10	306.64	309.77	315.88	354.65	310.25	0.59	208.66	-1.11	209.32	3.72	17:00	116.11	300.27	297.62	292.75	6.59				
308.91	306.83	309.62	315.78	354.76	309.69	0.59	208.82	-1.29	209.58	3.70			300.12	297.43	292.55	6.49				
308.72	306.46	309.32	316.21	354.86	309.13	0.59	208.98	-1.29	209.74	3.68			300.03	297.24	292.46	6.39				
308.35	306.27	309.02	315.78	355.00	309.13	0.59	209.20	-1.10	209.85	3.67			299.84	297.19	292.36	6.32				
307.78	305.70	308.57	315.64	355.14	309.13	0.59	209.42	-0.91	209.96	3.65			299.79	297.05	292.12	6.22				
307.78	305.70	308.49	315.35	355.53	308.56	0.59	210.01	-0.92	210.56	3.63			299.60	296.85	292.12	6.12				
307.59	305.32	308.23	315.59	355.61	307.70	0.59	210.14	-1.59	211.08	3.61			299.50	296.85	291.87	6.06				

Tablo A.3. Güneş Destekli ve Enerji Depolu Paralel Sistem (16 Mart 1992 - Parçalı Bulutlu)

SAAT	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T22	T23	T24	T28	T29	T30	T31
08:00	0.07	2.41	2.41	1.55	0	-0.01	0.93	0.85	0.88	1.1	0.96	1	0.96	0.83	1	0.95	0.83	0.96	0.83	0.8	0.25
08:30	0.12	3.84	3.84	1.69	0.01	0.01	0.97	0.88	0.92	1.13	0.98	1	0.99	0.84	1	0.97	0.83	0.99	0.86	0.83	0.27
09:00	0.16	4.04	4.04	1.73	0.02	0.02	0.99	0.89	0.93	1.14	1	1.02	1.01	0.85	1.01	1	0.85	0.99	0.88	0.85	0.28
09:30	0.14	4.08	4.08	1.73	0.02	-0.03	1	0.89	0.94	1.15	1.01	1.03	1.03	0.86	1.03	1.01	0.86	1.01	0.89	0.86	0.27
10:00	0.18	4.1	4.1	1.75	0.03	-0.02	1.02	0.9	0.95	1.17	1.03	1.06	1.05	0.89	1.05	1.03	0.88	1.02	0.91	0.88	0.29
10:30	0.14	4.08	4.08	1.78	0.03	-0.01	1.05	0.92	0.98	1.22	1.05	1.09	1.08	0.9	1.09	1.05	0.9	1.07	0.94	0.91	0.29
11:00	0.1	4.05	4.03	1.8	0.04	-0.01	1.07	0.94	1	1.27	1.08	1.13	1.11	0.92	1.13	1.08	0.93	1.09	0.98	0.95	0.29
11:30	0.18	4.16	4.16	1.81	0.05	0	1.09	0.95	1.02	1.27	1.11	1.13	1.12	0.95	1.13	1.1	0.95	1.11	0.99	0.96	0.3
12:00	0.22	4.2	4.2	1.83	0.06	0.01	1.11	0.97	1.03	1.33	1.13	1.16	1.14	0.97	1.17	1.12	0.97	1.12	1.02	0.99	0.33
12:30	0.18	4.19	4.19	1.84	0.06	0.01	1.14	0.98	1.06	1.42	1.16	1.17	1.17	1	1.2	1.15	1	1.16	1.04	1.01	0.31
13:00	0.25	4.24	4.25	1.88	0.09	0.05	1.18	1.03	1.1	1.49	1.2	1.24	1.23	1.02	1.25	1.19	1.03	1.2	1.08	1.05	0.36
13:30	0.24	4.27	4.26	1.89	0.1	0.05	1.21	1.05	1.12	1.45	1.23	1.27	1.25	1.05	1.27	1.23	1.06	1.23	1.1	1.07	0.38
14:00	0.29	4.28	4.28	1.92	0.12	0.1	1.23	1.07	1.15	1.45	1.25	1.29	1.26	1.07	1.29	1.25	1.08	1.25	1.12	1.09	0.4
14:30	0.23	4.25	4.25	1.88	0.1	0.04	1.23	1.05	1.14	1.38	1.25	1.26	1.26	1.09	1.27	1.24	1.08	1.25	1.12	1.09	0.36
15:00	0.18	4.17	4.17	1.86	0.07	0.01	1.23	1.04	1.13	1.26	1.25	1.25	1.24	1.1	1.27	1.24	1.09	1.25	1.12	1.09	0.34
15:30	0.21	4.24	4.26	1.88	0.08	0.02	1.22	1.05	1.13	1.15	1.23	1.26	1.21	1.11	1.26	1.23	1.09	1.24	1.12	1.09	0.34
16:00	0.19	4.22	4.23	1.88	0.07	0.02	1.2	1.04	1.11	1.11	1.21	1.24	1.18	1.11	1.26	1.2	1.09	1.22	1.11	1.08	0.34
16:30	0.19	4.22	4.22	1.88	0.06	0.01	1.18	1.03	1.09	1.07	1.19	1.25	1.16	1.1	1.25	1.18	1.08	1.2	1.11	1.08	0.33
17:00	0.18	4.22	4.22	1.87	0.06	0.01	1.18	1.03	1.09	1.06	1.18	1.24	1.14	1.1	1.25	1.18	1.08	1.2	1.1	1.07	0.33
17:30	0.18	4.21	4.21	1.87	0.05	0	1.17	1.01	1.08	1.05	1.17	1.23	1.14	1.09	1.24	1.17	1.06	1.18	1.1	1.07	0.32
18:00	0.17	4.21	4.2	1.87	0.04	-0.01	1.17	1.01	1.08	1.05	1.17	1.23	1.13	1.09	1.24	1.17	1.06	1.18	1.1	1.07	0.31
18:30	0.15	4.19	4.19	1.85	0.02	-0.02	1.15	1	1.07	1.04	1.16	1.22	1.12	1.09	1.24	1.17	1.06	1.18	1.1	1.07	0.3

Tablo A.3. (devam).

T32	T33	T34	T35	T36	T37	T38	T39	T40	Tiç	Tdis	P1	P2	Nilk	Nson	T1	T2	T3	T4	T5	T6
0.89	1.46	1.52	1.54	1.47	1.36	0.81	0.81	0.81	289	283.55	6.6	13.3	4506.8	4528	278.30	323.04	323.04	307.02	276.91	276.71
0.98	1.68	1.66	1.68	1.58	1.47	0.83	0.84	0.84	291	283	6.6	13.8			279.30	348.56	348.56	309.66	277.11	277.11
1.02	1.75	1.71	1.71	1.62	1.51	0.83	0.84	0.84	292	283	6.6	14			280.09	352.02	352.02	310.42	277.31	277.31
1.03	1.77	1.72	1.72	1.64	1.53	0.84	0.84	0.84	292.5	284	6.6	14			279.69	352.71	352.71	310.42	277.31	276.31
1.06	1.79	1.74	1.74	1.66	1.55	0.86	0.87	0.87	292.95	286	6.6	14			280.49	353.05	353.05	310.79	277.50	276.51
1.08	1.81	1.76	1.76	1.67	1.57	0.87	0.88	0.88	293	285	6.6	14			279.69	352.71	352.71	311.35	277.50	276.71
1.09	1.82	1.78	1.78	1.69	1.59	0.89	0.89	0.89	293	284	6.6	14.2			278.90	352.19	351.85	311.73	277.70	276.71
1.1	1.84	1.79	1.79	1.71	1.6	0.9	0.91	0.91	293.5	285	6.7	14.5			280.49	354.08	354.08	311.92	277.90	276.91
1.12	1.87	1.81	1.82	1.73	1.62	0.93	0.93	0.93	293.65	285.35	6.8	14.6			281.28	354.77	354.77	312.29	278.10	277.11
1.13	1.88	1.83	1.83	1.74	1.63	0.94	0.94	0.94	294	286	6.8	14.6			280.49	354.60	354.60	312.48	278.10	277.11
1.16	1.93	1.86	1.87	1.78	1.66	0.98	0.98	0.98	294	287	6.8	15			281.87	355.45	355.62	313.23	278.70	277.90
1.17	1.94	1.87	1.88	1.79	1.69	1.01	1.01	1.01	294	287	6.8	15			281.68	355.97	355.80	313.41	278.90	277.90
1.18	1.96	1.89	1.9	1.81	1.7	1.03	1.03	1.03	295	287.85	7	15.2			282.66	356.14	356.14	313.97	279.30	278.90
1.17	1.94	1.87	1.88	1.8	1.69	1	1.01	1.01	295	288	6.9	15			281.48	355.62	355.62	313.23	278.90	277.70
1.16	1.92	1.87	1.87	1.79	1.68	0.99	1	1	295	288.55	6.8	15			280.49	354.26	354.26	312.85	278.30	277.11
1.16	1.93	1.86	1.88	1.79	1.68	0.99	1	1	295	288	6.8	15			281.08	355.45	355.80	313.23	278.50	277.31
1.16	1.93	1.86	1.87	1.78	1.68	0.99	0.99	0.99	295	287.35	6.8	15			280.69	355.11	355.28	313.23	278.30	277.31
1.16	1.92	1.86	1.85	1.78	1.67	0.97	0.97	0.97	295	286	6.8	15			280.69	355.11	355.11	313.23	278.10	277.11
1.15	1.92	1.85	1.85	1.77	1.67	0.95	0.95	0.95	295	286.65	6.6	14.8			280.49	355.11	355.11	313.04	278.10	277.11
1.14	1.91	1.85	1.83	1.77	1.66	0.94	0.94	0.94	295	285	6.6	14.8			280.49	354.94	354.94	313.04	277.90	276.91
1.14	1.91	1.84	1.83	1.75	1.65	0.92	0.92	0.92	295	284.75	6.2	14.4			280.29	354.94	354.77	313.04	277.70	276.71
1.13	1.9	1.83	1.82	1.75	1.65	0.9	0.9	0.9	294.65	284	6.2	14.4			279.89	354.60	354.60	312.67	277.31	276.51

Tablo A.3. (devam).

T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T22	T23	T24	T28	T29	T30	T31	T32	T33	T34	T35	T36	T37	T38
295.17	293.62	294.20	298.45	295.75	296.52	295.75	293.23	296.52	295.56	293.23	295.75	293.23	292.65	281.87	294.40	305.32	306.46	306.83	305.51	303.42	292.85
295.94	294.20	294.98	299.02	296.14	296.52	296.33	293.43	296.52	295.94	293.23	296.33	293.82	293.23	282.27	296.14	309.48	309.10	309.48	307.59	305.51	293.23
296.33	294.40	295.17	299.21	296.52	296.91	296.71	293.62	296.71	296.52	293.62	296.33	294.20	293.62	282.47	296.91	310.79	310.04	310.04	308.35	306.27	293.23
296.52	294.40	295.36	299.41	296.71	297.10	297.10	293.82	297.10	296.71	293.82	296.71	294.40	293.82	282.27	297.10	311.17	310.23	310.23	308.72	306.64	293.43
296.91	294.59	295.56	299.79	297.10	297.68	297.48	294.40	297.48	297.10	294.20	296.91	294.78	294.20	282.66	297.68	311.54	310.60	310.60	309.10	307.02	293.82
297.48	294.98	296.14	300.75	297.48	298.25	298.06	294.59	298.25	297.48	294.59	297.87	295.36	294.78	282.66	298.06	311.92	310.98	310.98	309.29	307.40	294.01
297.87	295.36	296.52	301.70	298.06	299.02	298.64	294.98	299.02	298.06	295.17	298.25	296.14	295.36	282.66	298.25	312.10	311.35	311.35	309.66	307.78	294.40
298.25	295.56	296.91	301.70	298.64	299.02	298.83	295.56	299.02	298.45	295.56	298.64	296.33	295.75	282.86	298.45	312.48	311.54	311.54	310.04	307.97	294.59
298.64	295.94	297.10	302.85	299.02	299.60	299.21	295.94	299.79	298.83	295.94	298.83	296.91	296.33	283.45	298.83	313.04	311.92	312.10	310.42	308.35	295.17
299.21	296.14	297.68	304.56	299.60	299.79	299.79	296.52	300.36	299.41	296.52	299.60	297.29	296.71	283.06	299.02	313.23	312.29	312.29	310.60	308.53	295.36
299.98	297.10	298.45	305.89	300.36	301.13	300.94	296.91	301.32	300.17	297.10	300.36	298.06	297.48	284.05	299.60	314.16	312.85	313.04	311.35	309.10	296.14
300.56	297.48	298.83	305.13	300.94	301.70	301.32	297.48	301.70	300.94	297.68	300.94	298.45	297.87	284.44	299.79	314.35	313.04	313.23	311.54	309.66	296.71
300.94	297.87	299.41	305.13	301.32	302.08	301.51	297.87	302.08	301.32	298.06	301.32	298.83	298.25	284.83	299.98	314.72	313.41	313.60	311.92	309.85	297.10
300.94	297.48	299.21	303.80	301.32	301.51	301.51	298.25	301.70	301.13	298.06	301.32	298.83	298.25	284.05	299.79	314.35	313.04	313.23	311.73	309.66	296.52
300.94	297.29	299.02	301.51	301.32	301.32	301.13	298.45	301.70	301.13	298.25	301.32	298.83	298.25	283.65	299.60	313.97	313.04	313.04	311.54	309.48	296.33
300.75	297.48	299.02	299.41	300.94	301.51	300.56	298.64	301.51	300.94	298.25	301.13	298.83	298.25	283.65	299.60	314.16	312.85	313.23	311.54	309.48	296.33
300.36	297.29	298.64	298.64	300.56	301.13	299.98	298.64	301.51	300.36	298.25	300.75	298.64	298.06	283.45	299.60	314.16	312.85	313.04	311.35	309.48	296.33
299.98	297.10	298.25	297.87	300.17	301.32	299.60	298.45	301.32	299.98	298.06	300.36	298.64	298.06	283.45	299.60	313.97	312.85	312.67	311.35	309.29	295.94
299.98	297.10	298.25	297.68	299.98	301.13	299.21	298.45	301.32	299.98	298.06	300.36	298.45	297.87	283.45	299.41	313.97	312.67	312.67	311.17	309.29	295.56
299.79	296.71	298.06	297.48	299.79	300.94	299.21	298.25	301.13	299.79	297.68	299.98	298.45	297.87	283.26	299.21	313.79	312.67	312.29	311.17	309.10	295.36
299.79	296.71	298.06	297.48	299.79	300.94	299.02	298.25	301.13	299.79	297.68	299.98	298.45	297.87	283.06	299.21	313.79	312.48	312.29	310.79	308.91	294.98
299.41	296.52	297.87	297.29	299.60	300.75	298.83	298.25	301.13	299.79	297.68	299.98	298.45	297.87	282.86	299.02	313.60	312.29	312.10	310.79	308.91	294.59

Tablo A.3. (devam).

T39	T40	TORT	TORT1	H1	H2	Td	Cf	Hf	H3	COP	SMAI	I(W/m2)	Tüst	Tort	Talt	Qkon	Qeşan	Qtop	Tkol	Tdep <sup>n</sup> kol	n <sub>dep</sub>	
292,85	292,85	305,51	292,85	305,63	329,35	285,47	0,52	171,16	182,40	3,15	06:30	31,11	296,26	294,85	293,04	6,29	4,15	10,44	4,24	2,70	0,63	0,64
293,43	293,43	308,23	293,36	306,38	349,80	285,47	0,58	201,24	215,23	3,13	07:00	75,55	296,46	295,36	293,30	6,26	4,26	10,52	4,05	2,89	0,52	0,71
293,43	293,43	309,10	293,36	306,98	352,43	285,47	0,59	205,24	219,84	3,13	07:30	138,33	296,65	295,81	293,62	6,26	4,32	10,58	4,04	2,69	0,61	0,67
293,43	293,43	309,40	293,43	306,68	353,00	285,47	0,59	206,12	220,76	3,17	08:00	267,78	296,97	296,07	293,82	6,32	4,35	10,67	4,04	2,69	0,56	0,67
294,01	294,01	309,77	293,95	307,28	353,29	285,47	0,59	206,56	221,44	3,25	08:30	311,11	297,36	296,46	294,27	6,44	4,41	10,84	4,23	2,69	0,60	0,64
294,20	294,20	310,11	294,14	306,68	353,00	285,47	0,59	206,12	221,31	3,21	09:00	264,44	298,13	296,97	294,65	6,38	4,50	10,88	4,61	3,26	0,59	0,71
294,40	294,40	310,45	294,40	306,08	352,32	285,47	0,59	205,08	220,44	3,17	09:30	291,11	298,77	297,61	295,23	6,32	4,57	10,89	5,18	3,64	0,50	0,70
294,78	294,78	310,71	294,72	307,08	353,53	285,83	0,59	206,93	222,28	3,21	10:00	288,55	298,89	297,87	295,62	6,38	4,63	11,01	4,80	3,06	0,62	0,64
295,17	295,17	311,16	295,17	307,49	353,98	286,19	0,59	207,62	223,01	3,23	10:30	315,00	299,41	298,32	296,07	6,40	4,70	11,10	5,75	3,82	0,61	0,67
295,36	295,36	311,39	295,36	306,89	353,83	286,19	0,59	207,40	222,89	3,25	11:00	415,00	299,92	298,83	296,59	6,44	4,81	11,24	6,88	4,96	0,63	0,72
296,14	296,14	312,10	296,14	307,94	354,06	286,19	0,59	207,74	223,70	3,29	11:30	310,55	300,94	299,72	297,16	6,49	4,95	11,45	7,44	5,52	0,63	0,74
296,71	296,71	312,36	296,71	307,79	354,49	286,19	0,59	208,41	224,50	3,29	12:00	377,77	301,45	300,23	297,68	6,49	5,07	11,56	6,30	4,19	0,60	0,67
297,10	297,10	312,70	297,10	308,15	354,39	286,89	0,59	208,25	224,25	3,33	12:30	439,44	301,83	300,55	298,06	6,55	5,15	11,69	5,72	3,81	0,55	0,67
296,71	296,71	312,40	296,65	307,44	354,20	286,54	0,59	207,96	223,72	3,33	13:00	475,55	301,51	300,49	298,19	6,56	5,15	11,70	4,58	2,48	0,62	0,54
296,52	296,52	312,21	296,46	306,89	353,05	286,19	0,59	206,19	221,85	3,35	13:30	421,11	301,45	300,36	298,32	6,59	5,15	11,74				
296,52	296,52	312,25	296,46	307,34	354,06	286,19	0,59	207,74	223,70	3,33	14:00	413,88	301,38	300,11	298,38	6,56	5,11	11,66				
296,33	296,33	312,18	296,33	307,04	353,77	286,19	0,59	207,30	223,23	3,31	14:30	297,77	301,13	299,66	298,32	6,52	5,03	11,55				
295,94	295,94	312,03	295,94	307,04	353,77	286,19	0,59	207,30	223,23	3,25	15:00	287,77	301,00	299,41	298,19	6,44	4,95	11,39				
295,56	295,56	311,95	295,56	307,28	354,02	285,47	0,59	207,68	223,94	3,28	15:30	135,55	300,94	299,21	298,13	6,47	4,95	11,43				
295,36	295,36	311,80	295,36	307,28	353,87	285,47	0,59	207,46	223,71	3,21	16:00	78,89	300,68	299,15	297,93	6,38	4,92	11,29				
294,98	294,98	311,65	294,98	307,91	354,37	284,04	0,59	208,22	225,35	3,20	16:30	51,67	300,68	299,09	297,93	6,36	4,92	11,28				
294,59	294,59	311,54	294,59	307,61	354,08	284,04	0,59	207,78	224,67	3,17	17:00	26,67	300,49	299,02	297,93	6,32	4,84	11,16				



Tablo A.4. Güneş Destekli ve Enerji Depolu Paralel Sistem (25 Mart 1992 - Güneşli)

Saat	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T22	T23	T24	T28	T29	T30	T31
08:30	0.12	3.31	3.32	1.69	0.09	0.11	1.23	1.08	1.14	1.5	1.25	1.32	1.26	1.03	1.33	1.24	1.03	1.25	1.04	1.31	0.36
09:00	0.15	3.93	3.93	1.83	0.16	0.15	1.27	1.12	1.19	1.71	1.28	1.38	1.34	1.06	1.37	1.3	1.06	1.28	1.07	1.33	0.44
09:30	0.19	3.99	4	1.84	0.15	0.16	1.33	1.15	1.24	1.82	1.36	1.43	1.4	1.08	1.43	1.35	1.08	1.37	1.09	1.42	0.42
10:00	0.23	4.02	4.03	1.88	0.18	0.2	1.39	1.2	1.3	1.94	1.42	1.5	1.44	1.1	1.5	1.41	1.1	1.42	1.11	1.48	0.45
10:30	0.27	4.05	4.06	1.9	0.19	0.21	1.46	1.24	1.35	2.03	1.49	1.56	1.51	1.13	1.57	1.48	1.13	1.49	1.14	1.55	0.44
11:00	0.26	4.07	4.08	1.91	0.2	0.22	1.52	1.27	1.39	2.11	1.55	1.64	1.57	1.15	1.61	1.54	1.15	1.55	1.16	1.62	0.45
11:30	0.27	4.09	4.08	1.9	0.19	0.22	1.57	1.29	1.42	2.13	1.61	1.67	1.63	1.18	1.64	1.59	1.17	1.61	1.18	1.68	0.44
12:00	0.26	4.1	4.11	1.93	0.21	0.2	1.62	1.33	1.47	2.21	1.66	1.67	1.68	1.2	1.67	1.59	1.19	1.66	1.19	1.73	0.48
12:30	0.22	4.1	4.1	1.89	0.14	0.13	1.66	1.33	1.47	2.18	1.69	1.68	1.71	1.22	1.71	1.58	1.2	1.66	1.19	1.73	0.4
13:00	0.25	4.14	4.14	1.96	0.22	0.18	1.71	1.4	1.54	2.2	1.75	1.68	1.71	1.25	1.7	1.58	1.23	1.66	1.23	1.73	0.48
13:30	0.26	4.18	4.18	2	0.25	0.2	1.74	1.43	1.57	2.16	1.78	1.68	1.71	1.25	1.7	1.58	1.23	1.64	1.23	1.73	0.5
14:00	0.27	4.22	4.22	2.04	0.28	0.23	1.78	1.45	1.61	2.12	1.82	1.69	1.7	1.25	1.69	1.57	1.24	1.64	1.23	1.72	0.52
14:30	0.26	4.23	4.23	2.02	0.24	0.24	1.78	1.44	1.6	1.94	1.82	1.69	1.7	1.25	1.69	1.57	1.24	1.64	1.23	1.72	0.5
15:00	0.25	4.25	4.25	2	0.21	0.25	1.78	1.42	1.58	1.89	1.81	1.69	1.7	1.23	1.69	1.57	1.24	1.63	1.22	1.72	0.48
15:30	0.27	4.26	4.26	1.98	0.18	0.22	1.7	1.38	1.51	1.62	1.72	1.69	1.7	1.23	1.67	1.57	1.22	1.63	1.22	1.7	0.46
16:00	0.3	4.27	4.27	1.97	0.16	0.18	1.61	1.33	1.45	1.46	1.65	1.7	1.68	1.23	1.67	1.56	1.22	1.62	1.2	1.7	0.45
16:30	0.29	4.26	4.26	1.97	0.16	0.16	1.57	1.31	1.42	1.43	1.6	1.7	1.68	1.22	1.66	1.56	1.22	1.62	1.2	1.7	0.44
17:00	0.27	4.25	4.25	1.98	0.17	0.14	1.53	1.3	1.39	1.41	1.56	1.7	1.67	1.22	1.66	1.55	1.21	1.62	1.2	1.69	0.43
17:30	0.26	4.24	4.24	1.97	0.16	0.12	1.5	1.28	1.36	1.37	1.5	1.7	1.67	1.22	1.64	1.55	1.21	1.61	1.19	1.69	0.42
18:00	0.25	4.22	4.22	1.96	0.15	0.1	1.47	1.27	1.33	1.35	1.46	1.69	1.66	1.21	1.64	1.54	1.21	1.61	1.19	1.69	0.4
18:30	0.24	4.21	4.21	1.94	0.15	0.1	1.45	1.25	1.3	1.32	1.42	1.69	1.66	1.21	1.64	1.54	1.2	1.61	1.19	1.68	0.39
19:00	0.22	4.2	4.2	1.92	0.14	0.08	1.43	1.24	1.28	1.3	1.39	1.69	1.66	1.21	1.63	1.54	1.22	1.61	1.18	1.68	0.37

Tablo A.4. (devam).

T32	T33	T34	T35	T36	T37	T38	T39	T40	Tiç	Tdiş	P1	P2	Nilk	Nson	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T11
0.94	1.6	1.61	1.63	1.55	1.44	1.01	1.02	1.02	289	285.15	6.8	13.5	4544.3	4567.9	279.30	339.26	339.44	309.66	278.70	279.10	300.94
1.02	1.79	1.76	1.77	1.68	1.57	1.09	1.1	1.1	290	286.15	7.1	14.5			279.89	350.12	350.12	312.29	280.09	279.89	301.70
1.04	1.82	1.78	1.79	1.69	1.59	1.12	1.12	1.13	292	287.05	7.2	14.7			280.69	351.16	351.33	312.48	279.89	280.09	302.85
1.07	1.85	1.81	1.82	1.71	1.62	1.16	1.17	1.17	292.5	286.15	7.2	14.8			281.48	351.68	351.85	313.23	280.49	280.88	303.99
1.09	1.87	1.83	1.84	1.74	1.64	1.2	1.21	1.21	293	285.15	7.2	15			282.27	352.19	352.37	313.60	280.69	281.08	305.32
1.09	1.88	1.83	1.85	1.75	1.64	1.21	1.22	1.22	293.5	285.15	7.2	15			282.07	352.54	352.71	313.79	280.88	281.28	306.46
1.09	1.89	1.84	1.84	1.75	1.65	1.25	1.26	1.26	293.8	285.15	7.2	15			282.27	352.88	352.71	313.60	280.69	281.28	307.40
1.12	1.92	1.87	1.88	1.79	1.68	1.28	1.3	1.29	294	285.65	7.2	15			282.07	353.05	353.23	314.16	281.08	280.88	308.35
1.11	1.89	1.84	1.85	1.77	1.66	1.25	1.26	1.26	294	286.05	7.2	15			281.28	353.05	353.05	313.41	279.69	279.49	309.10
1.16	1.97	1.91	1.93	1.82	1.72	1.33	1.35	1.34	294	285.95	7.3	15.4			281.87	353.74	353.74	314.72	281.28	280.49	310.04
1.19	2	1.95	1.96	1.86	1.76	1.36	1.37	1.37	294.5	285.95	7.3	15.8			282.07	354.43	354.43	315.46	281.87	280.88	310.60
1.21	2.04	1.98	1.99	1.9	1.79	1.39	1.4	1.4	295	286.15	7.4	16			282.27	355.11	355.11	316.21	282.47	281.48	311.35
1.21	2.04	1.97	1.99	1.9	1.78	1.38	1.38	1.38	295.5	286.15	7.4	16			282.07	355.28	355.28	315.84	281.68	281.68	311.35
1.21	2.03	1.96	1.98	1.89	1.78	1.37	1.37	1.36	295.8	286.35	7.4	16			281.87	355.62	355.62	315.46	281.08	281.87	311.35
1.21	2.02	1.95	1.97	1.88	1.77	1.32	1.32	1.32	296	286.45	7.4	15.8			282.27	355.80	355.80	315.09	280.49	281.28	309.85
1.22	2.01	1.94	1.95	1.87	1.77	1.27	1.28	1.28	296	286.45	7.2	15.6			282.86	355.97	355.97	314.91	280.09	280.49	308.16
1.21	2	1.93	1.94	1.86	1.76	1.25	1.26	1.25	296	286.75	7.2	15.6			282.66	355.80	355.80	314.91	280.09	280.09	307.40
1.2	2	1.93	1.94	1.85	1.74	1.21	1.24	1.22	296	286.65	7.2	15.6			282.27	355.62	355.62	315.09	280.29	279.69	306.64
1.2	2	1.92	1.93	1.84	1.72	1.18	1.19	1.18	296	286.45	7	15.4			282.07	355.45	355.45	314.91	280.09	279.30	306.08
1.19	1.98	1.9	1.91	1.82	1.7	1.15	1.16	1.15	296	286.15	7	15.2			281.87	355.11	355.11	314.72	279.89	278.90	305.51
1.18	1.97	1.9	1.91	1.81	1.69	1.13	1.14	1.13	296.2	285.25	6.8	15.2			281.68	354.94	354.94	314.35	279.89	278.90	305.13
1.18	1.97	1.89	1.9	1.8	1.67	1.1	1.11	1.1	295.5	285.15	6.5	15			281.28	354.77	354.77	313.97	279.69	278.50	304.75

Tablo A.4. (devam).

T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18	T22	T23	T24	T28	T29	T30	T31	T32	T33	T34	T35	T36	T37	T38	T39
298.06	299.21	306.08	301.32	302.66	301.51	297.10	302.85	301.13	297.10	301.32	297.29	302.47	284.05	295.36	307.97	308.16	308.53	307.02	304.94	296.71	296.91
298.83	300.17	310.04	301.89	303.80	303.04	297.68	303.61	302.27	297.68	301.89	297.87	302.85	285.62	296.91	311.54	310.98	311.17	309.48	307.40	298.25	298.45
299.41	301.13	312.10	303.42	304.75	304.18	298.06	304.75	303.23	298.06	303.61	298.25	304.56	285.23	297.29	312.10	311.35	311.54	309.66	307.78	298.83	298.83
300.36	302.27	314.35	304.56	306.08	304.94	298.45	306.08	304.37	298.45	304.56	298.64	305.70	285.82	297.87	312.67	311.92	312.10	310.04	308.35	299.60	299.79
301.13	303.23	316.02	305.89	307.21	306.27	299.02	307.40	305.70	299.02	305.89	299.21	307.02	285.62	298.25	313.04	312.29	312.48	310.60	308.72	300.36	300.56
301.70	303.99	317.51	307.02	308.72	307.40	299.41	308.16	306.83	299.41	307.02	299.60	308.35	285.82	298.25	313.23	312.29	312.67	310.79	308.72	300.56	300.75
302.08	304.56	317.88	308.16	309.29	308.53	299.98	308.72	307.78	299.79	308.16	299.98	309.48	285.62	298.25	313.41	312.48	312.48	310.79	308.91	301.32	301.51
302.85	305.51	319.36	309.10	309.29	309.48	300.36	309.29	307.78	300.17	309.10	300.17	310.42	286.41	298.83	313.97	313.04	313.23	311.54	309.48	301.89	302.27
302.85	305.51	318.80	309.66	309.48	310.04	300.75	310.04	307.59	300.36	309.10	300.17	310.42	284.83	298.64	313.41	312.48	312.67	311.17	309.10	301.32	301.51
304.18	306.83	319.17	310.79	309.48	310.04	301.32	309.85	307.59	300.94	309.10	300.94	310.42	286.41	299.60	314.91	313.79	314.16	312.10	310.23	302.85	303.23
304.75	307.40	318.43	311.35	309.48	310.04	301.32	309.85	307.59	300.94	308.72	300.94	310.42	286.80	300.17	315.46	314.53	314.72	312.85	310.98	303.42	303.61
305.13	308.16	317.69	312.10	309.66	309.85	301.32	309.66	307.40	301.13	308.72	300.94	310.23	287.19	300.56	316.21	315.09	315.28	313.60	311.54	303.99	304.18
304.94	307.97	314.35	312.10	309.66	309.85	301.32	309.66	307.40	301.13	308.72	300.94	310.23	286.80	300.56	316.21	314.91	315.28	313.60	311.35	303.80	303.80
304.56	307.59	313.41	311.92	309.66	309.85	300.94	309.66	307.40	301.13	308.53	300.75	310.23	286.41	300.56	316.02	314.72	315.09	313.41	311.35	303.61	303.61
303.80	306.27	308.35	310.23	309.66	309.85	300.94	309.29	307.40	300.75	308.53	300.75	309.85	286.01	300.56	315.84	314.53	314.91	313.23	311.17	302.66	302.66
302.85	305.13	305.32	308.91	309.85	309.48	300.94	309.29	307.21	300.75	308.35	300.36	309.85	285.82	300.75	315.65	314.35	314.53	313.04	311.17	301.70	301.89
302.47	304.56	304.75	307.97	309.85	309.48	300.75	309.10	307.21	300.75	308.35	300.36	309.85	285.62	300.56	315.46	314.16	314.35	312.85	310.98	301.32	301.51
302.27	303.99	304.37	307.21	309.85	309.29	300.75	309.10	307.02	300.56	308.35	300.36	309.66	285.42	300.36	315.46	314.16	314.35	312.67	310.60	300.56	301.13
301.89	303.42	303.61	306.08	309.85	309.29	300.75	308.72	307.02	300.56	308.16	300.17	309.66	285.23	300.36	315.46	313.97	314.16	312.48	310.23	299.98	300.17
301.70	302.85	303.23	305.32	309.66	309.10	300.56	308.72	306.83	300.56	308.16	300.17	309.66	284.83	300.17	315.09	313.60	313.79	312.10	309.85	299.41	299.60
301.32	302.27	302.66	304.56	309.66	309.10	300.56	308.72	306.83	300.36	308.16	300.17	309.48	284.64	299.98	314.91	313.60	313.79	311.92	309.66	299.02	299.21
301.13	301.89	302.27	303.99	309.66	309.10	300.56	308.53	306.83	300.75	308.16	299.98	309.48	284.24	299.98	314.91	313.41	313.60	311.73	309.29	298.45	298.64

Tablo A.4. (devam).

T40	TORT	TORT1	H1	H2	Td	Cf	Hf	$\Delta T$	E3	COP	SAR	I(W/m <sup>2</sup> )	Tüst	Tort	Talt	Qkon	Qeşan	Qtot	Tkol	Tdep <sup>kol</sup>	n <sub>dep</sub>	
296.91	307.32	296.84	305.99	342.48	307.70	0.56	190.26	-1.96	191.35	3.22	06:30	58.89	302.27	299.98	298.89	6.39	5.15	11.53	6.86	4.76	0.57	0.69
298.45	310.11	298.38	305.85	350.20	310.52	0.58	201.85	-1.77	202.88	3.26	07:00	187.22	303.10	301.06	299.40	6.44	5.31	11.75	9.87	8.15	0.64	0.83
299.02	310.49	298.89	306.26	350.82	311.08	0.58	202.79	-1.40	203.60	3.30	07:30	298.89	304.37	301.89	300.23	6.50	5.56	12.06	10.97	8.69	0.66	0.79
299.79	311.01	299.73	306.86	351.13	311.35	0.58	203.26	-1.88	204.35	3.26	08:00	399.44	305.57	302.65	300.86	6.44	5.84	12.28	12.07	9.79	0.66	0.81
300.56	311.43	300.49	307.46	351.31	311.90	0.58	203.53	-1.70	204.52	3.22	08:30	479.44	306.83	303.73	301.69	6.39	6.17	12.56	12.79	10.13	0.71	0.79
300.75	311.54	300.68	307.31	351.60	311.90	0.58	203.98	-1.89	205.08	3.22	09:00	620.55	307.97	304.61	302.39	6.39	6.47	12.86	13.52	10.48	0.70	0.78
301.51	311.61	301.45	307.46	351.89	311.90	0.58	204.42	-1.70	205.41	3.22	09:30	664.99	308.72	305.43	303.08	6.39	6.74	13.12	13.32	9.72	0.67	0.73
302.08	312.25	302.08	307.31	352.03	311.90	0.58	204.64	-2.26	205.96	3.24	10:00	729.99	309.22	305.81	303.65	6.42	7.01	13.42	13.85	10.26	0.66	0.74
301.51	311.76	301.45	306.71	352.03	311.90	0.58	204.64	-1.52	205.53	3.26	10:30	725.55	309.54	305.93	303.84	6.44	7.24	13.67	13.29	9.14	0.66	0.69
303.04	313.04	303.04	306.97	352.11	312.98	0.58	204.76	-1.74	205.77	3.25	11:00	775.55	309.48	306.19	304.22	6.43	7.53	13.96	12.34	8.38	0.62	0.68
303.61	313.71	303.55	307.12	352.19	314.04	0.58	204.88	-1.42	205.71	3.25	11:30	789.44	309.35	306.19	304.22	6.43	7.71	14.14	11.03	7.08	0.56	0.64
304.18	314.34	304.12	307.08	352.52	314.57	0.59	205.38	-1.64	206.34	3.26	12:00	836.10	309.35	306.06	304.23	6.44	7.95	14.40	9.54	5.59	0.52	0.59
303.80	314.27	303.80	306.93	352.66	314.57	0.59	205.61	-1.27	206.35	3.26	12:30	808.33	309.35	306.06	304.23	6.44	7.95	14.40	6.38	2.24	0.40	0.35
303.42	314.12	303.55	306.78	352.96	314.57	0.59	206.05	-0.89	206.58	3.27	13:00	794.99	309.29	306.00	304.10	6.46	7.95	14.41	5.82	1.50	0.44	0.26
302.66	313.93	302.66	307.08	353.35	314.04	0.59	206.66	-1.05	207.28	3.27	13:30	782.21	309.16	306.00	303.85	6.46	7.47	13.93				
301.89	313.75	301.83	307.92	353.75	313.51	0.59	207.26	-1.39	208.09	3.27	14:00	732.77	309.16	305.68	303.85	6.46	6.95	13.42				
301.32	313.56	301.38	307.77	353.60	313.51	0.59	207.04	-1.39	207.86	3.28	14:30	629.99	309.10	305.68	303.78	6.48	6.74	13.22				
300.75	313.45	300.81	307.46	353.46	313.51	0.59	206.82	-1.58	207.75	3.28	15:00	525.55	309.10	305.56	303.66	6.47	6.52	13.00				
299.98	313.26	300.04	307.70	353.56	312.98	0.59	206.98	-1.93	208.11	3.27	15:30	408.33	308.91	305.49	303.66	6.46	6.37	12.83				
299.41	312.89	299.47	307.55	353.52	312.44	0.59	206.92	-2.28	208.26	3.26	16:00	296.66	308.85	305.37	303.59	6.44	6.22	12.66				
299.02	312.77	299.09	307.79	353.38	312.44	0.59	206.70	-1.91	207.82	3.22	16:30	145.55	308.85	305.37	303.46	6.39	6.12	12.51				
298.45	312.59	298.51	308.07	353.48	311.90	0.59	206.86	-2.08	208.08	3.22	17:00	77.78	308.78	305.30	303.59	6.39	6.02	12.41				

Tablo A.5. Yakıtların Teknik ve Ekonomik Olarak Karşılaştırılması

YAKIT	ORTALAMA ISI DEĞERİ	ORTALAMA VERİM	BİRİM FİYATI \$	\$/1000 kcal
Doğal Gaz	8250 kcal/m <sup>3</sup>	% 90	0.235/m <sup>3</sup>	0.031
Kok Kömürü	6700 kcal/kg	% 68	184.0/Ton	0.040
Odun	2500 kcal/kg	% 60	86.11/Ton	0.057
Elektrik	860 kcal/kWh	% 99	0.099/kWh	0.117
Fuel Oil	9700 kcal/kg	% 80	0.248/kg	0.032
Linyit	3000 kcal/kg	% 60	65.55/Ton	0.036

Tablo A.6. 1990-91 Isıtma Sezonunda Sistemlerin Performans Değerleri

AYLAR	GÜN SAYISI	SERİ SİST. ÇALIŞ. GÜN.	PARA. SİS. ÇALIŞ. GÜN.	İŞİNİM (MJ/m <sup>2</sup> .gün)	ORT. ÇEVRE ISITMA YÜK. L(kWh)	COP.Seri	COP.Para	F <sub>Seri</sub>	F <sub>Para</sub>	F <sub>Fümeş</sub>	F <sub>Seri</sub> <sup>#L</sup>	F <sub>Para</sub> <sup>#L</sup>	F <sub>Fümeş</sub> <sup>#L</sup>
KASIM-90	30	20	30	6.23	1444	4.80	3.20	0.66	0.98	0.26	866.4	1415.1	375.4
ARALIK-90	31	15	31	4.73	2777	4.63	3.08	0.48	0.95	0.07	1333.0	2638.1	194.4
OCAK-91	31	15	30	5.11	3616	4.50	2.90	0.48	0.70	0.06	1735.6	2531.2	217.0
ŞUBAT-91	28	19	20	8.05	3638	4.45	2.84	0.67	0.45	0.17	2437.4	1637.0	618.4
MART-91	31	15	30	6.88	3472	4.60	2.92	0.48	0.72	0.14	1666.5	2499.8	486.0
NİSAN-91	30	22	30	11.83	2336	4.70	3.05	0.73	0.96	0.48	1705.2	2242.5	1121.2
MAYIS-91	31	25	31	16.63	1200	4.90	3.25	0.80	0.98	0.92	960.0	1176.0	1104.0

Tablo A.7. 1991-92 Isıtma Sezonunda Sistemlerin Performans Değerleri

AYLAR	GÜN SAYISI	SERİ SİST. PARA.SİS.		IŞINIM (MJ/m <sup>2</sup> .gün)	ORT.ÇEVRE SICAK.°C	ISITMA YÜK. L(kWh)	COP <sup>Seri</sup>	COP <sup>Para</sup>	F <sup>Seri</sup>	F <sup>Para</sup>	F <sup>Güneş</sup>	F <sup>Seri</sup> %L	F <sup>Para</sup> %L	F <sup>Güneş</sup> %L
		ÇALIŞ.GÜN.	ÇALIŞ.GÜN.											
KASIM-91	30	20	30	5.78	12.6	1972	4.60	3.20	0.66	0.98	0.18	1301.5	1932.5	355.0
ARALIK-91	31	11	31	4.38	8.3	3172	4.53	3.02	0.40	0.84	0.04	1268.8	2664.4	126.8
OCAK-92	31	15	27	5.43	4.1	4336	4.50	2.80	0.50	0.51	0.06	2168.0	2211.3	260.1
ŞUBAT-92	29	18	20	7.17	3.7	4383	4.45	2.79	0.64	0.37	0.13	2805.0	1621.7	569.8
MART-92	31	25	31	11.74	8.9	3027	4.53	3.04	0.82	0.86	0.42	2482.0	2603.0	1272.0
NISAN-92	30	23	30	14.82	11.6	2216	4.51	3.16	0.78	0.98	0.65	1728.4	2171.6	1440.4
MAYIS-92	31	25	31	14.46	13.6	1666	4.70	3.21	0.82	0.99	0.77	1366.0	1649.3	1282.8

Tablo A.8. 1990-91 Isıtma Sezonu için Meteorolojik Veriler

AYLAR	ORTALAMA SICAK.°C	EN YÜKSEK SICAK.°C	EN DÜŞÜK SICAK.°C	ORT.NİSBİ NEM (%)	ORT.RÜZGAR HIZI(m/sn)	ORT.GÜN.ŞİD. (MJ/m .Gün)
KASIM-90	14.3	30.3	5.0	63.7	2.5	6.23
ARALIK-90	10.2	25.0	1.7	69.9	2.9	4.73
OCAK-91	6.5	16.6	-0.2	72.2	2.8	5.11
ŞUBAT-91	5.1	18.3	-3.4	68.8	2.7	8.05
MART-91	7.0	23.5	-0.3	80.6	2.3	6.88
NİSAN-91	11.6	27.4	7.2	82.5	2.0	11.83
MAYIS-91	15.7	29.1	8.8	75.0	2.3	16.63

Tablo A.9. 1991-92 Isıtma Sezonu için Meteorolojik Veriler

AYLAR	ORTALAMA SICAK.°C	EN YÜKSEK SICAK.°C	EN DÜŞÜK SICAK.°C	ORT.NİSBİ NEM (%)	ORT.RÜZGAR HIZI(m/sn)	ORT.GÜN.ŞİD. (MJ/m .Gün)
KASIM-91	12.6	6.8	19.0	76.40	2.4	5.78
ARALIK-91	8.3	2.1	20.1	68.60	2.4	4.38
OCAK-92	4.1	-1.3	11.4	66.70	2.3	5.43
ŞUBAT-92	3.7	-2.0	18.4	67.14	2.1	7.17
MART-92	8.9	1.0	26.2	65.20	2.1	11.74
NİSAN-92	11.6	6.0	25.0	71.90	2.3	14.32
MAYIS-92	13.9	7.6	22.1	81.41	1.9	14.46



Tablo A.10. Sistemlerin Ekonomik Olarak Karşılaştırılması

SİSTEMLER	İLK YATIRIM MALİYET. (\$) (Yıl)	EKONOMİK ÖMÜR(Yıl)	ISI YÜKÜ (kcal/Yıl)	COP	F	F*L	NET TASAR. (kcal/Yıl)	Geri Ödeme Periyodu (Yıl) / EĞST (\$)						
								D.GAZ	KÖMÜR	ODUN	ELEK. FUELOİL	LİNYİT		
SERİ SİSTEM	6000	15	17200000	4.60	0.60	10320000	8076522	24.0	18.5	13.0	6.35	23.21	20.6	4683
PARALEL SIS.	6500	15	17200000	3.00	0.75	12900000	8600000	24.4	18.9	13.2	6.46	23.6	20.9	6103
GÜN.ENER.SIS.	4000	15	17200000	-	0.23	3956000	3956000	32.6	25.2	17.7	8.6	31.6	28.0	1446
KLASİK SIS.	2500	15	17200000	Toplam Yakıt Masrafı (\$/15 yıl)			4338	5598	7977	16375	4478	5038		

Tablo All. Deneysel Sonuçlarla Teorik Sonuçların Karşılaştırılması (Depolu Seri Sistem - 7 Mart 1992 - Güneşli)

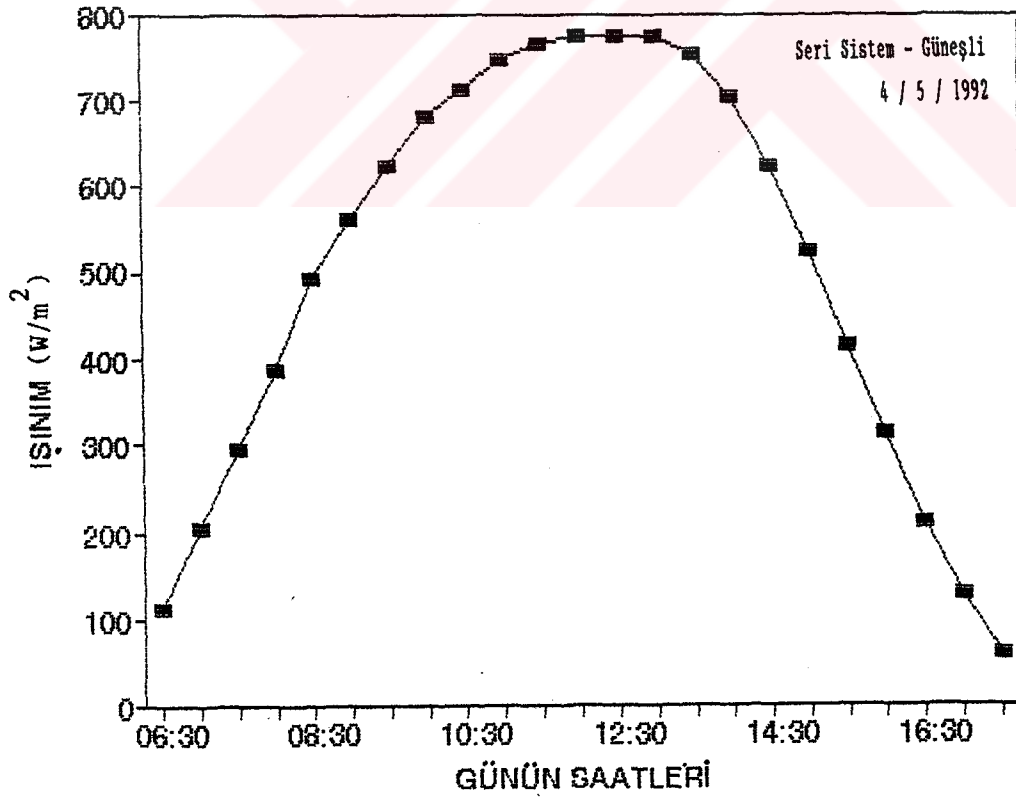
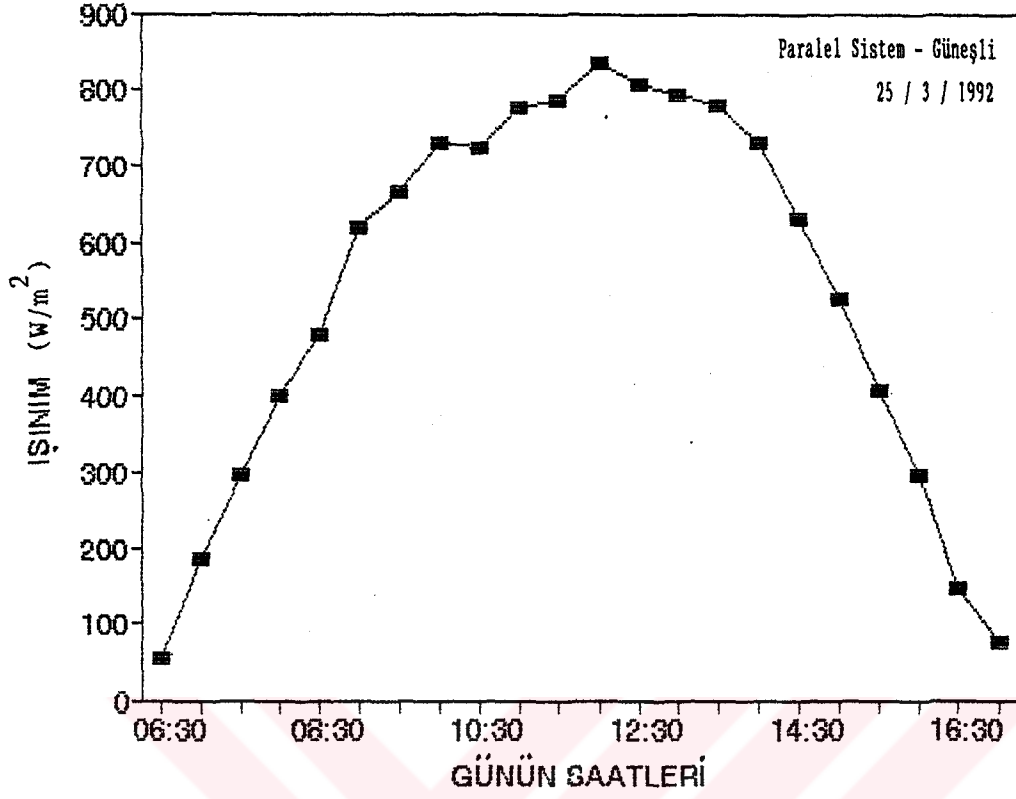
COP(Deneysel)	COP(Teorik)	Q <sub>kon</sub> (Deneysel)	Q <sub>kon</sub> (Teorik)
4.19	4.01	8.77	8.24
4.28	4.08	9.14	8.58
4.31	4.10	9.31	8.74
4.34	4.13	9.44	8.87
4.37	4.16	9.56	8.97
4.42	4.19	9.78	9.19
4.45	4.22	9.91	9.30
4.47	4.27	9.99	9.38
4.48	4.29	10.04	9.43
4.48	4.28	10.04	9.42
4.46	4.25	9.95	9.35
4.38	4.20	9.61	9.02
4.30	4.13	9.27	8.72
4.24	4.05	8.98	8.42
4.20	4.03	8.81	8.28
4.17	3.98	8.69	8.15
4.15	3.96	8.57	8.04
4.12	3.94	8.45	7.93
4.09	3.90	8.33	7.84
4.08	3.88	8.25	7.78
4.07	3.86	8.21	7.73
4.07	3.85	8.21	7.74
4.05	3.82	8.14	7.62
4.05	3.81	8.14	7.61
4.04	3.80	8.10	7.59

Tablo A12. Deneysel Sonuçlarla Teorik Sonuçların Karşılaştırılması (Depolu Seri Sistem - 7 Şubat 1992 - Güneşli)

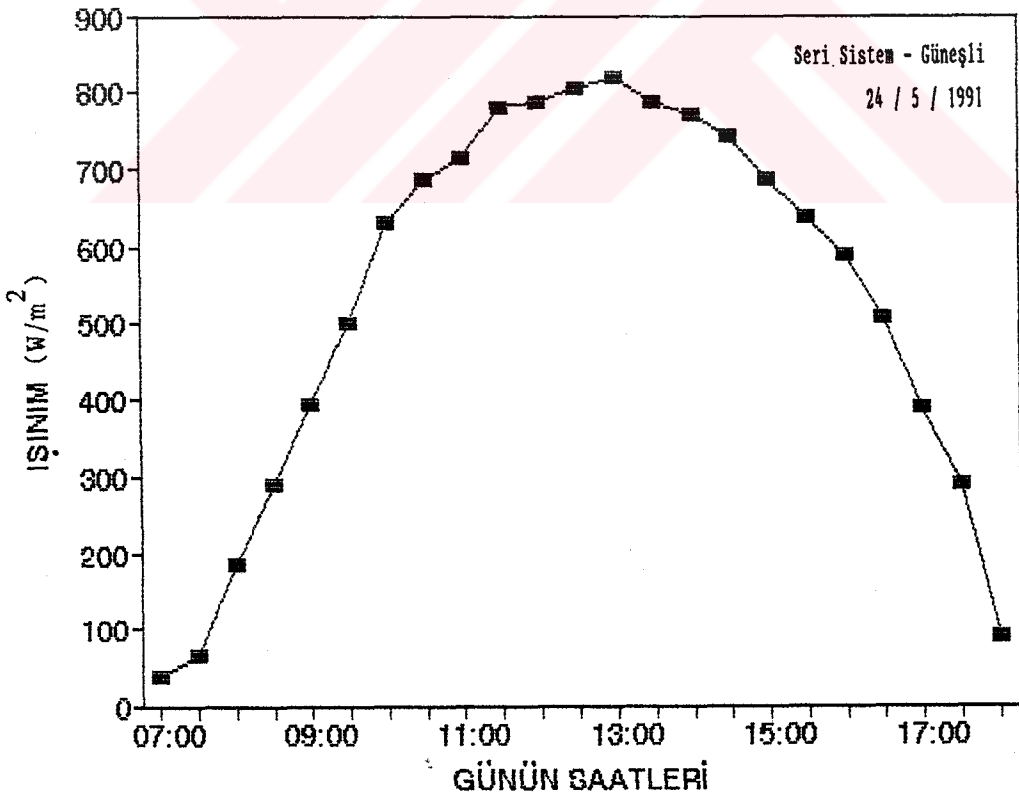
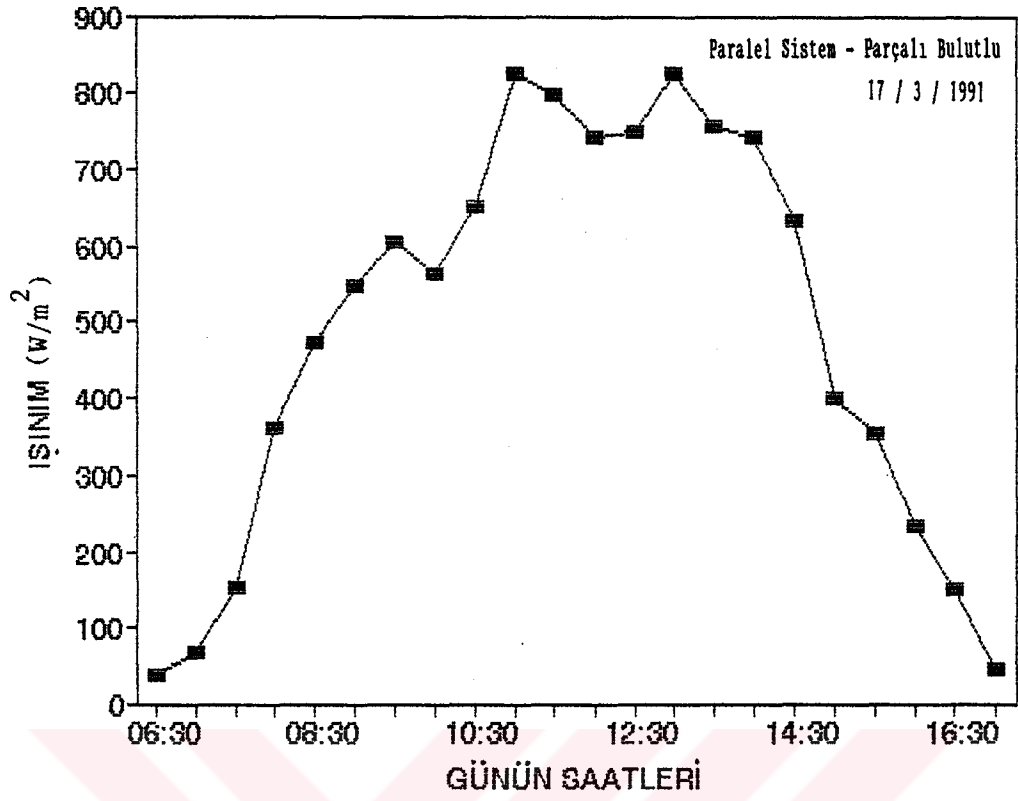
COP(Deneysel)	COP(Teorik)	$Q_{kon}$ (Deneysel)	$Q_{kon}$ (Teorik)
4.10	3.81	8.65	8.10
4.12	3.83	8.67	8.11
4.18	3.87	8.66	8.10
4.21	3.92	8.72	8.13
4.28	3.98	8.74	8.14
4.30	3.99	8.75	8.15
4.32	4.03	8.80	8.17
4.34	4.04	8.81	8.18
4.33	4.02	8.80	8.17
4.31	4.00	8.78	8.16
4.30	3.98	8.76	8.15
4.25	3.96	8.74	8.13
4.22	3.93	8.71	8.12
4.21	3.91	8.70	8.12
4.17	3.87	8.68	8.10
4.14	3.85	8.66	8.08
4.13	3.83	8.64	8.06
4.12	3.83	8.63	8.05
4.10	3.81	8.60	8.03
4.09	3.80	8.60	8.02
4.09	3.80	8.59	8.01
4.07	3.77	8.57	8.00
4.06	3.76	8.55	7.98
4.07	3.77	8.54	7.98
4.05	3.75	8.53	7.96

**EK 4. GRAFIKLER**

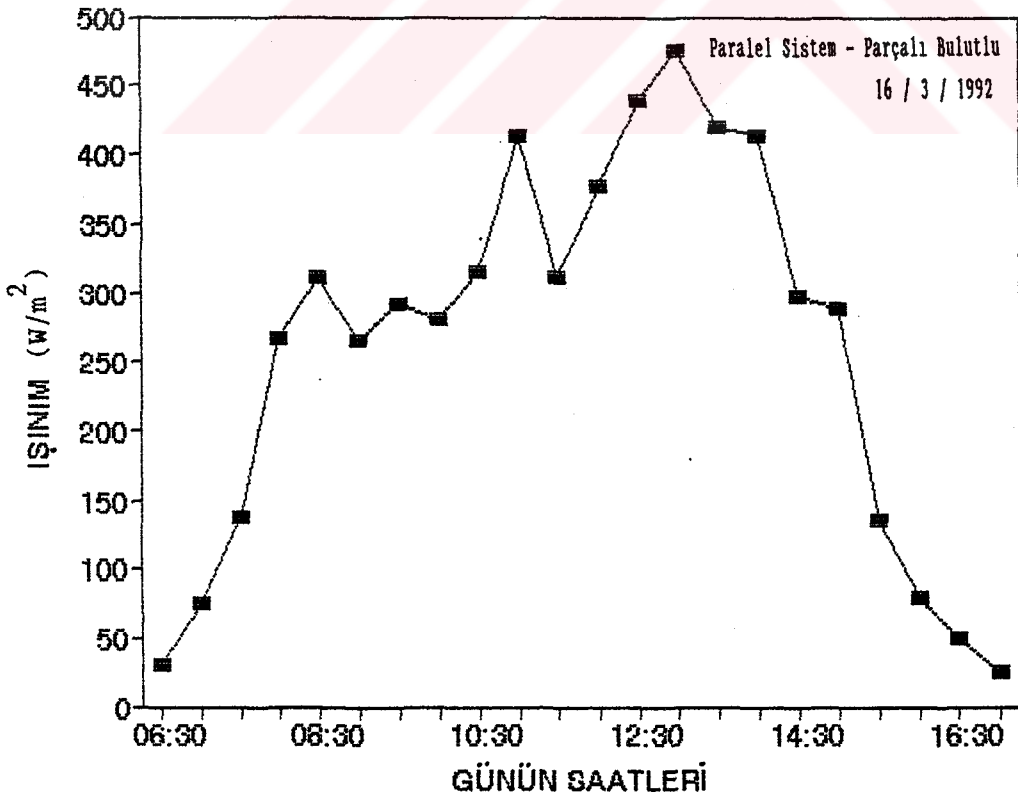
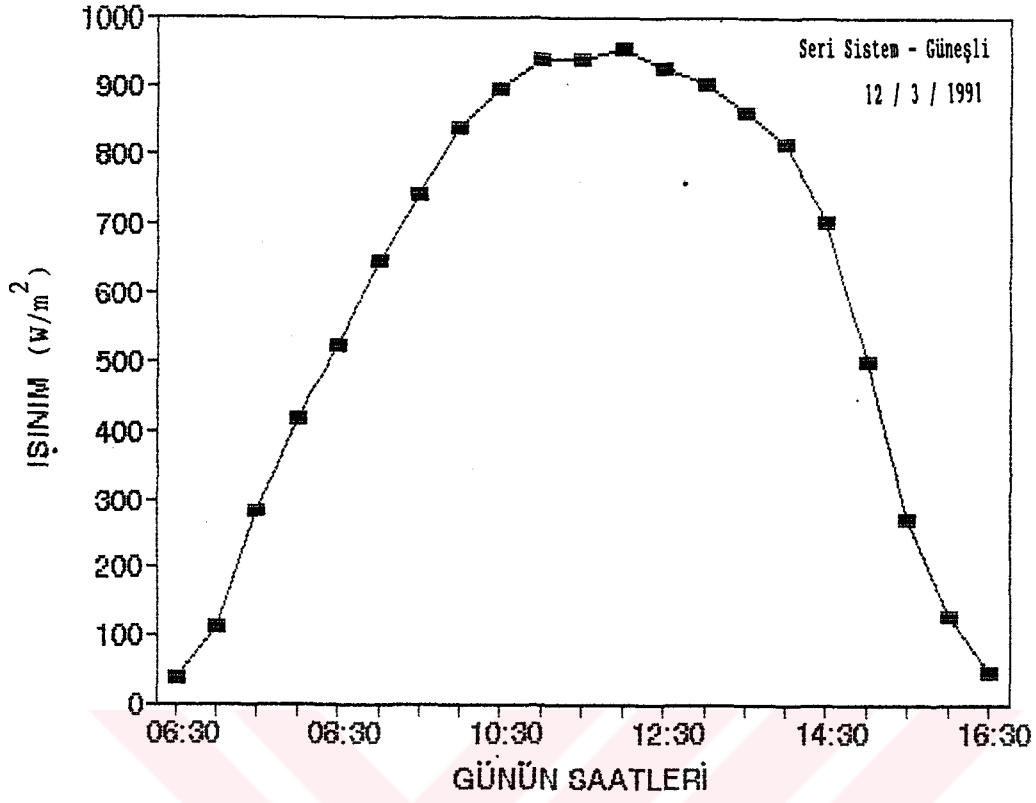




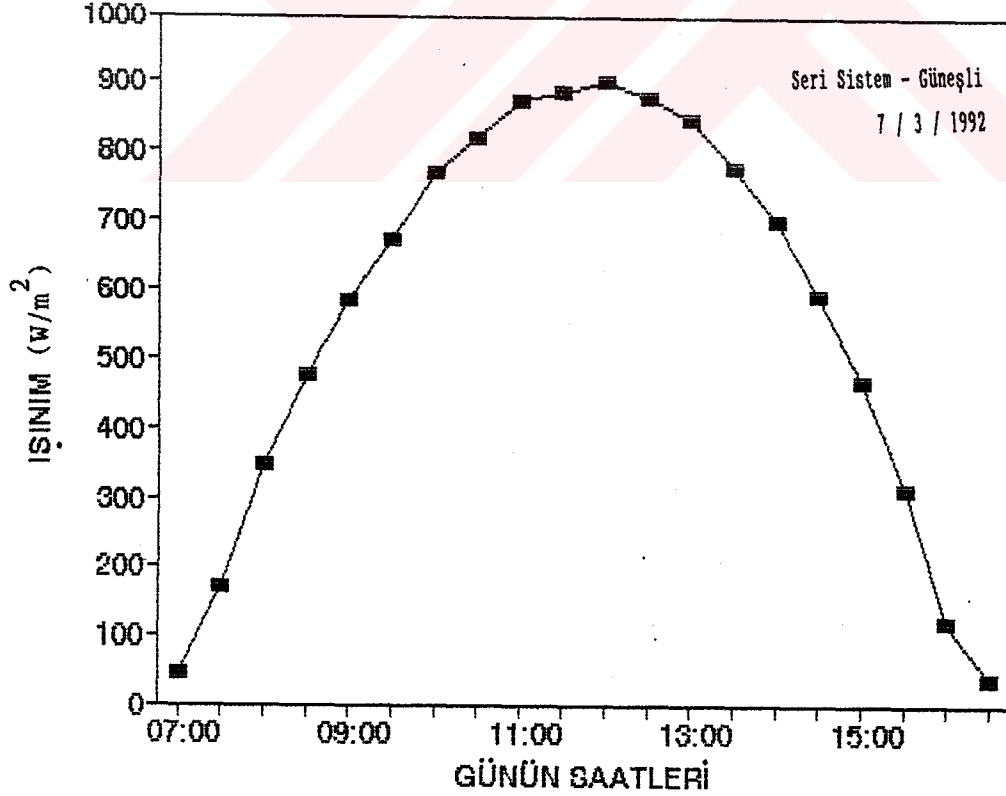
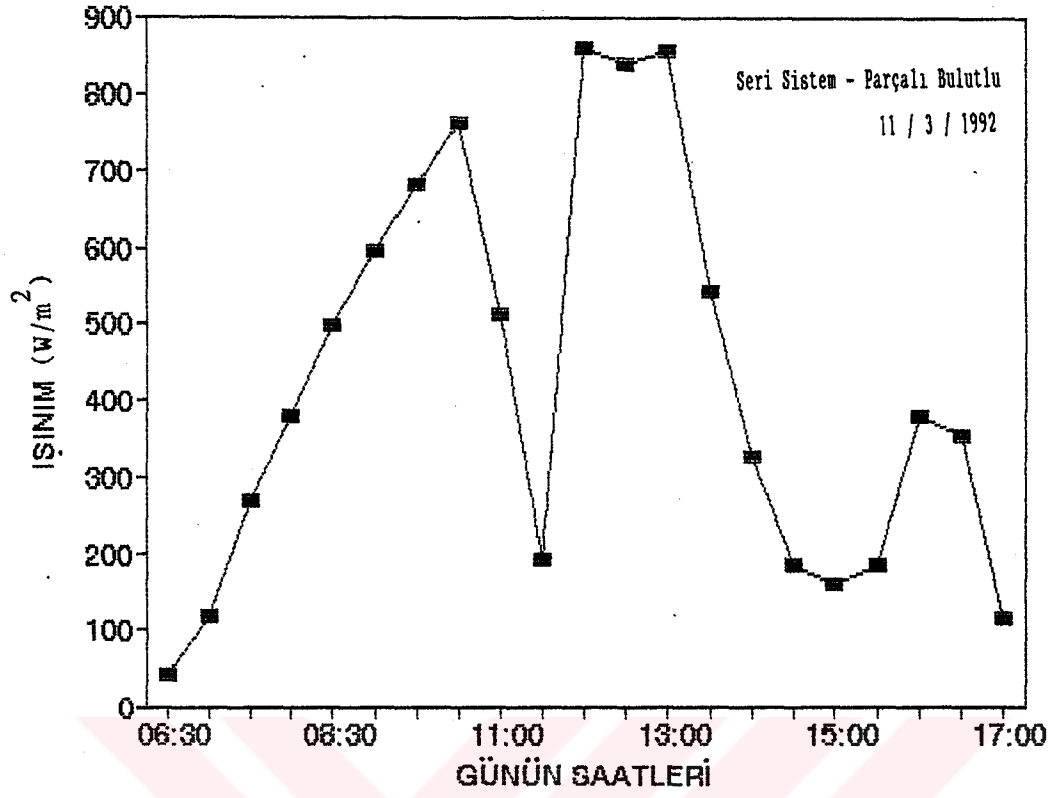
Şekil 1. Tüm Güneş Işınımının Değişimi.



Şekil 1. Tüm Güneş Işınımının Değişimi (devam).

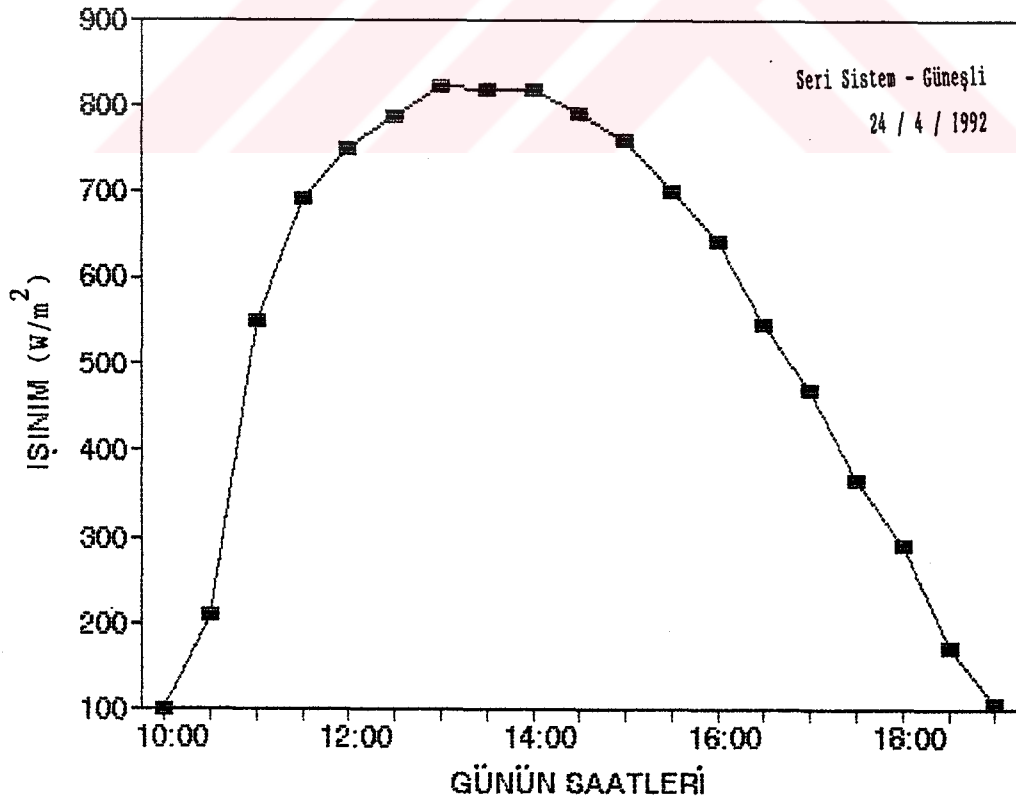
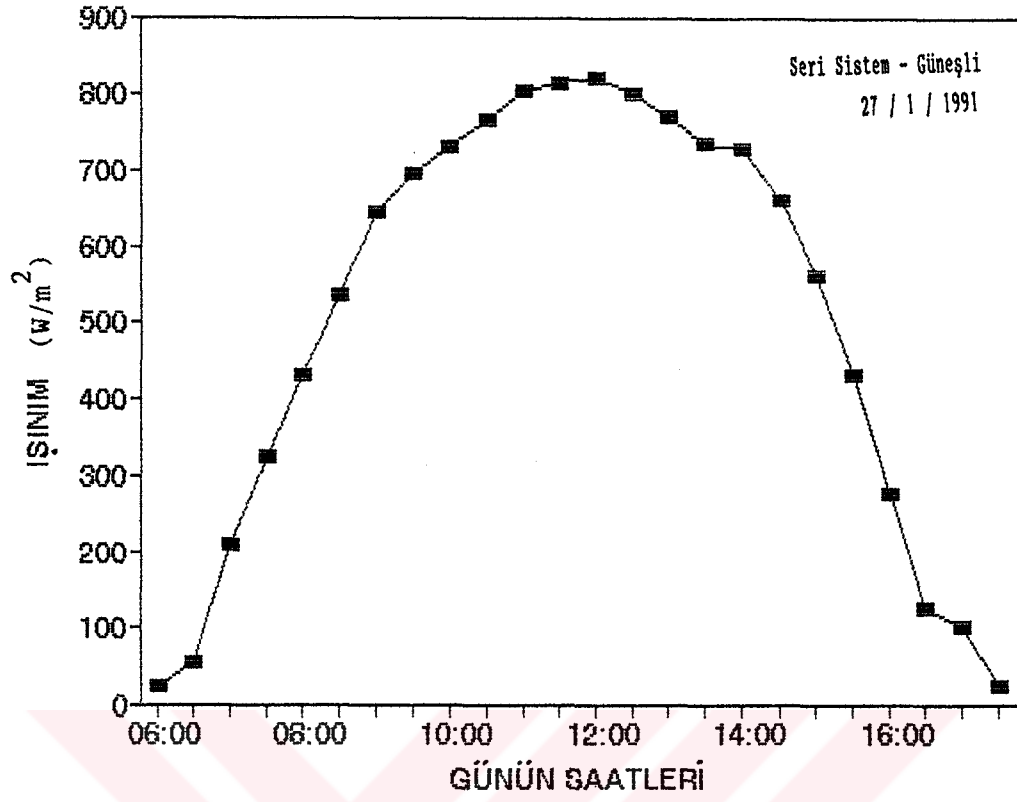


Şekil 1. Tüm Güneş Işınımının Değişimi (devam).

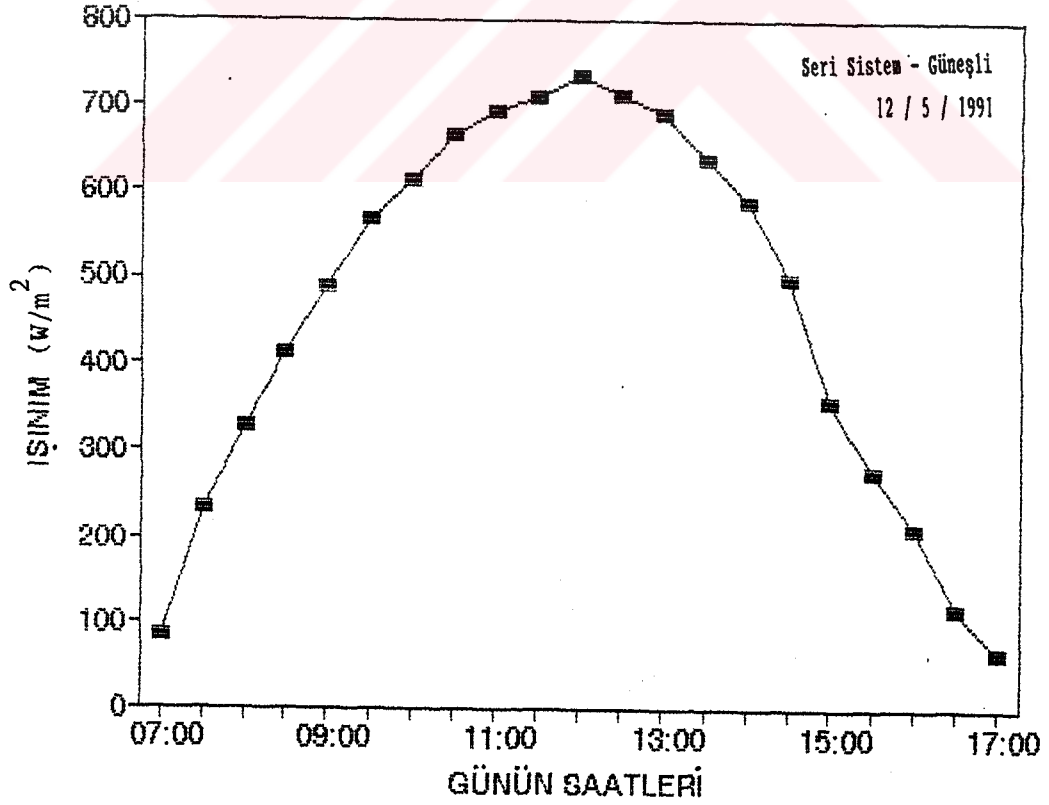
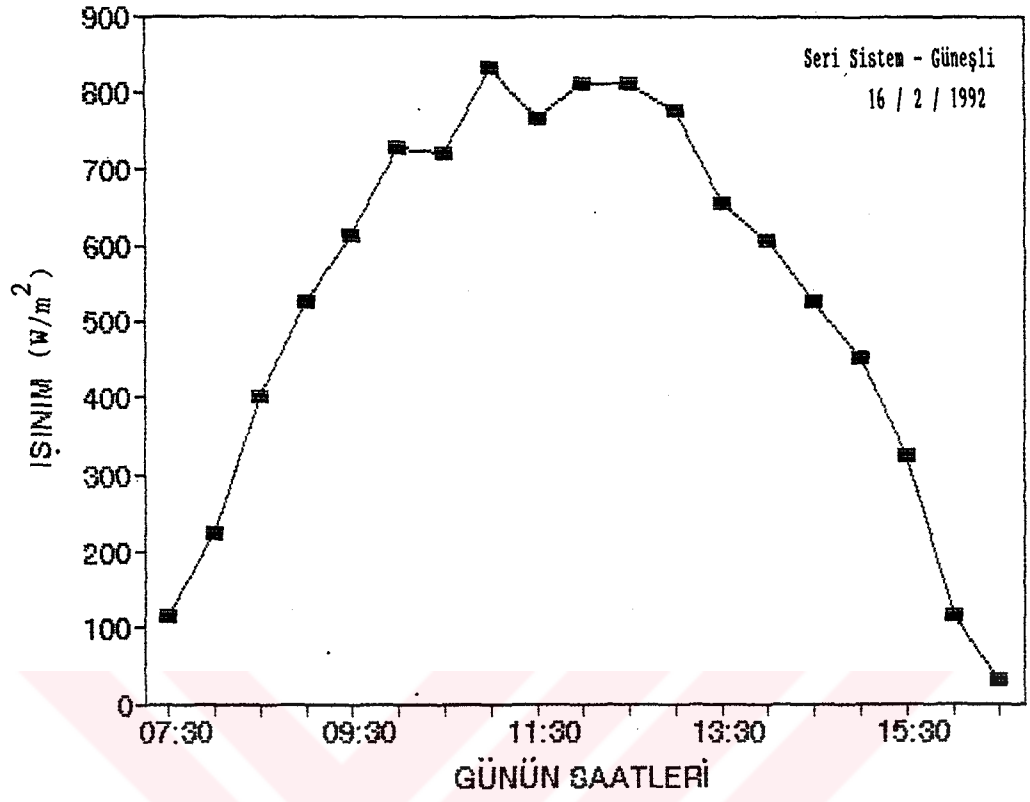


Şekil 1. Tüm Güneş Işınımının Değişimi (devam).

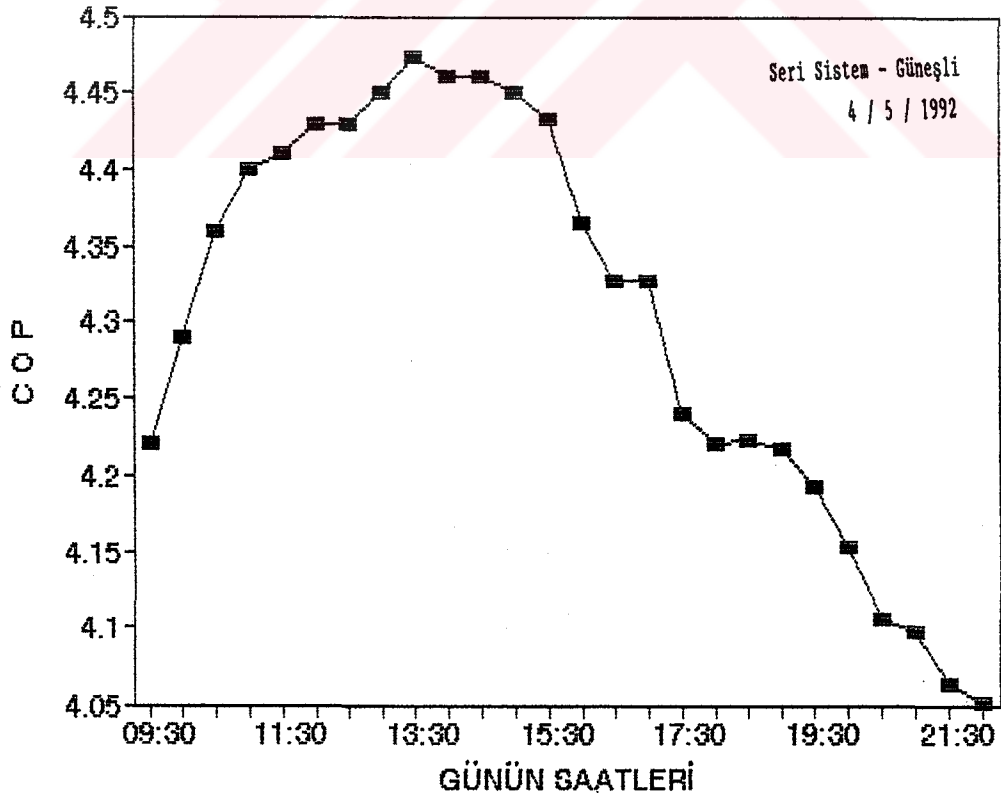
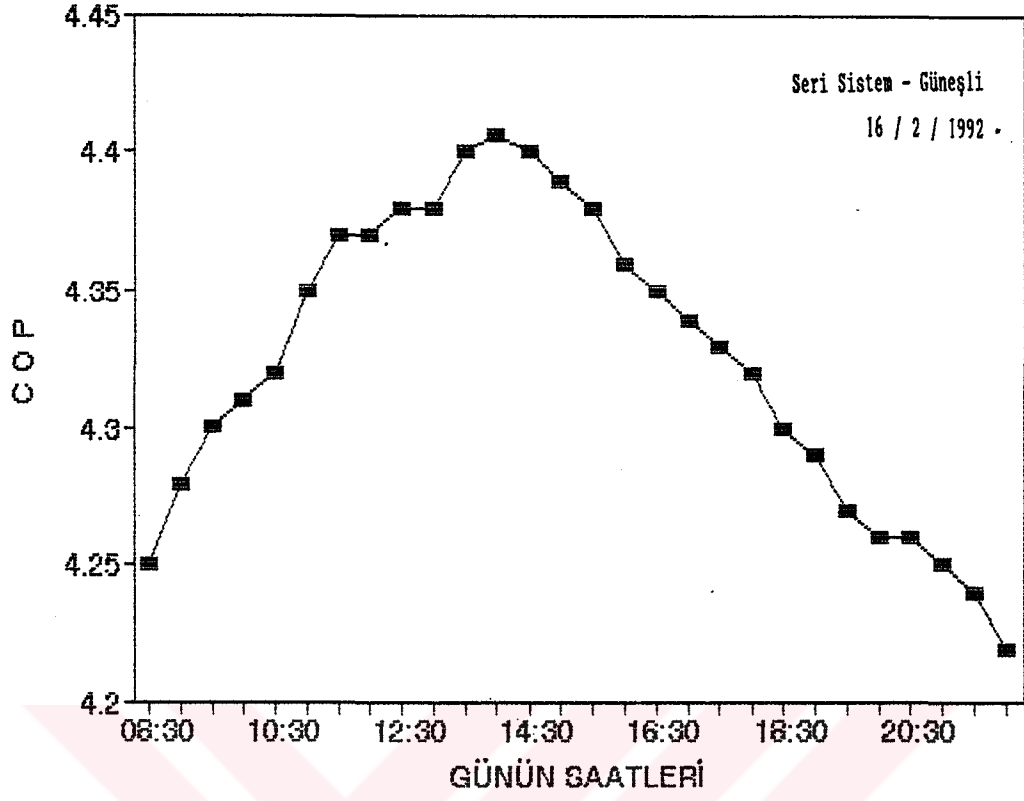




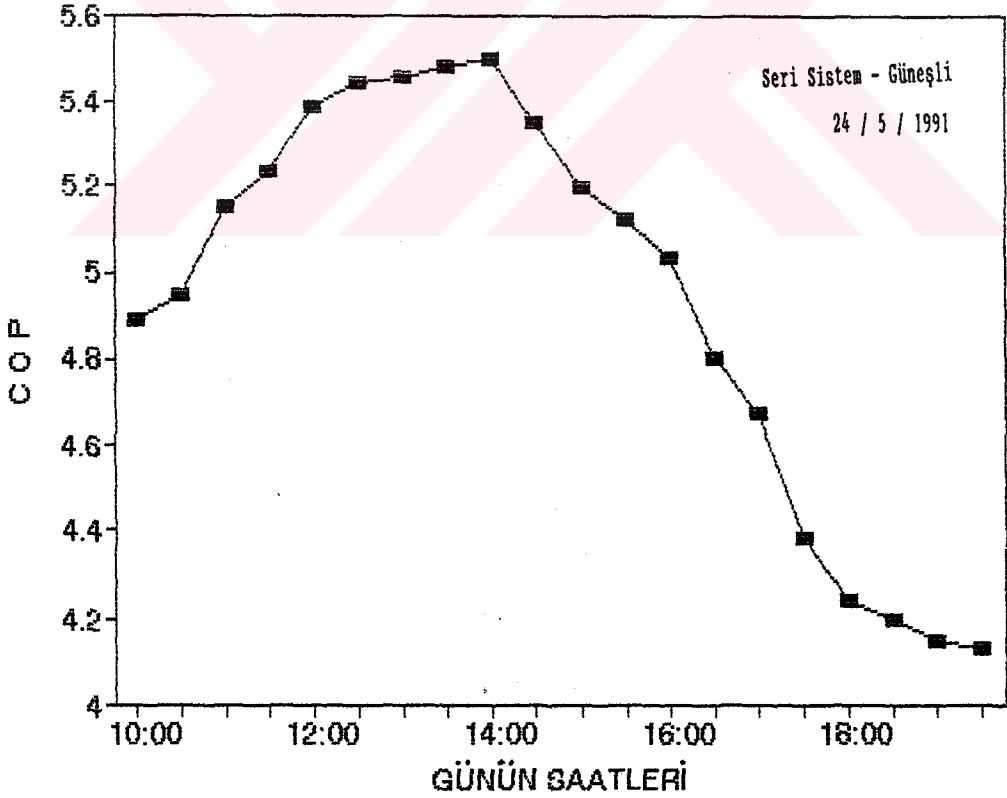
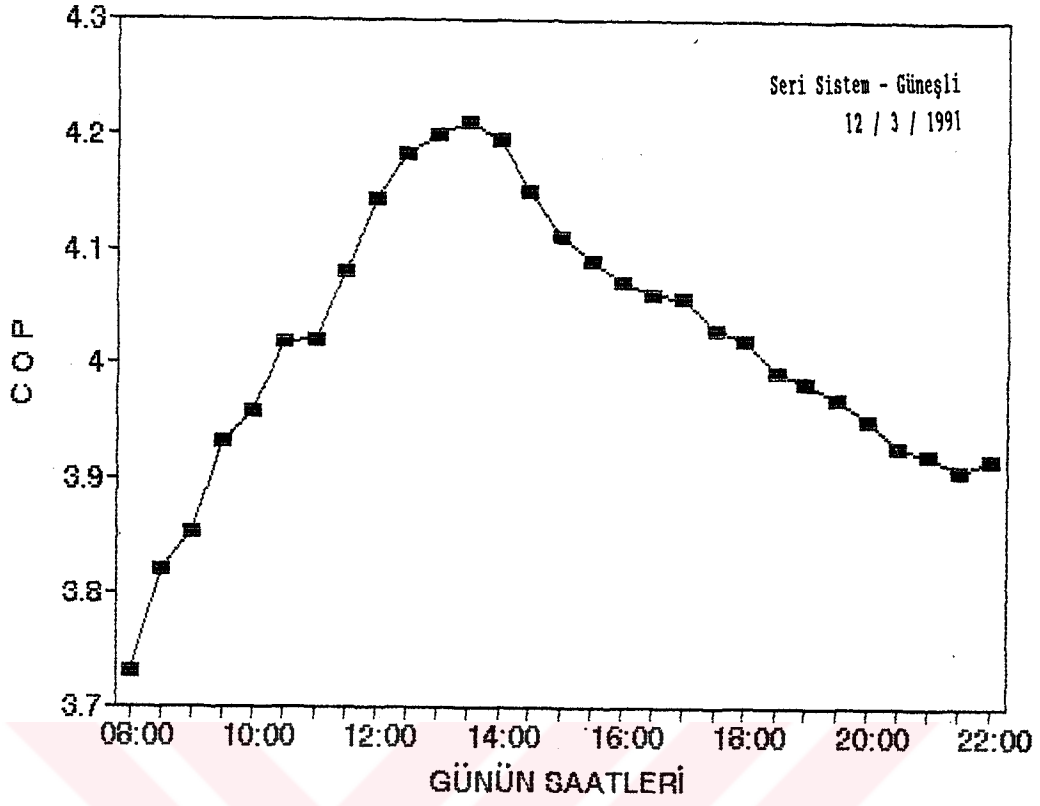
Şekil 1. Tüm Güneş Işınımının Değişimi (devam).



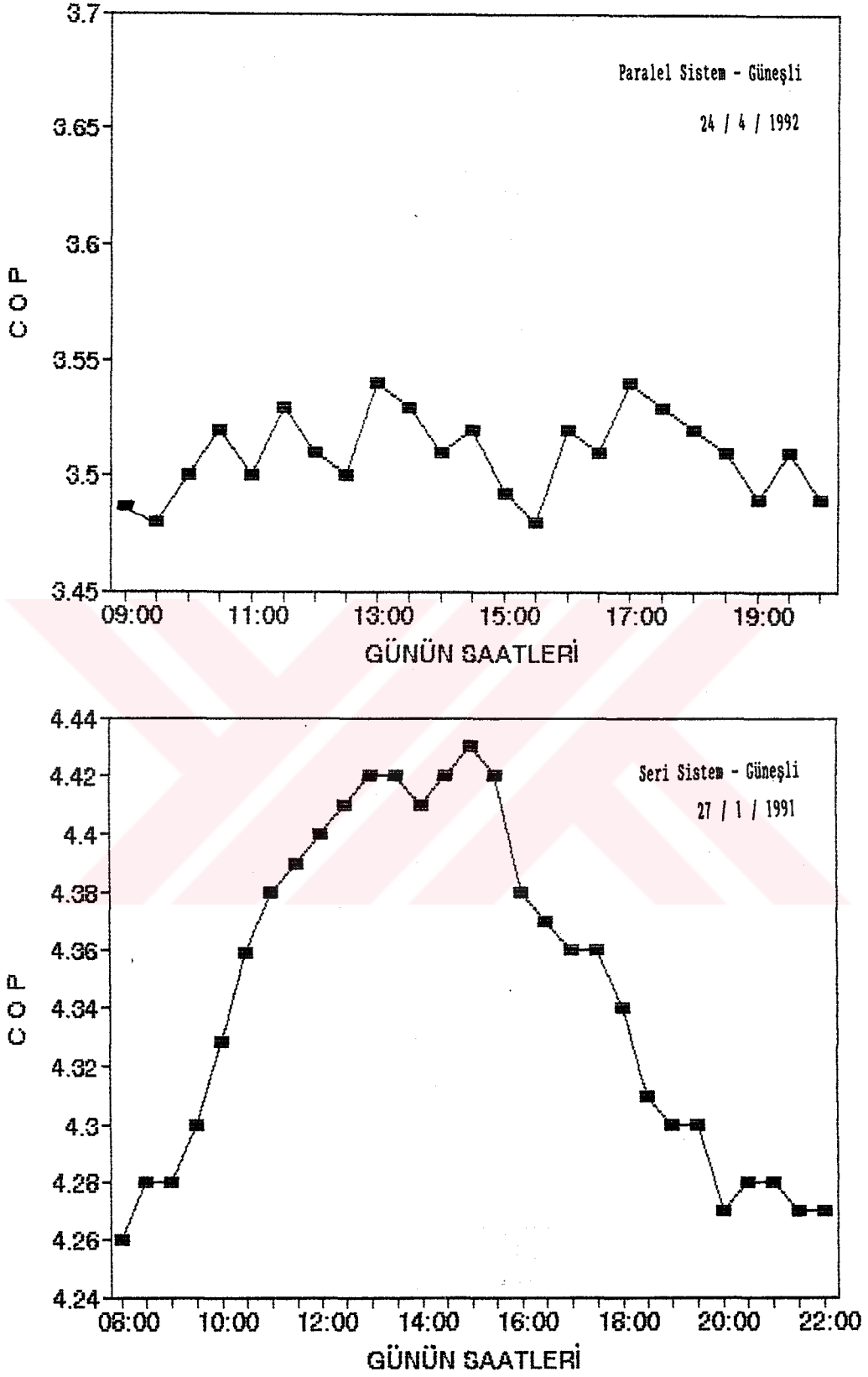
Şekil 1. Tüm Güneş Işınımının Değişimi (devam).



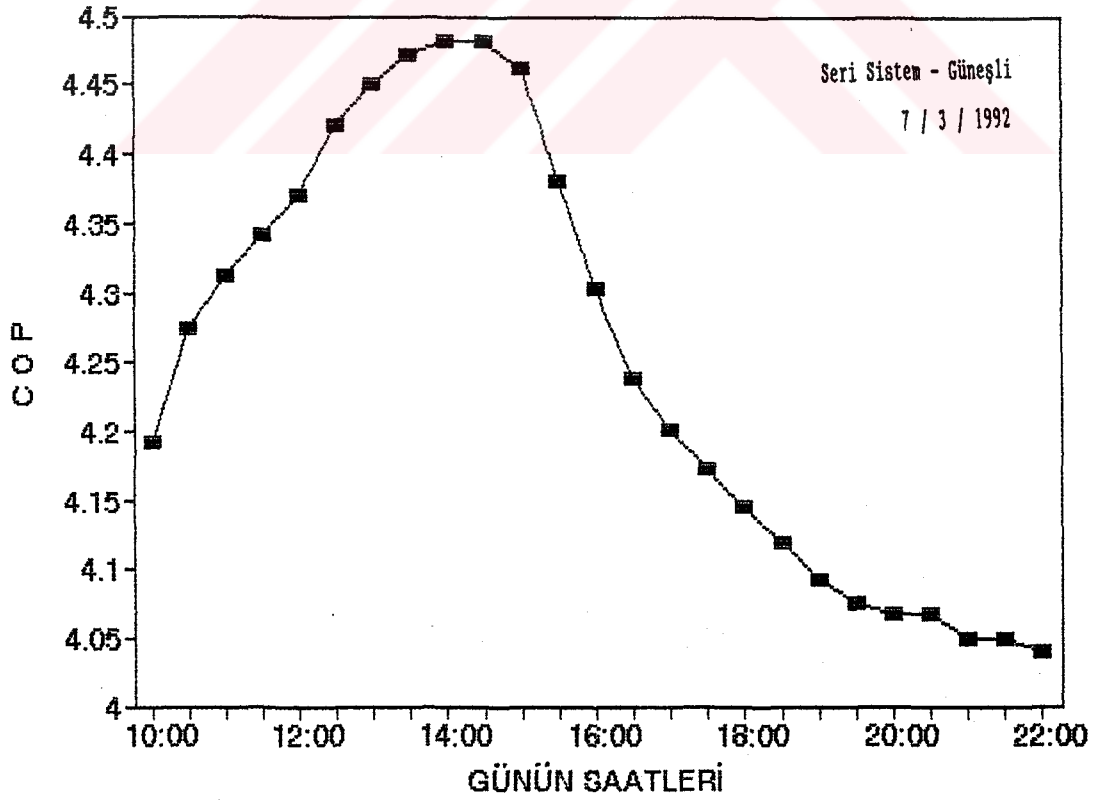
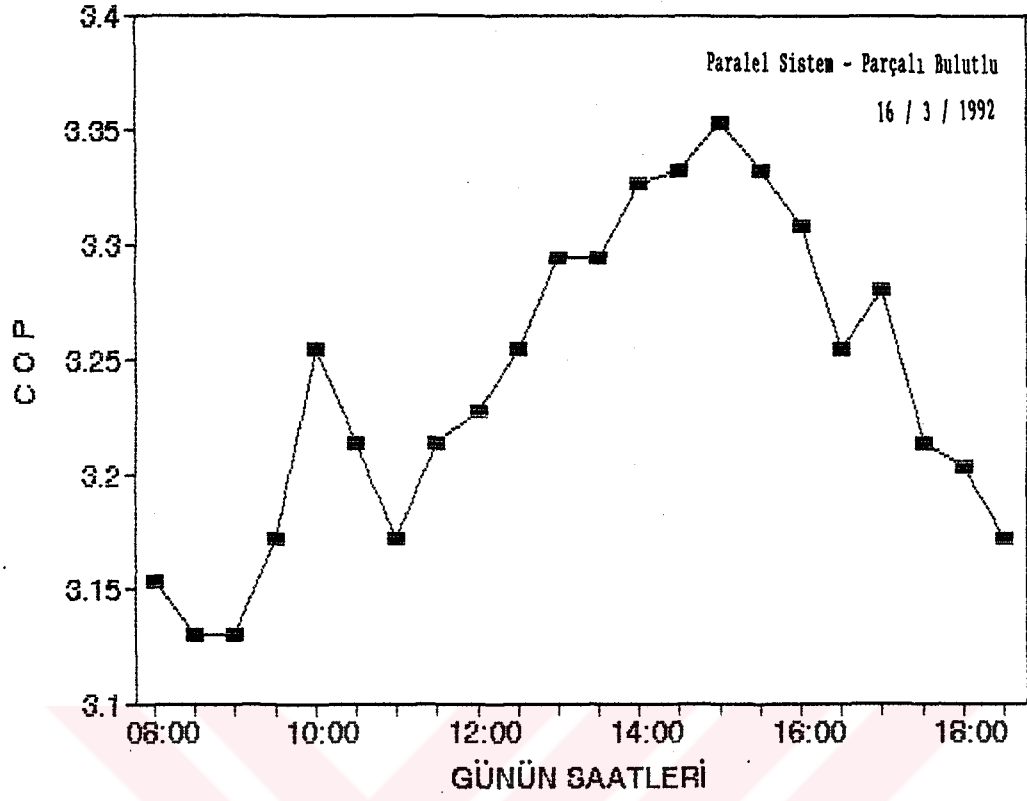
Şekil 2. Isı Pompasının Performans Katsayısının Değişimi.



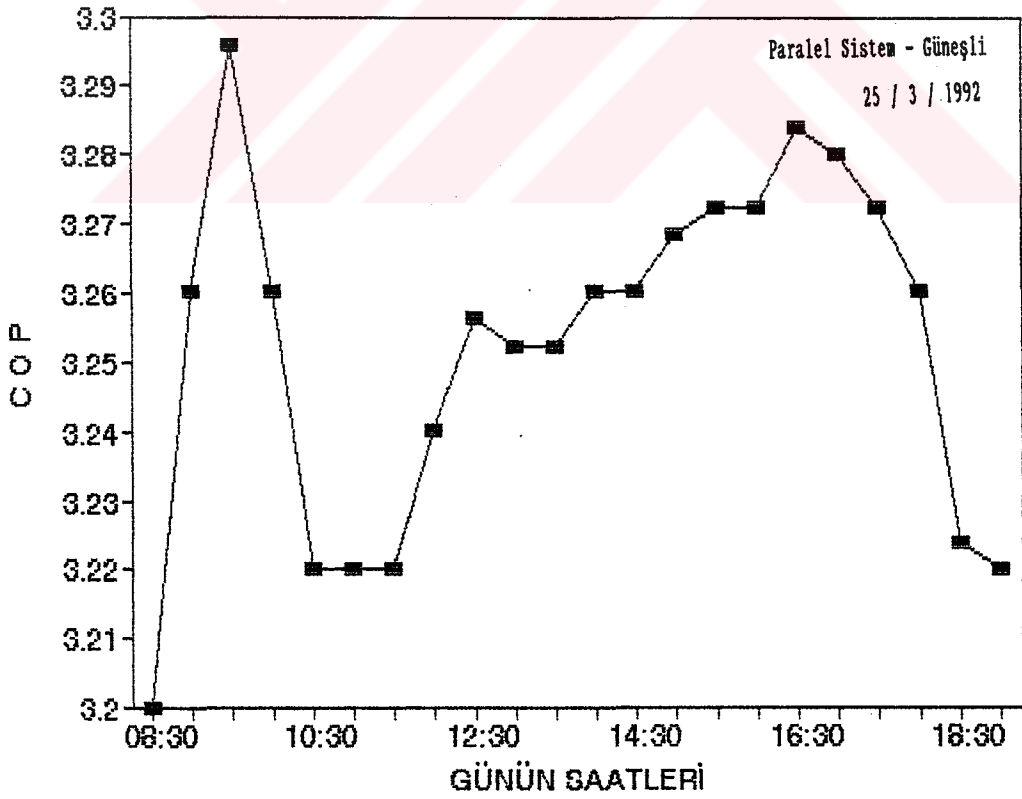
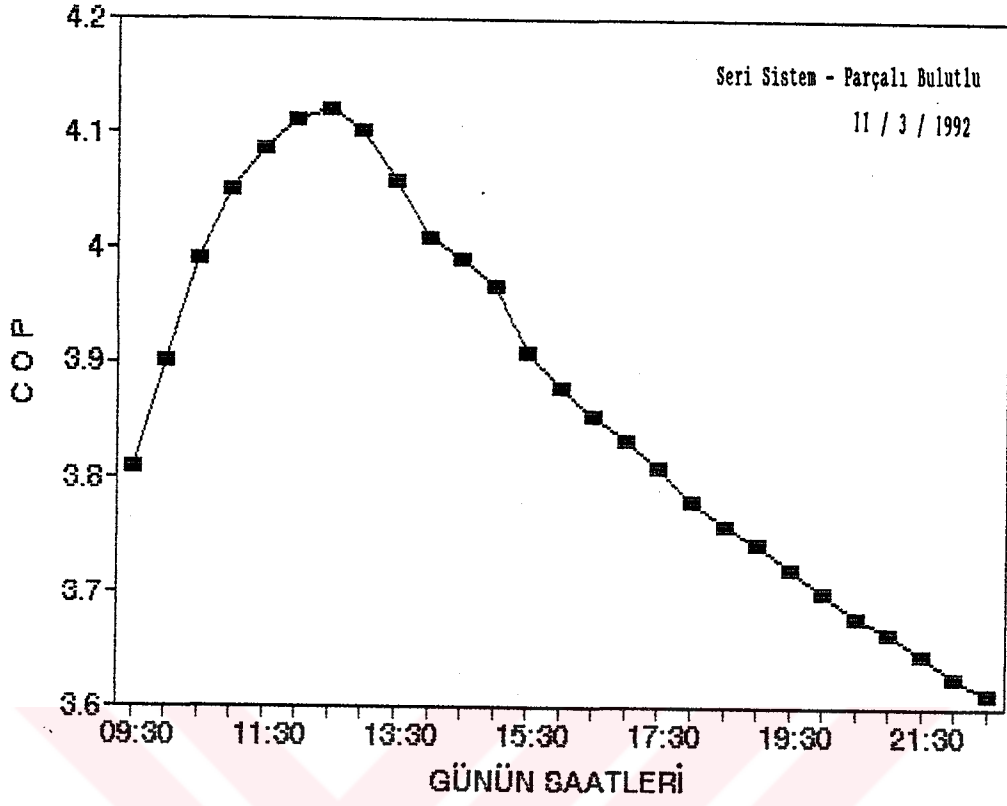
Şekil 2. Isı Pompasının Performans Katsayısının Değişimi (devam).



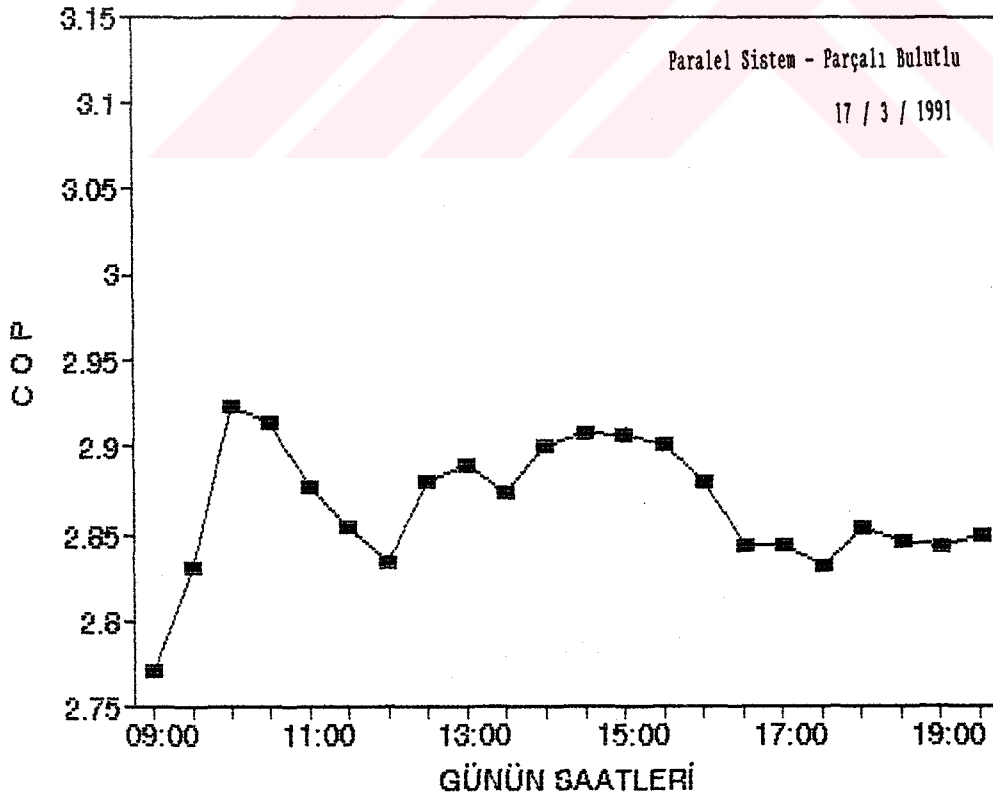
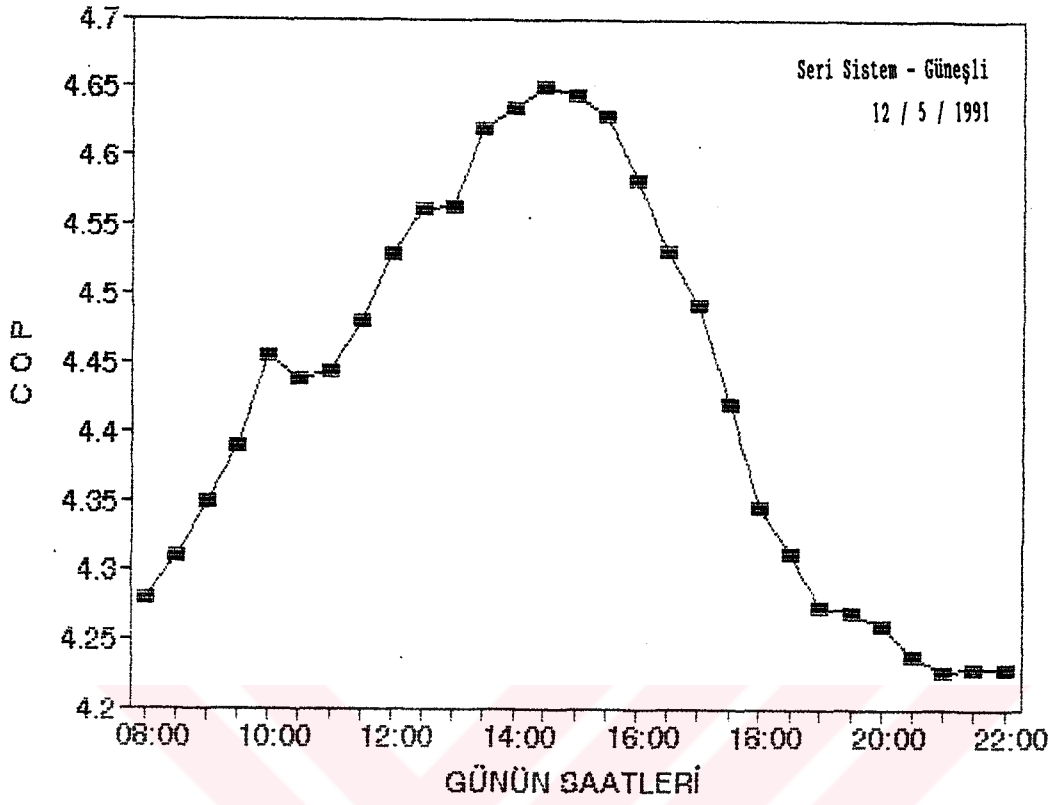
Şekil 2. Isı Pompasının Performans Katsayısının Değişimi (devam).



Şekil 2. Isı Pompasının Performans Katsayısının Değişimi (devam).

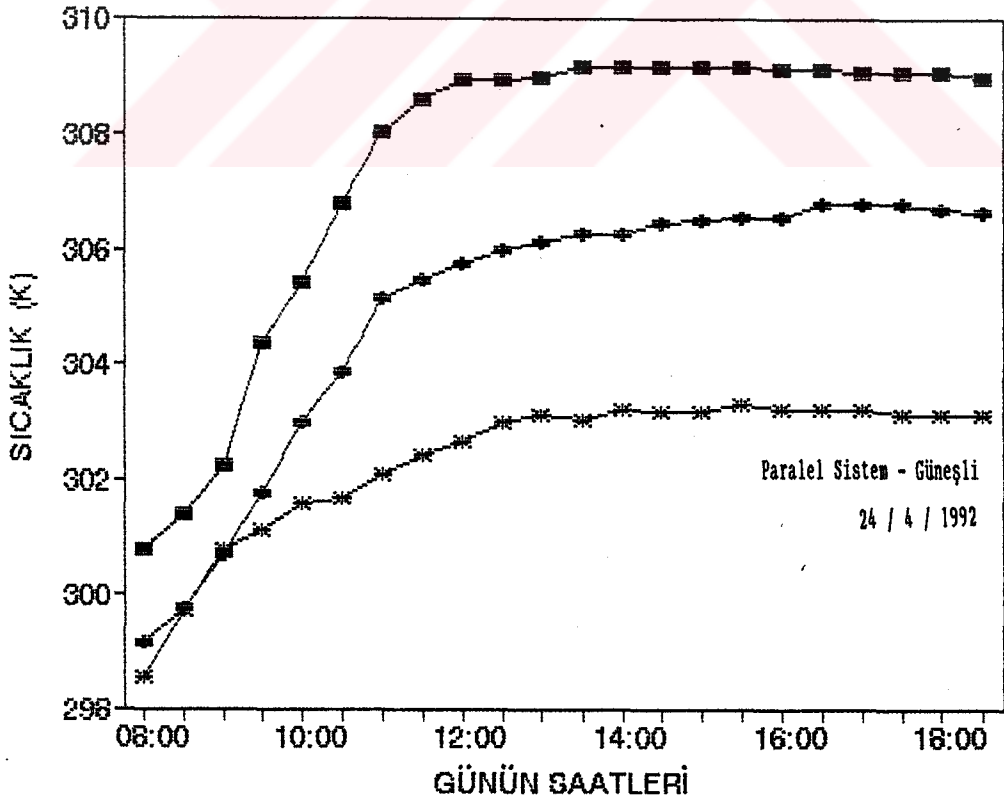
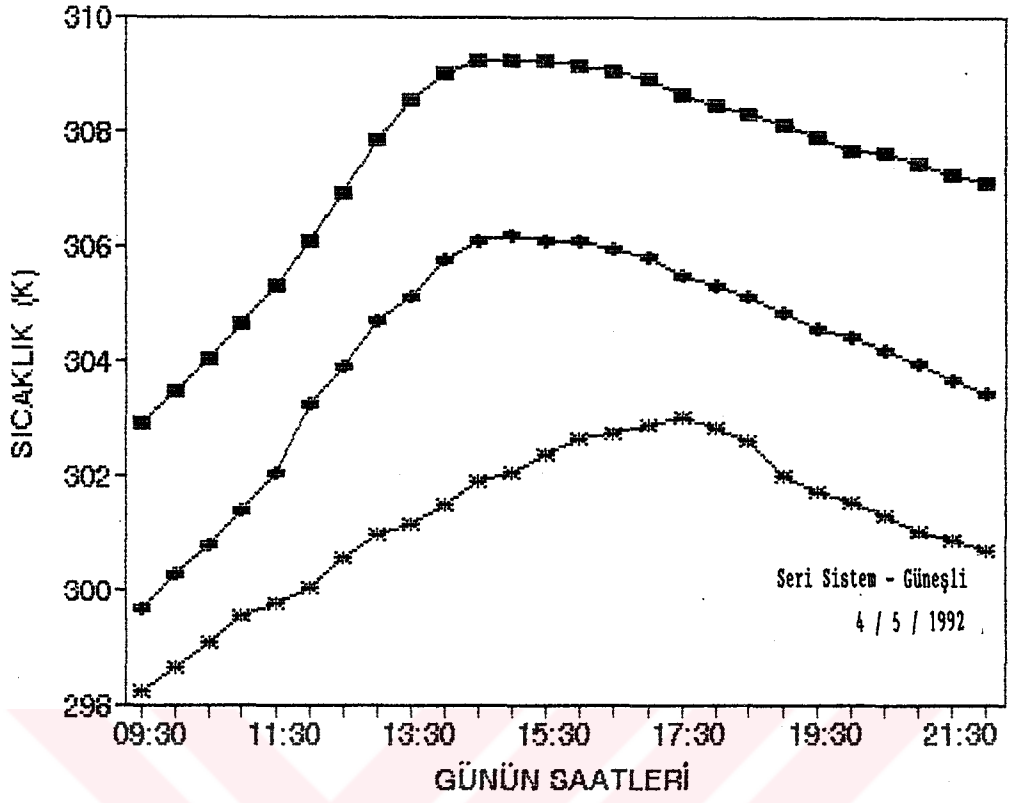


Şekil 2. Isı Pompasının Performans Katsayısının Değişimi (devam).

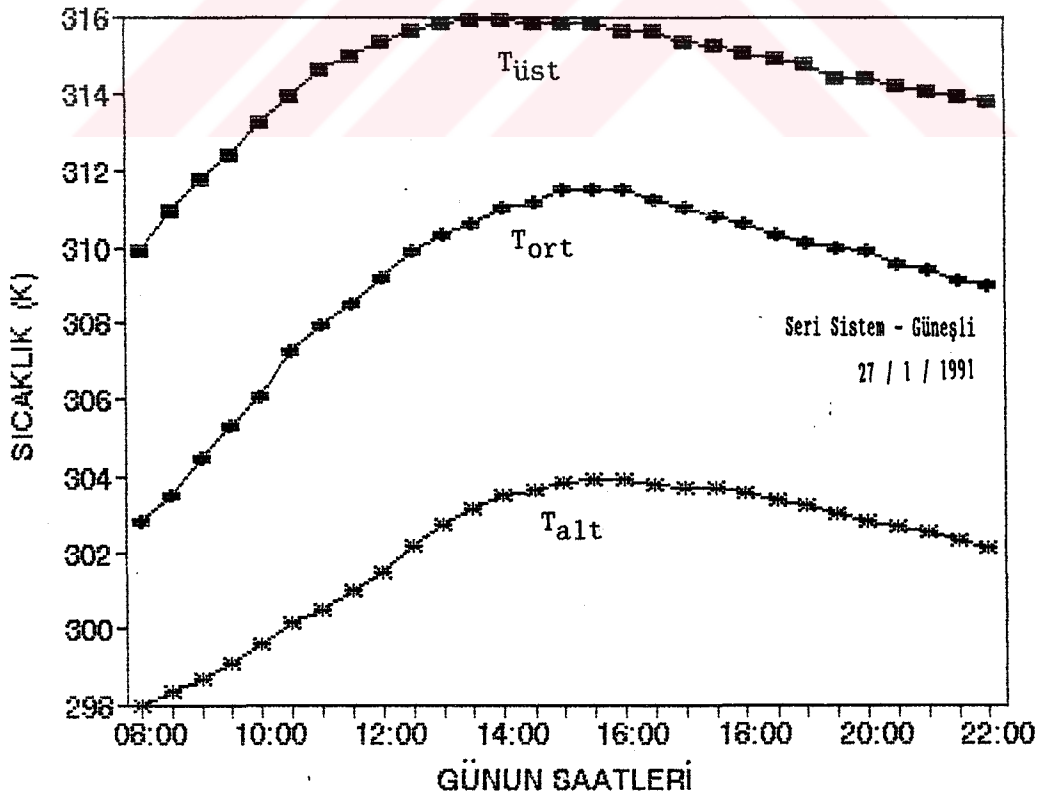
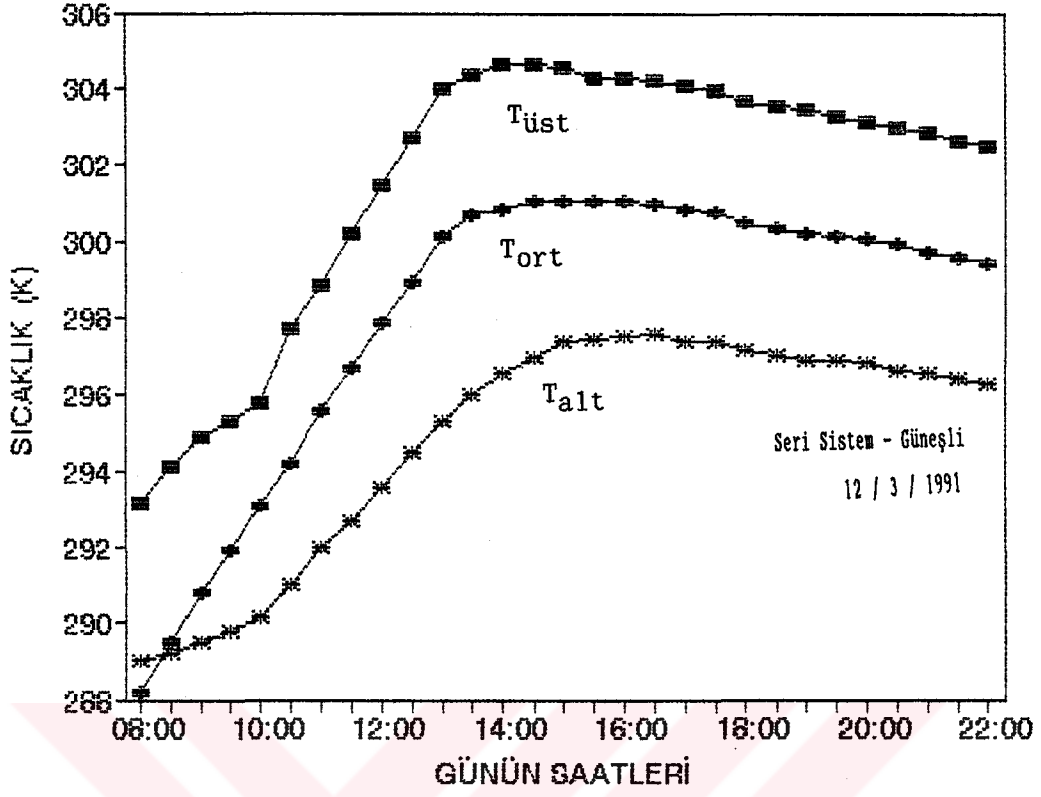


Şekil 2. Isı Pompasının Performans Katsayısının Değişimi (devam).

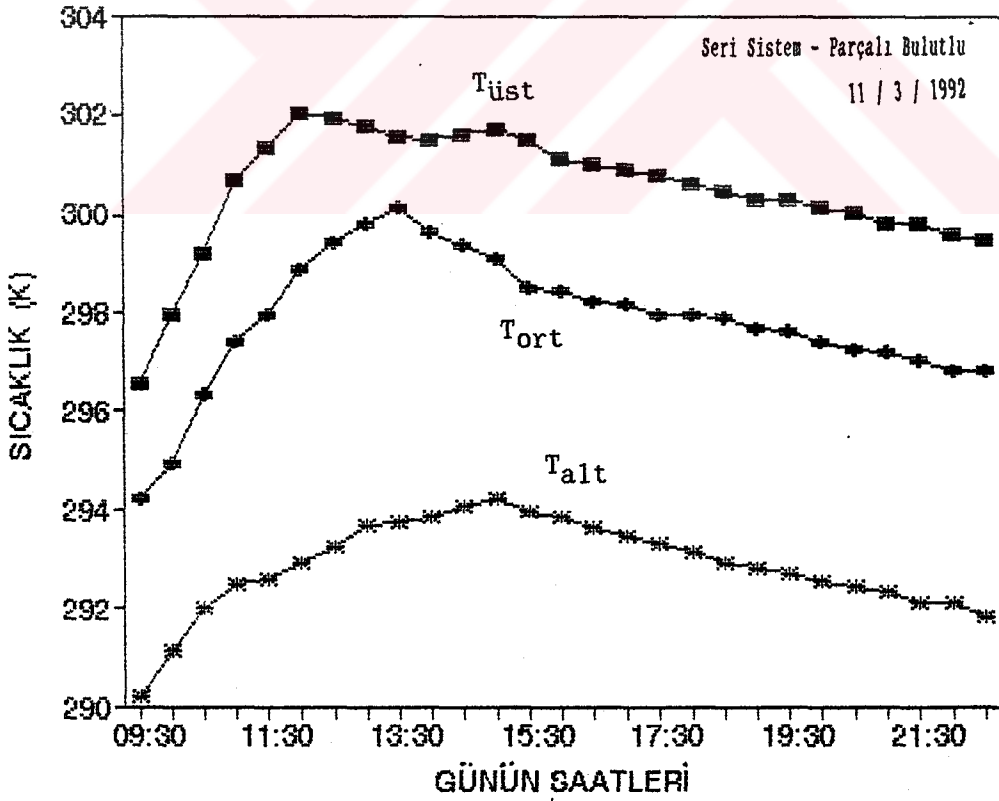
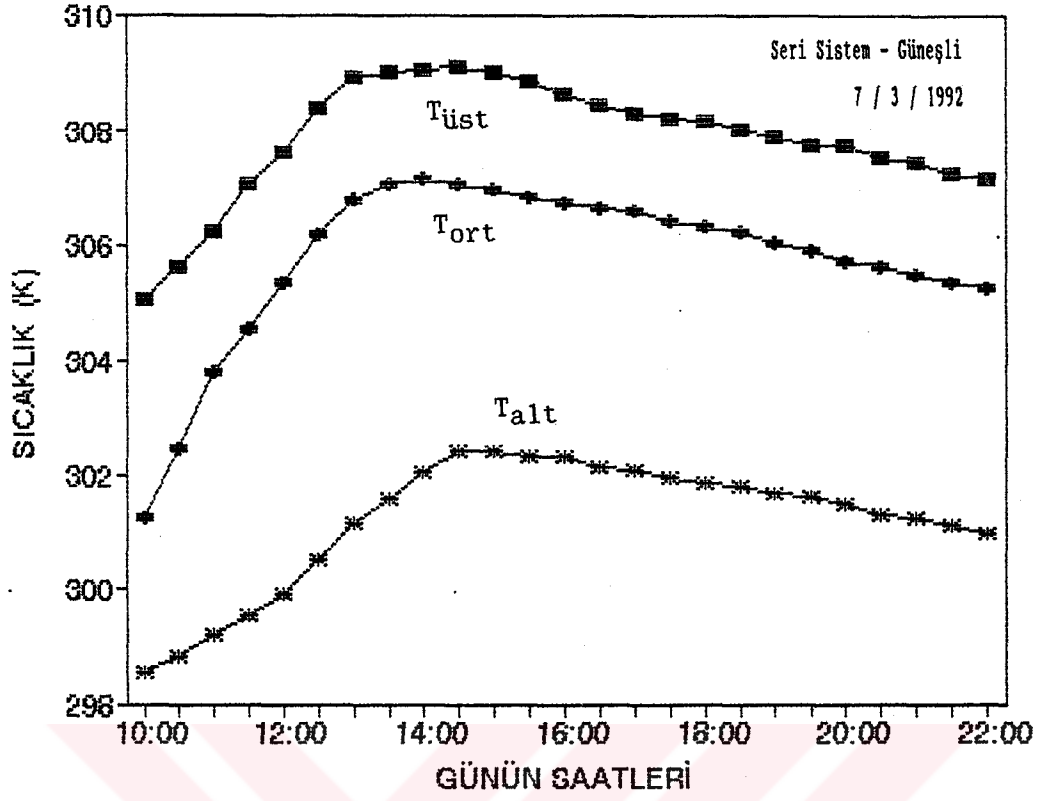




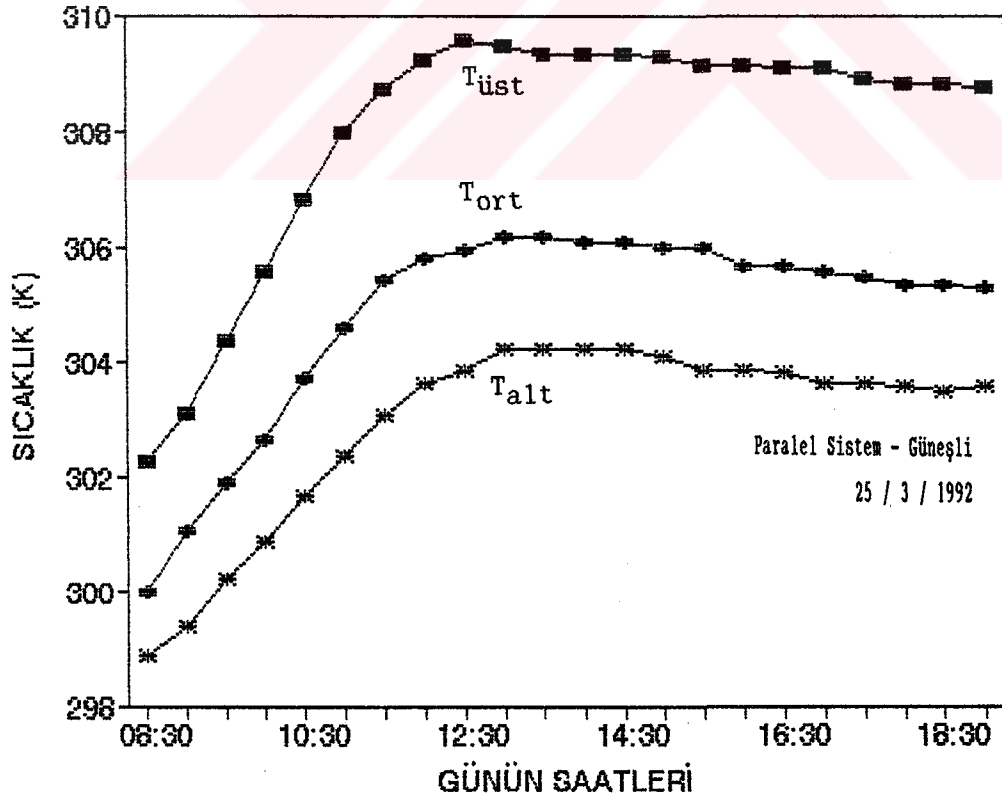
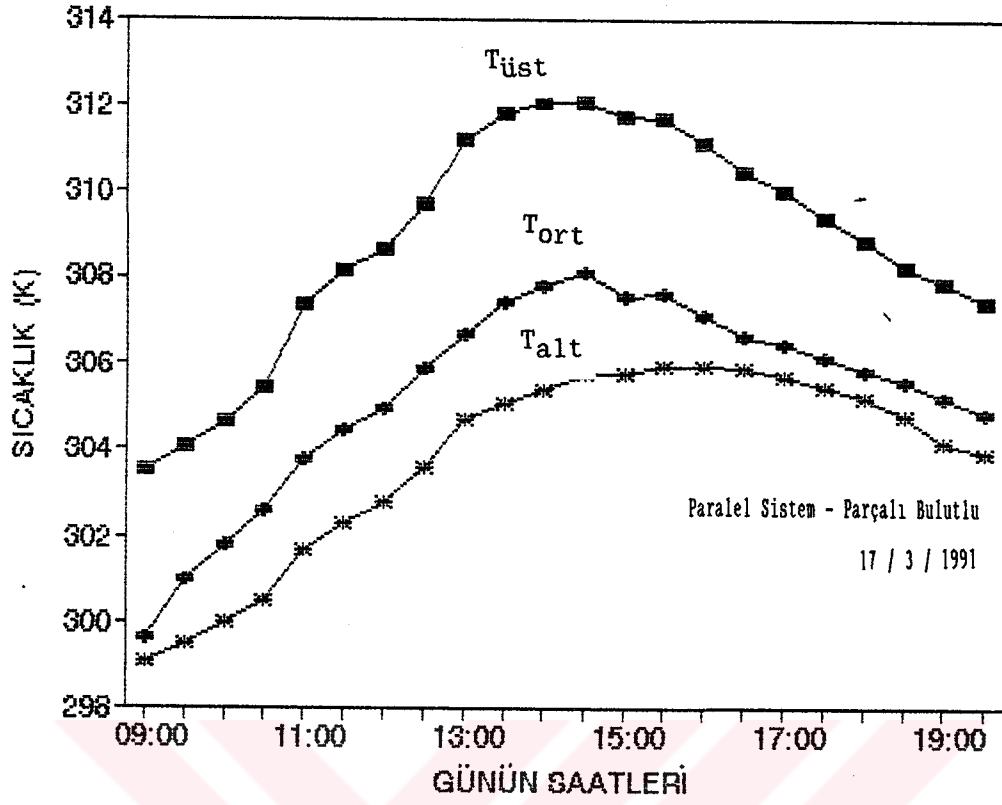
Şekil 3. Depodaki Kimyasal Maddenin Sıcaklık Değişimi.



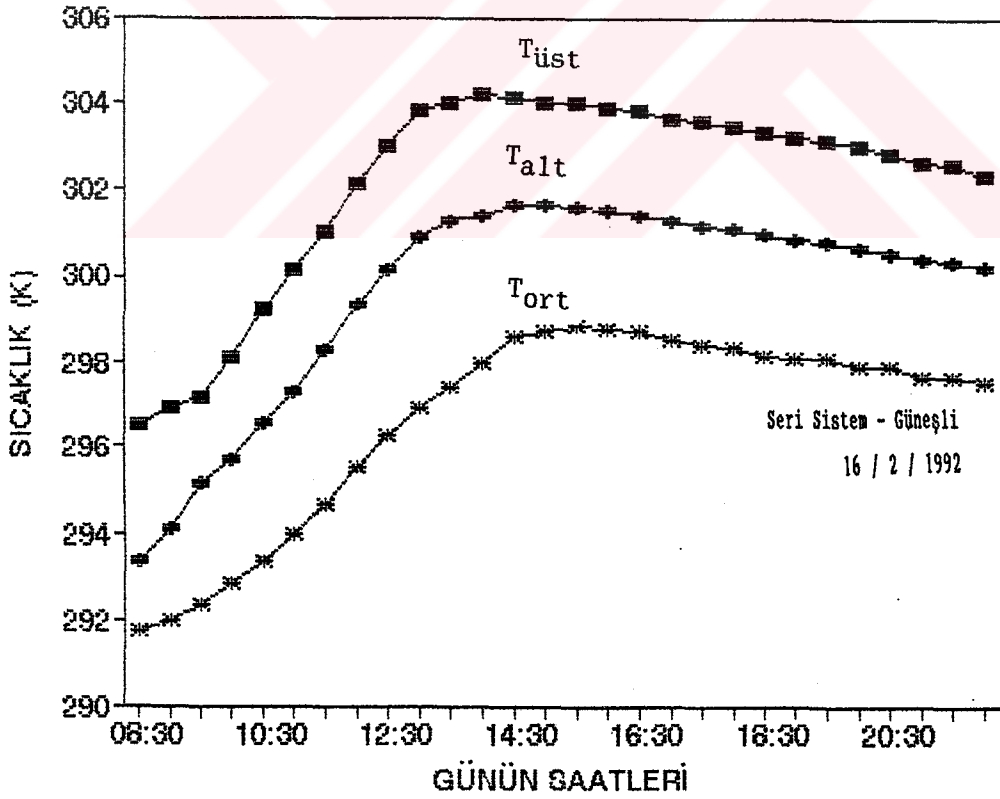
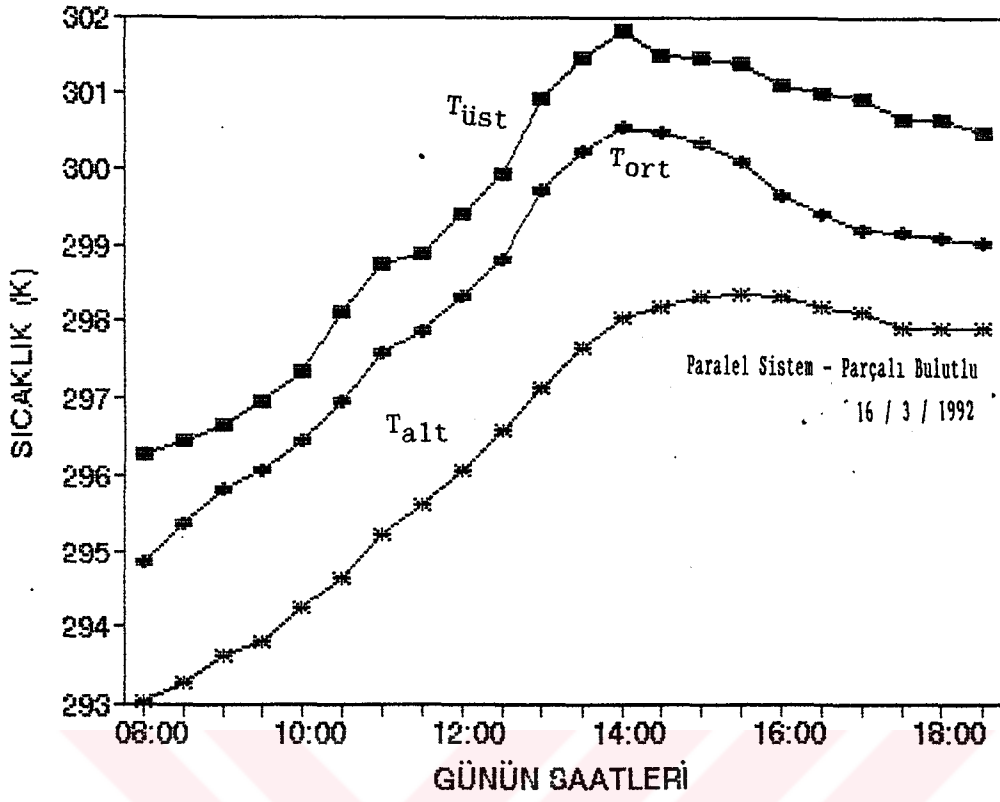
Şekil 3. Depodaki Kimyasal Maddenin Sıcaklık Değişimi (devam).



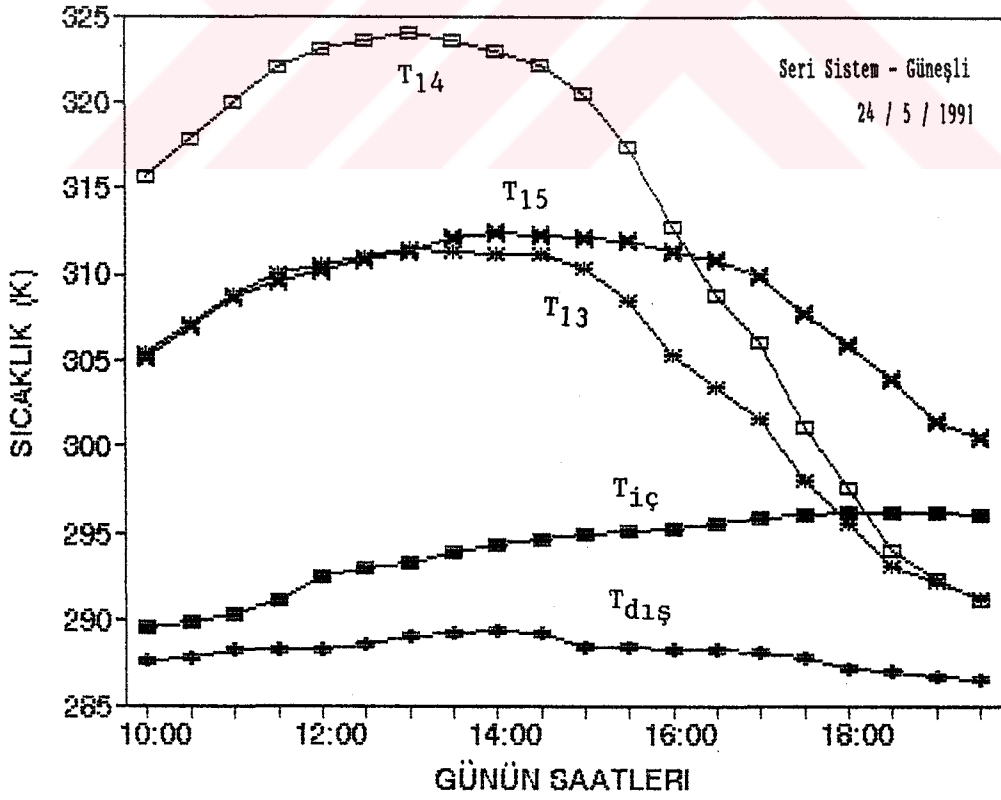
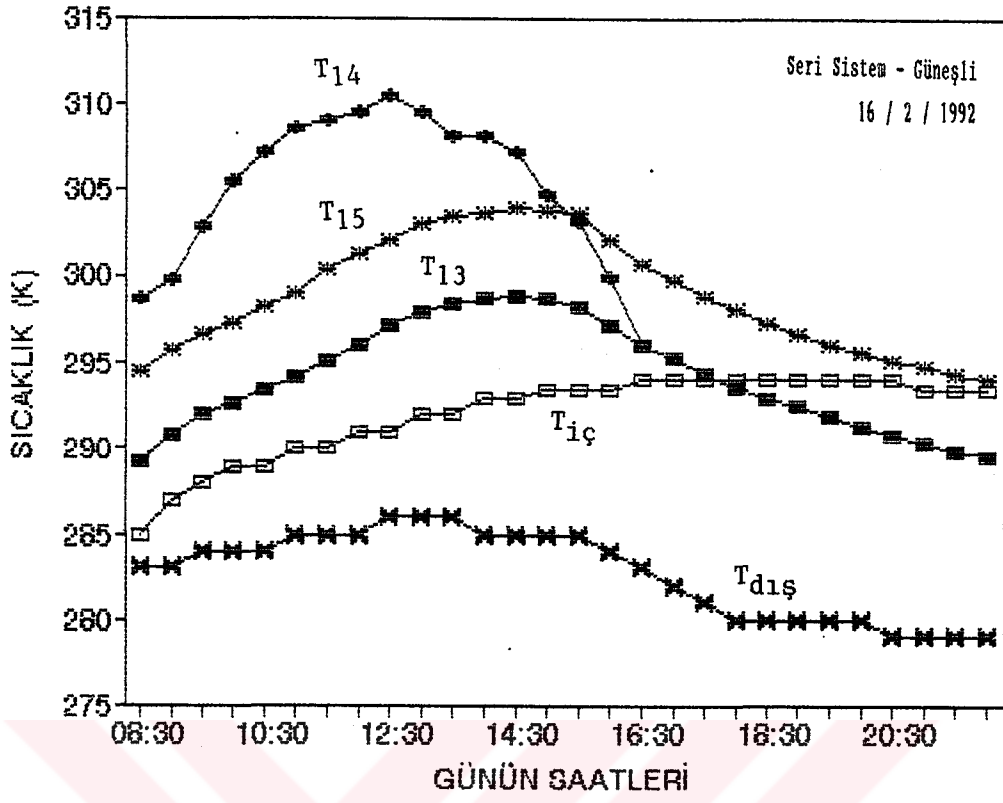
Şekil 3. Depodaki Kimyasal Maddenin Sıcaklık Değişimi (devam).



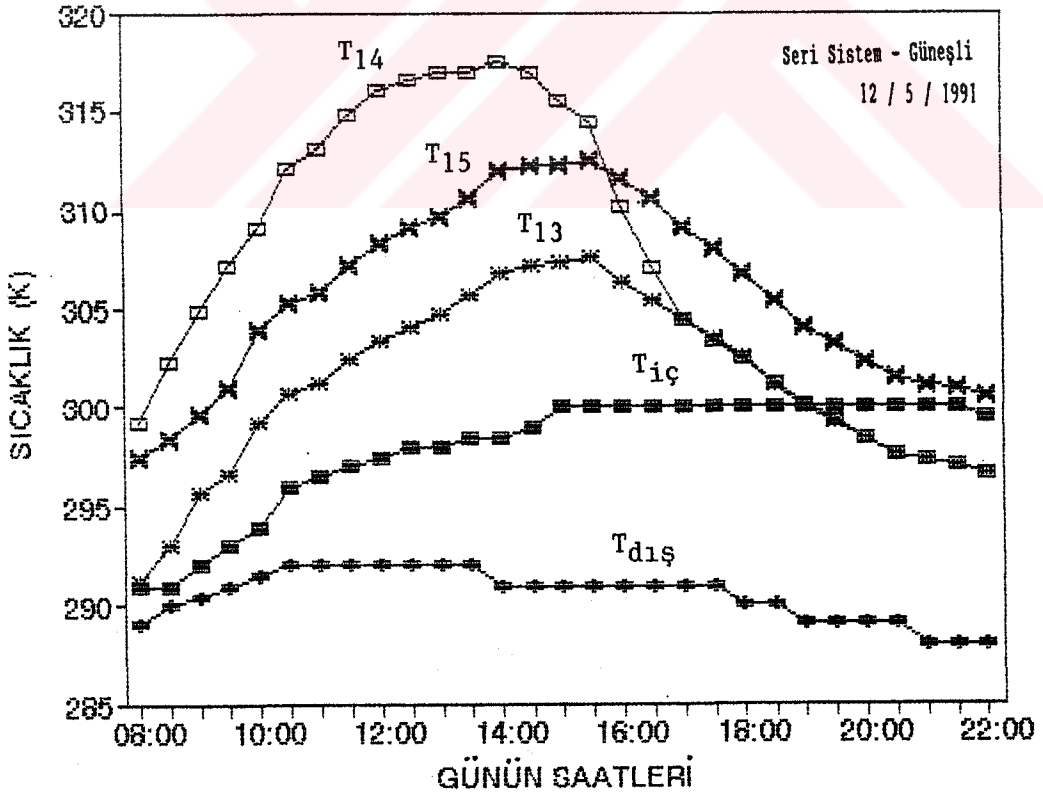
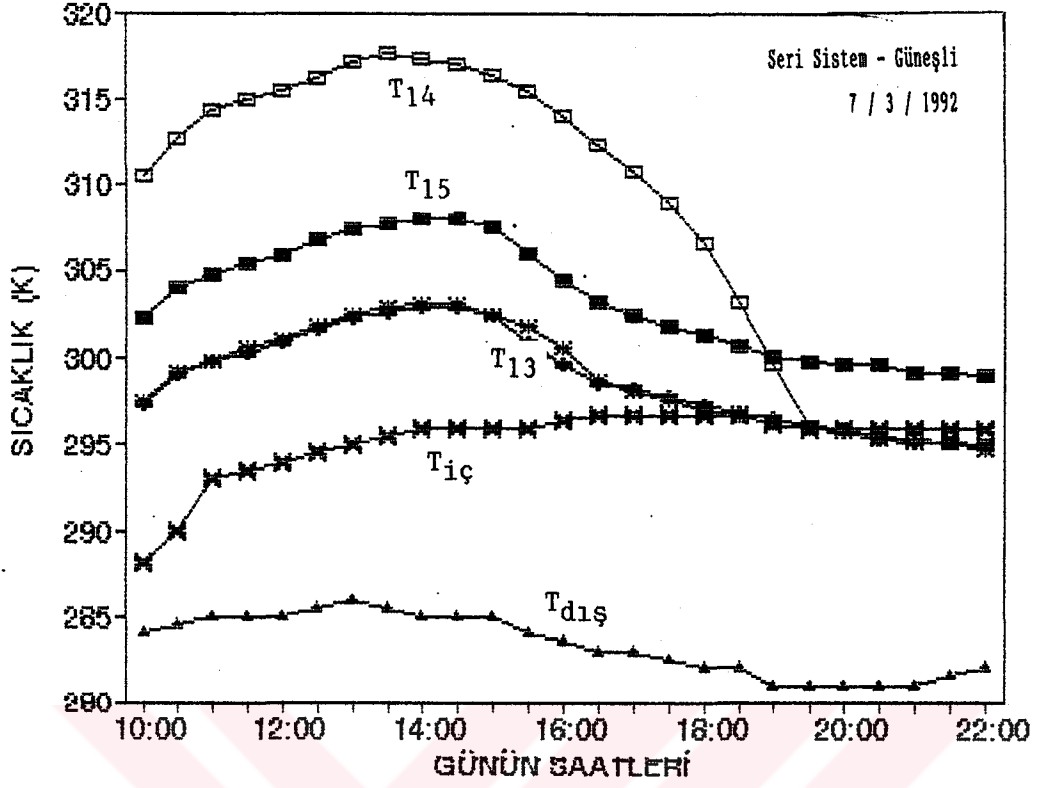
Şekil 3. Depodaki Kimyasal Maddenin Sıcaklık Değişimi (devam).



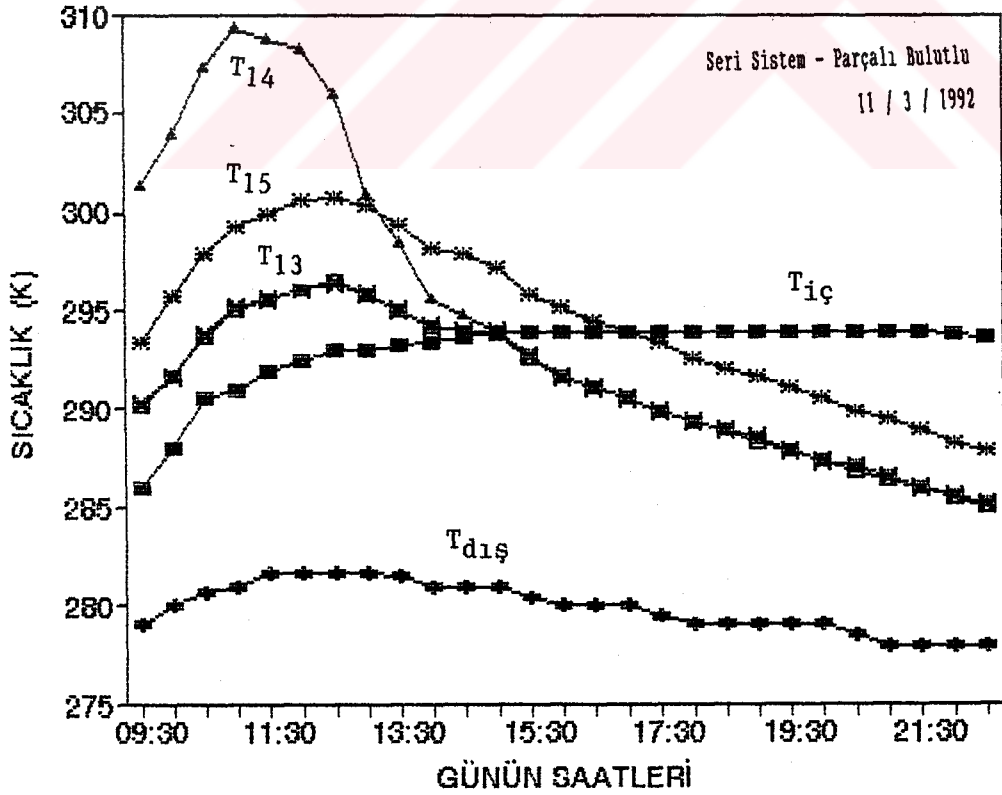
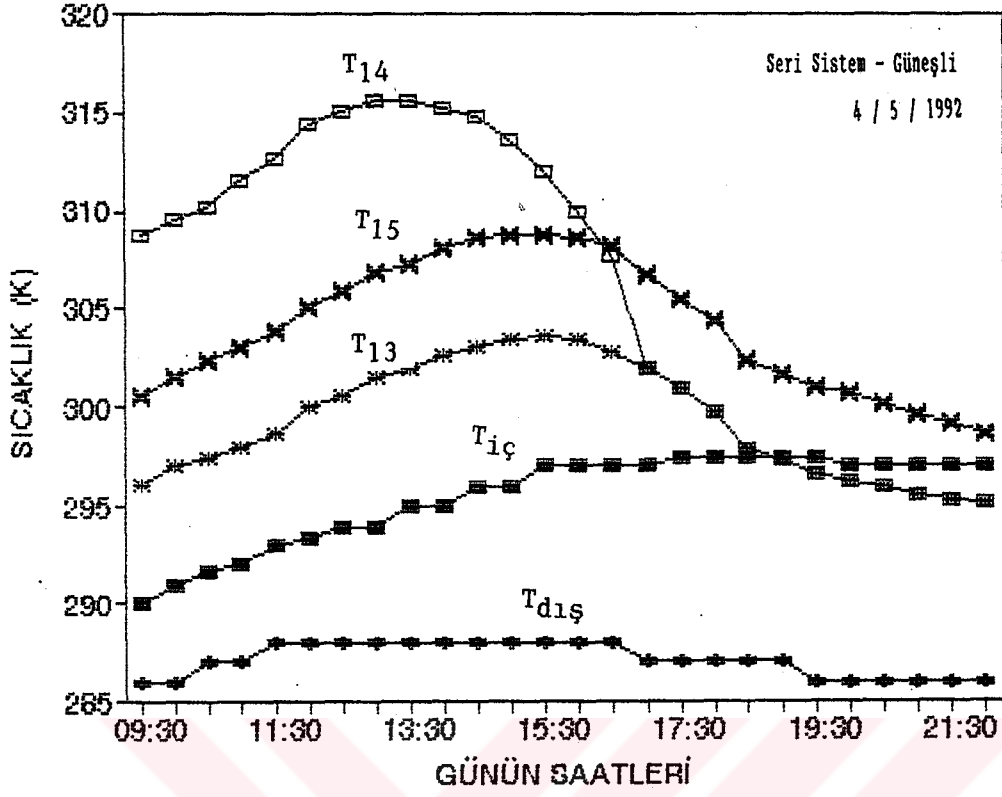
Şekil 3. Depodaki Kimyasal Maddenin Sıcaklık Değişimi (devam).



Şekil 4. Sıcaklık ( $T_{13}$ ,  $T_{14}$ ,  $T_{15}$ ,  $T_{iç}$ ,  $T_{dış}$ ) Değişimi.

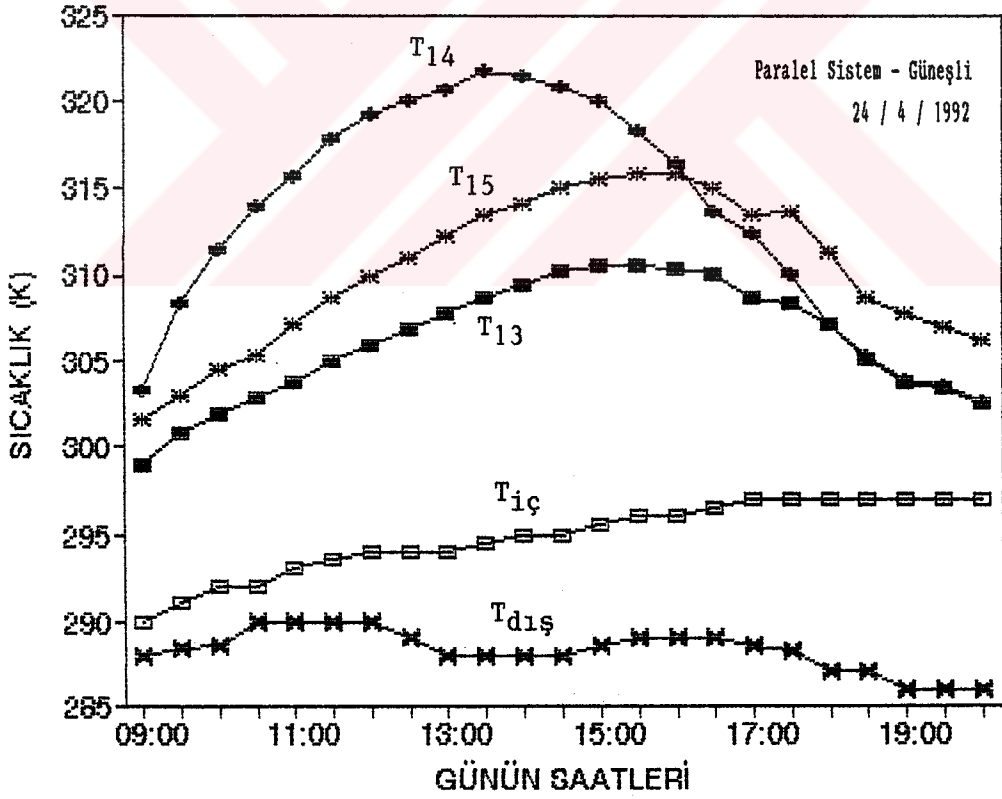
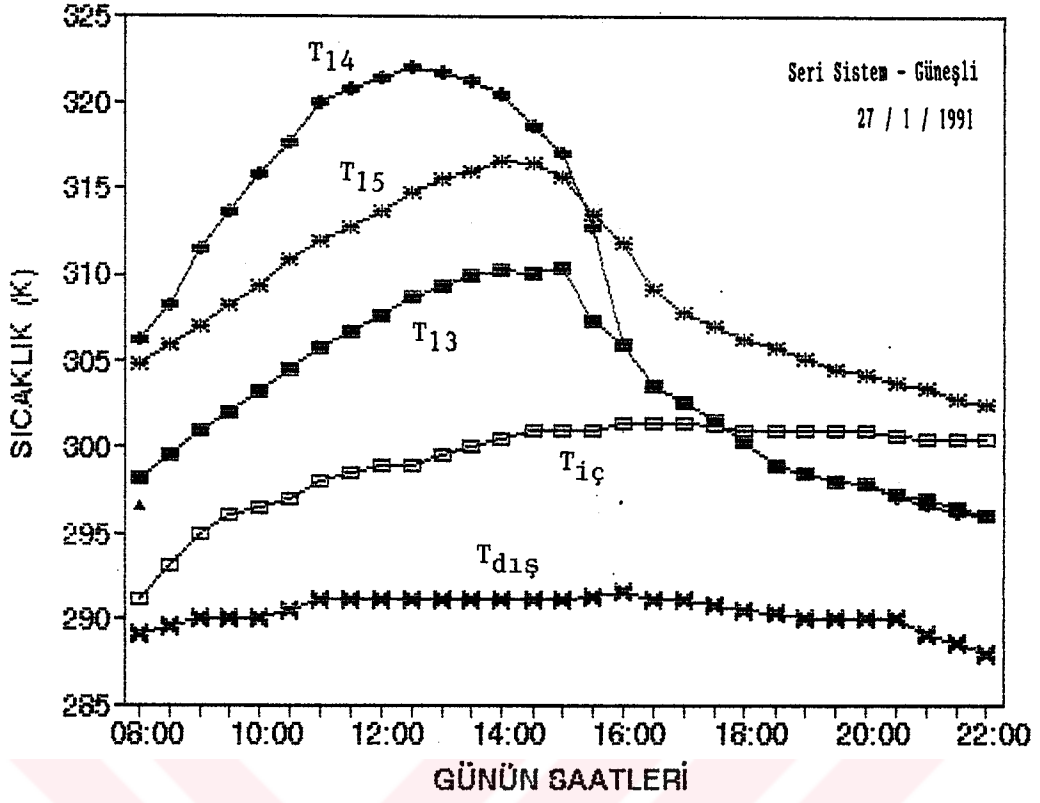


Şekil 4. Sıcaklık ( $T_{13}$ ,  $T_{14}$ ,  $T_{15}$ ,  $T_{iç}$ ,  $T_{dış}$ ) Değişimi (devam).

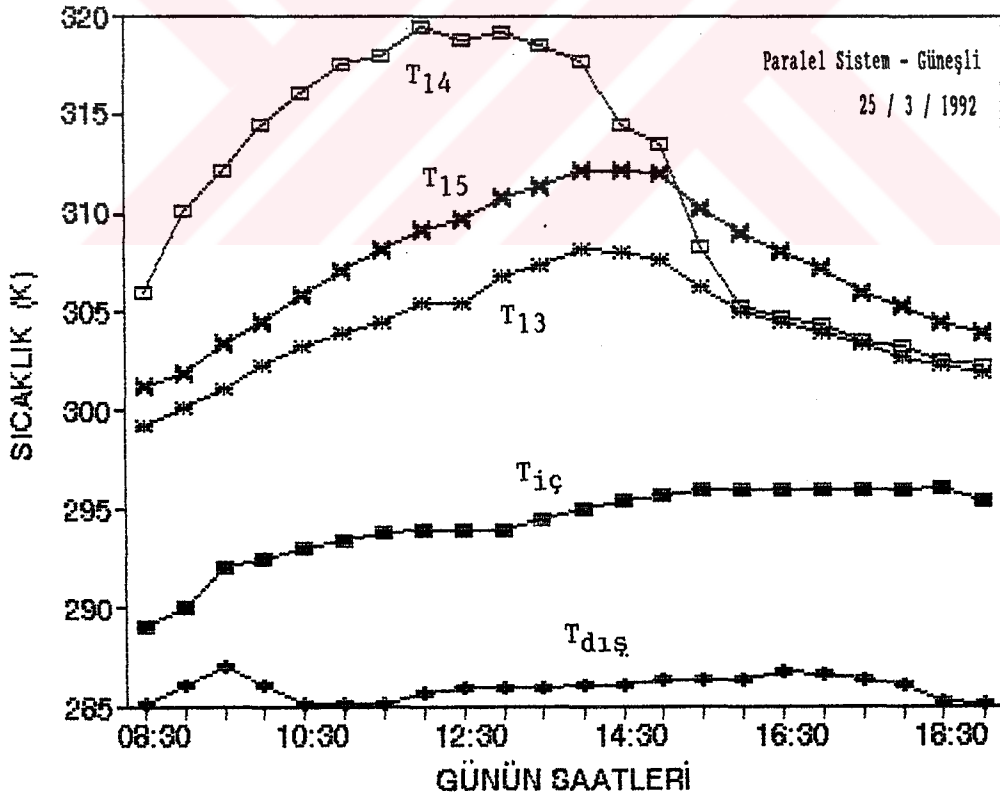
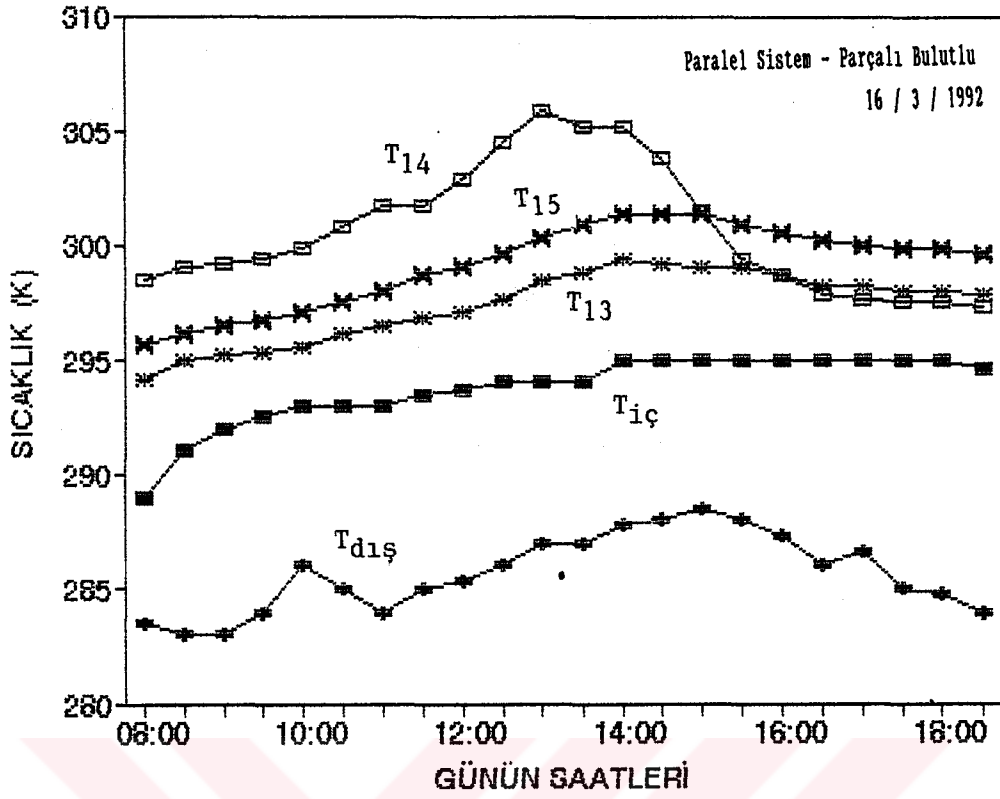


Şekil 4. Sıcaklık ( $T_{13}, T_{14}, T_{15}, T_{iç}, T_{dış}$ ) Değişimi (devam).

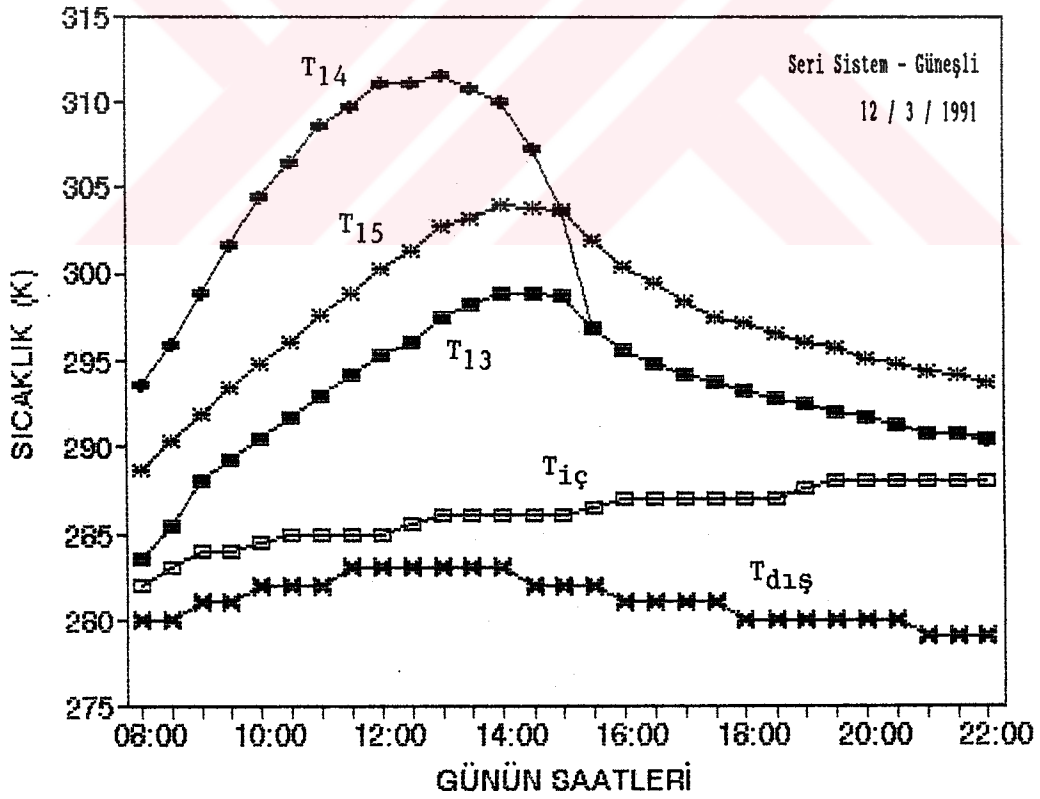
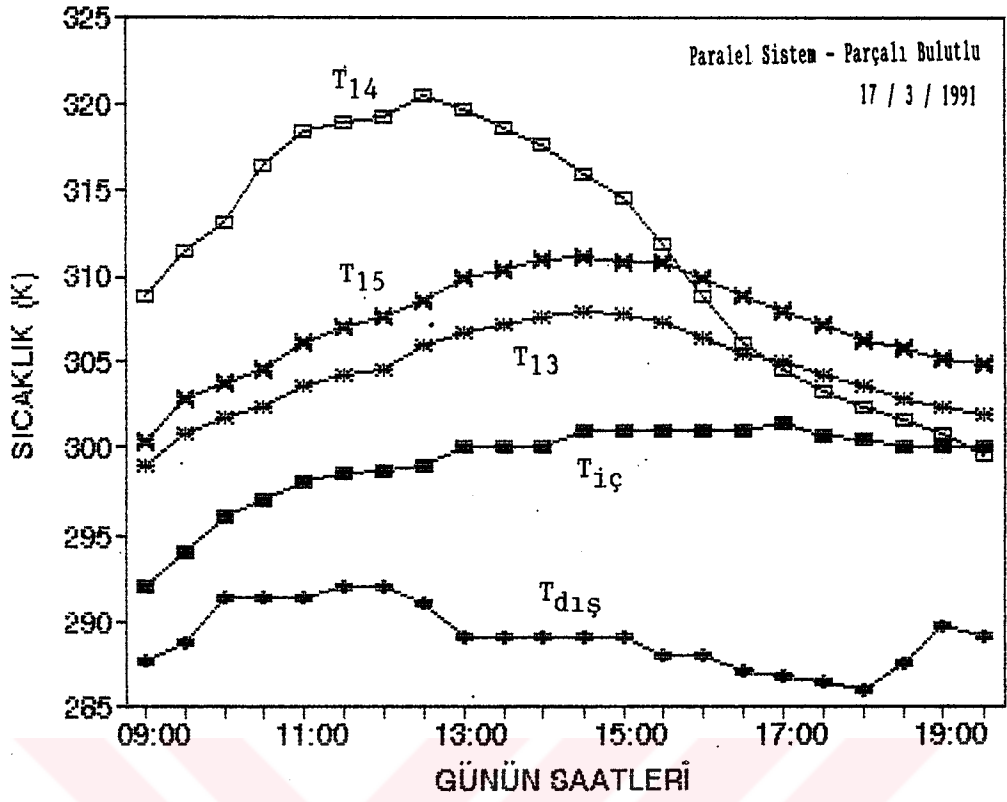




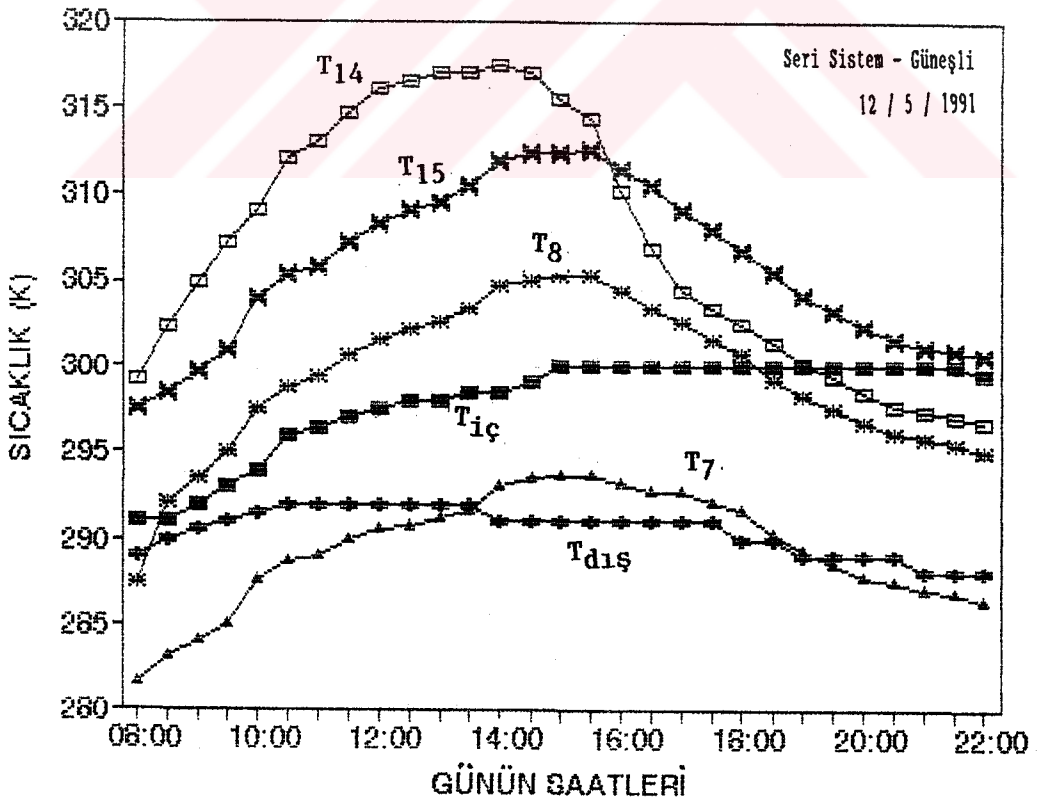
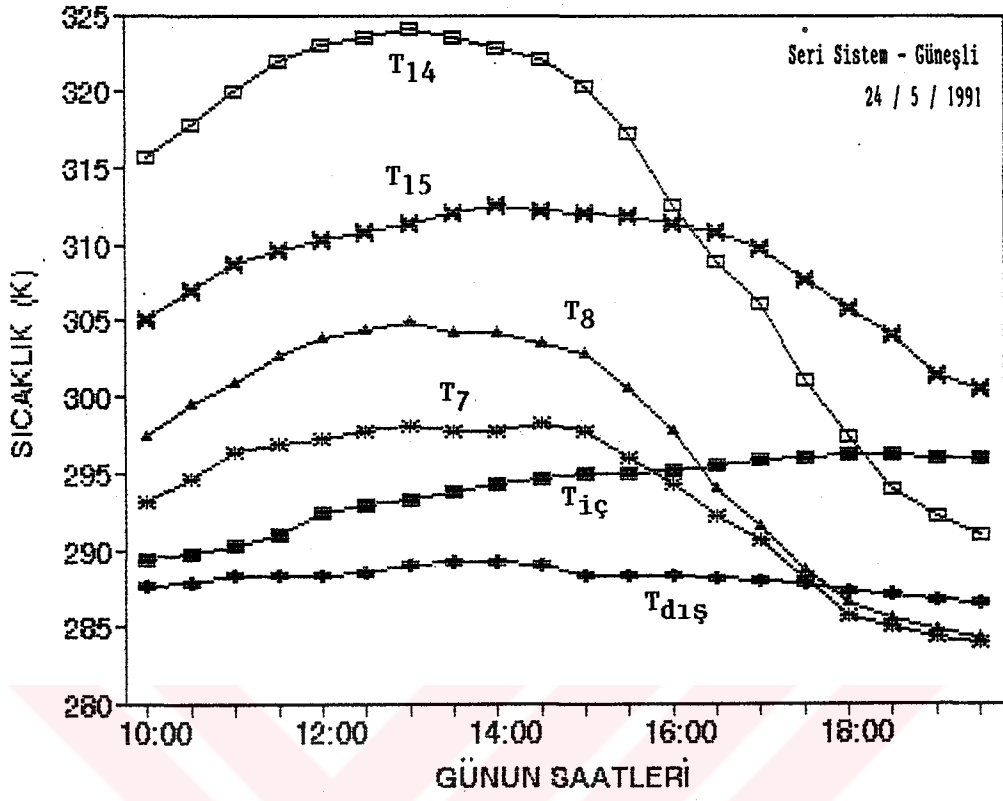
Şekil 4. Sıcaklık ( $T_{13}, T_{14}, T_{15}, T_{iç}, T_{dış}$ ) Değişimi (devam).



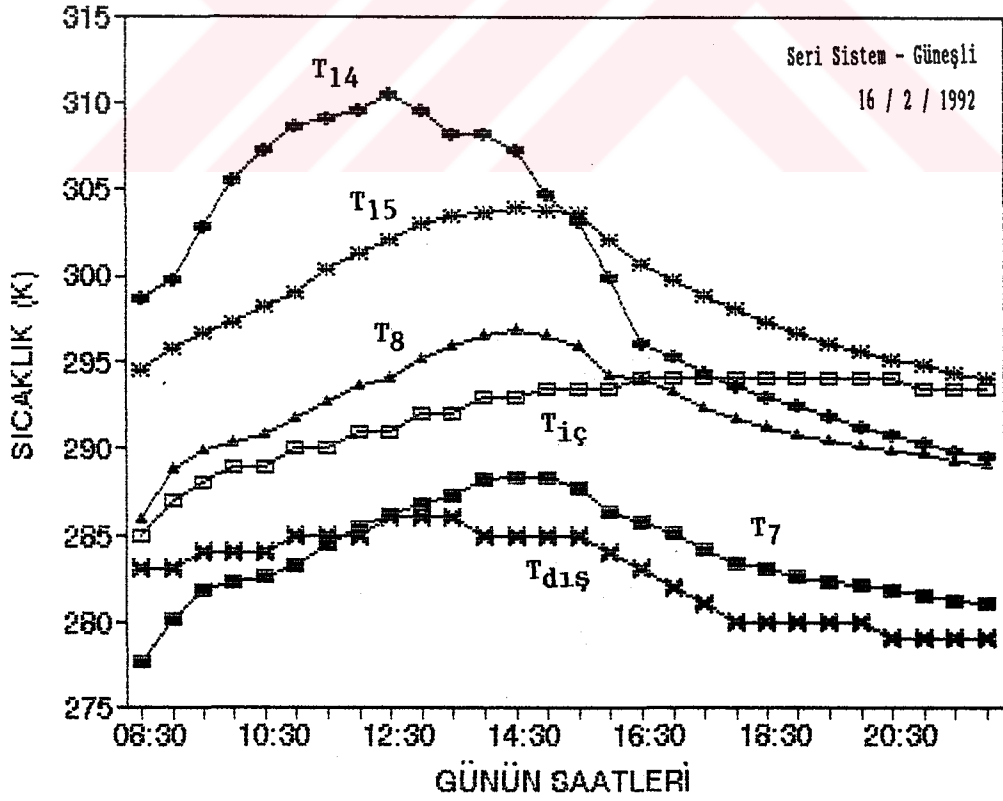
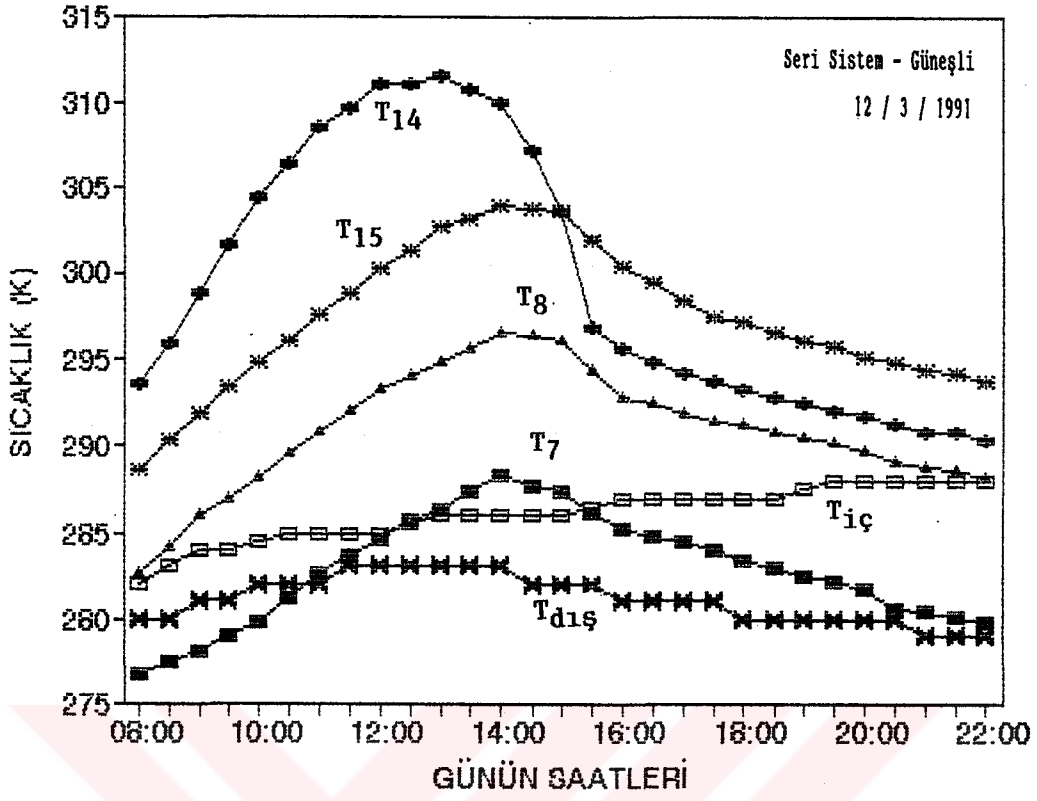
Şekil 4. Sıcaklık ( $T_{13}$ ,  $T_{14}$ ,  $T_{15}$ ,  $T_{iç}$ ,  $T_{dış}$ ) Değişimi (devam).



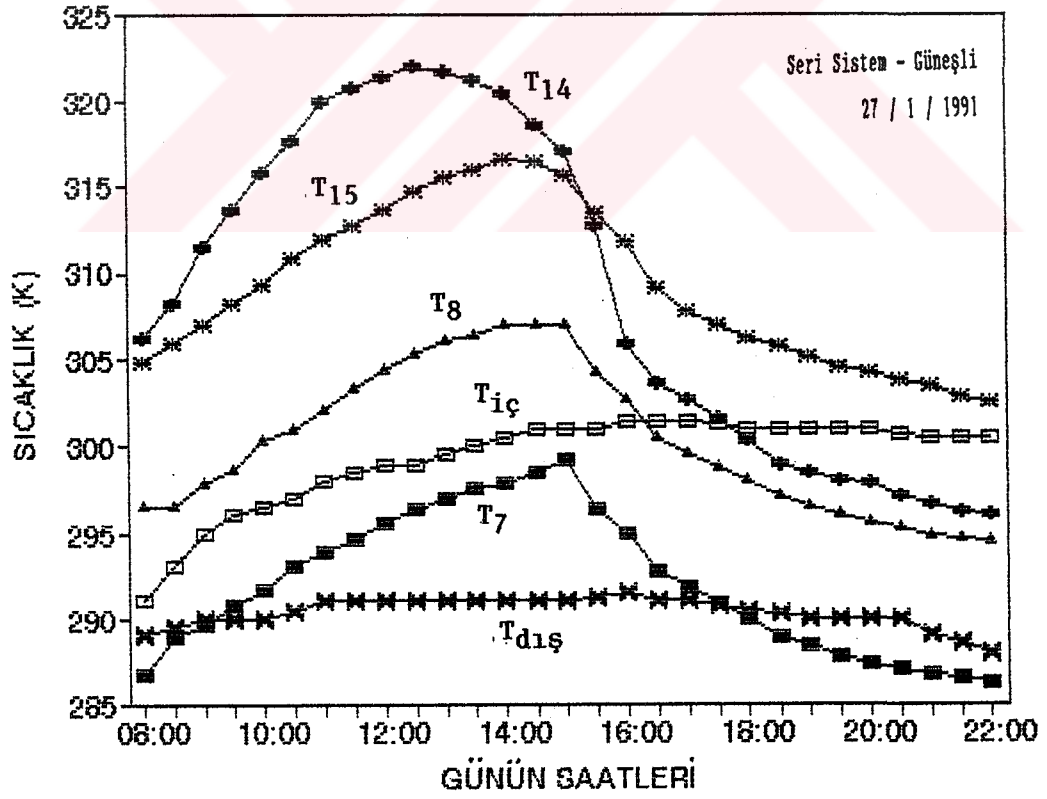
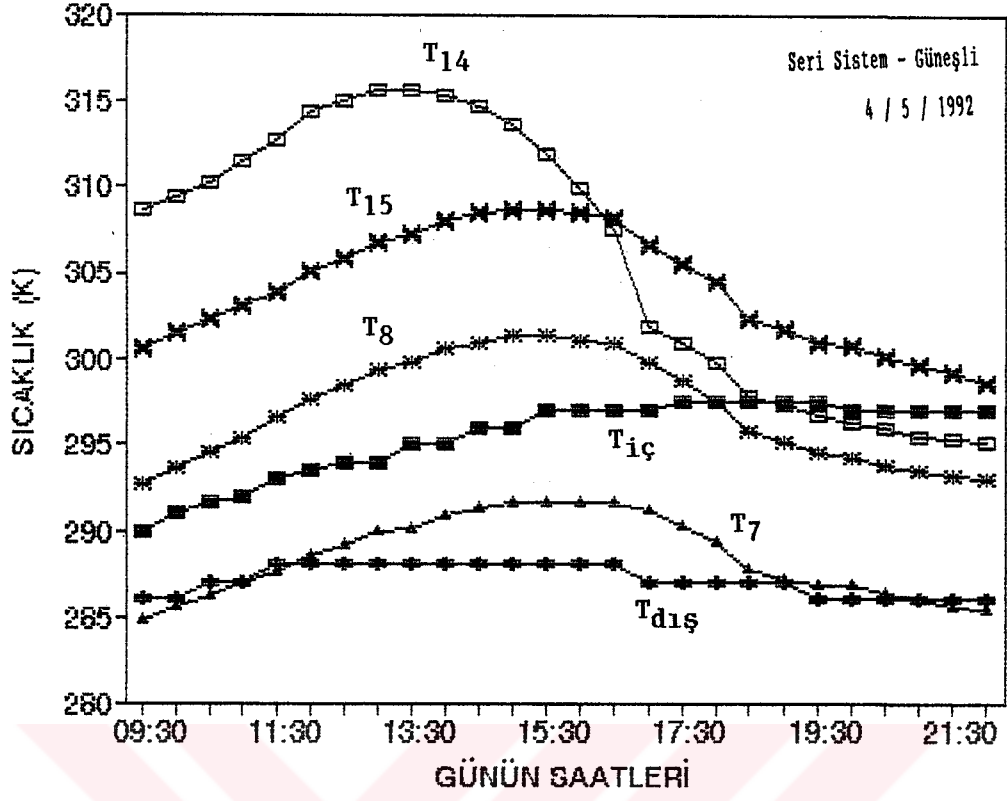
Şekil 4. Sıcaklık ( $T_{13}$ ,  $T_{14}$ ,  $T_{15}$ ,  $T_{iç}$ ,  $T_{dış}$ ) Değişimi (devam).



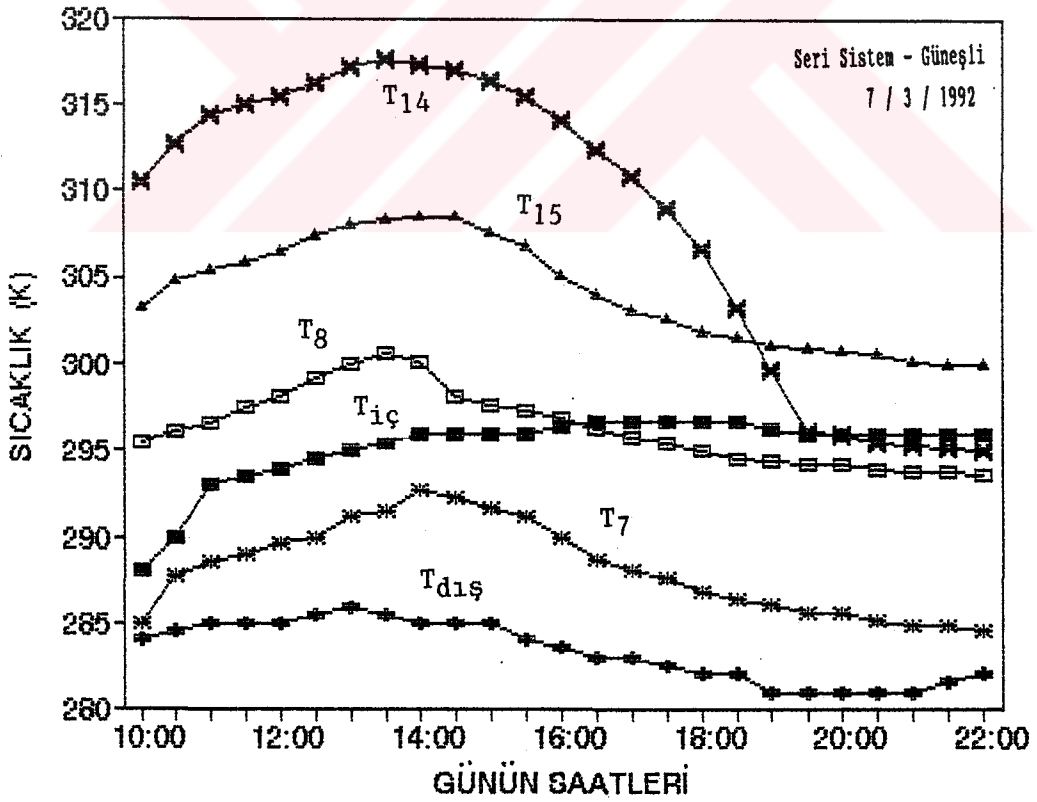
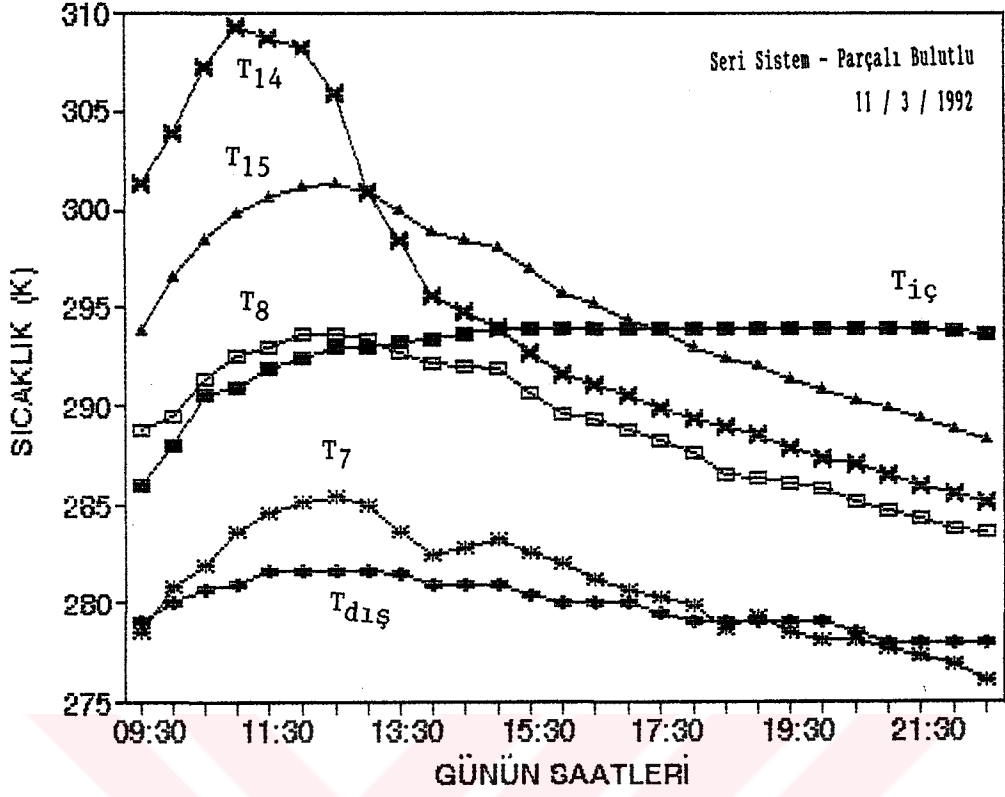
Şekil 5. Sıcaklık ( $T_7, T_8, T_{14}, T_{15}, T_{iç}, T_{dış}$ ) Değişimi.



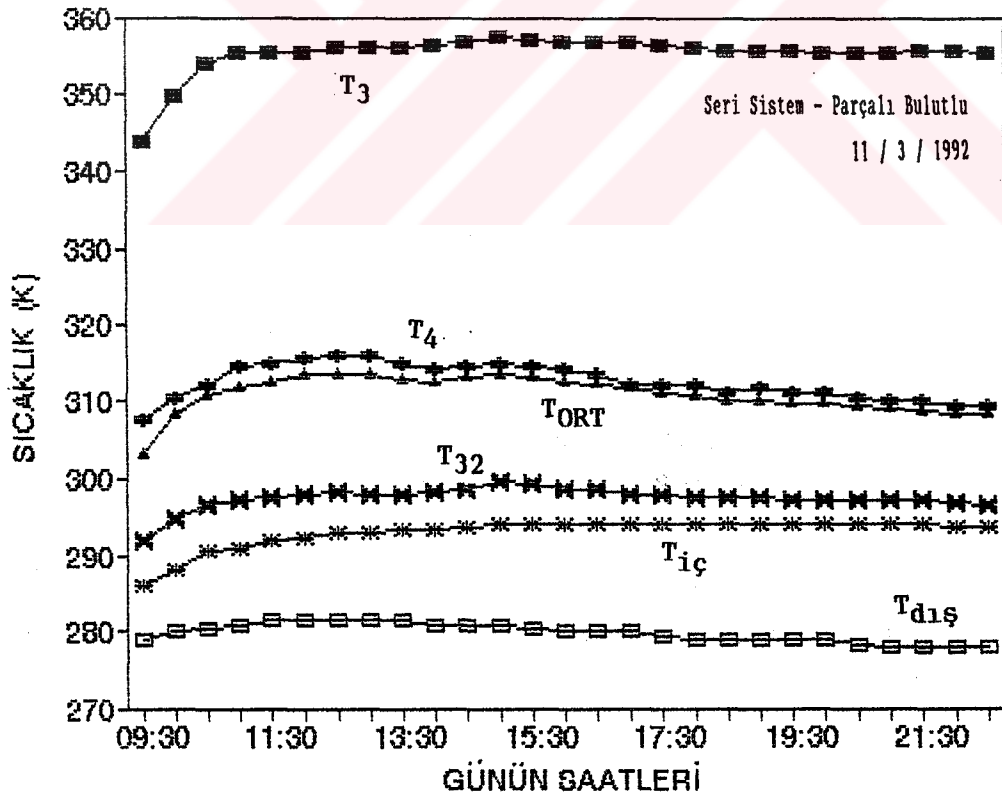
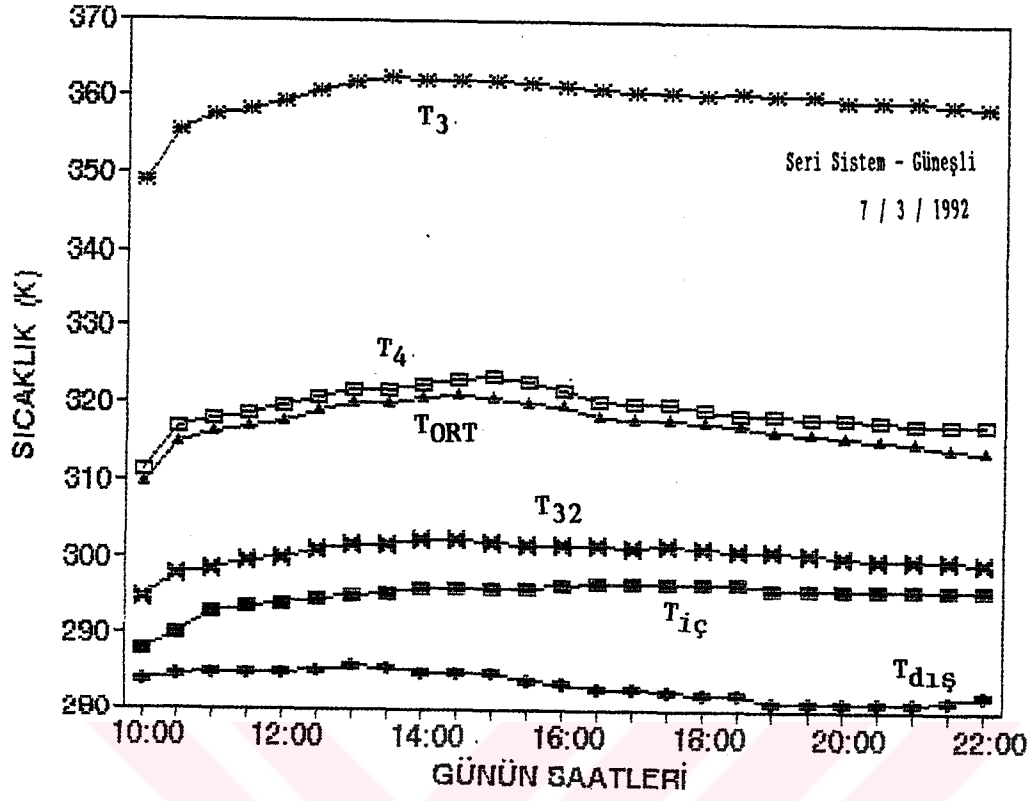
Şekil 5. Sıcaklık ( $T_7, T_8, T_{14}, T_{15}, T_{iç}, T_{dış}$ ) Değişimi (devam).



Şekil 5. Sıcaklık ( $T_7, T_8, T_{14}, T_{15}, T_{1ç}, T_{dış}$ ) Değişimi (devam).

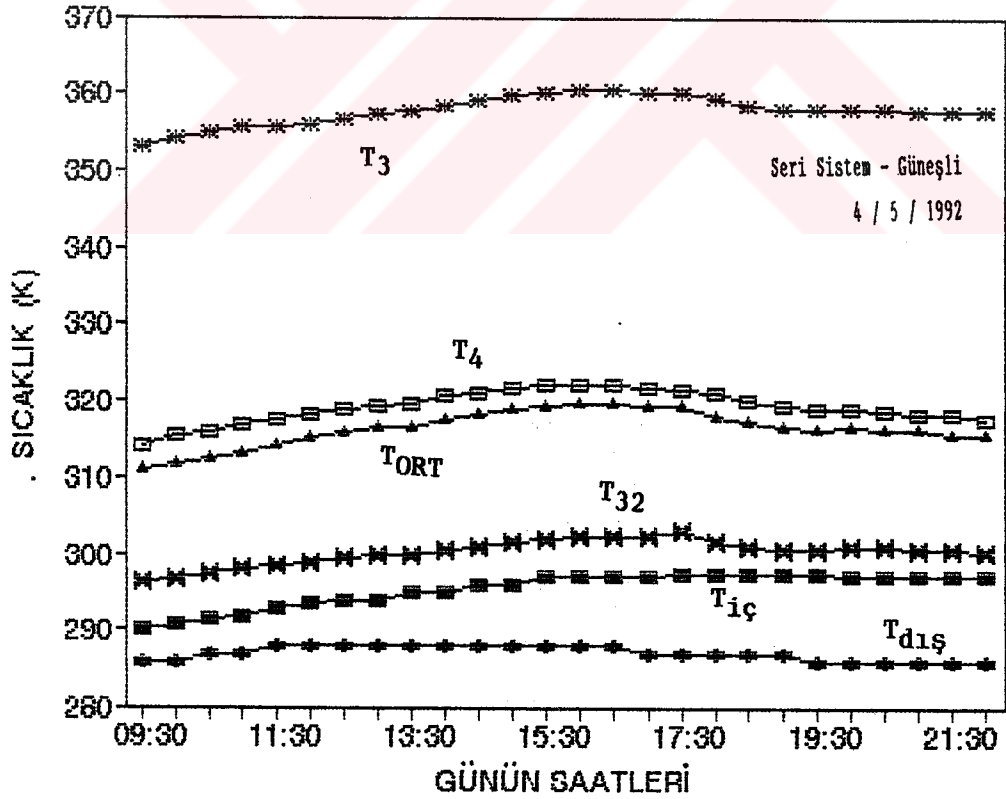
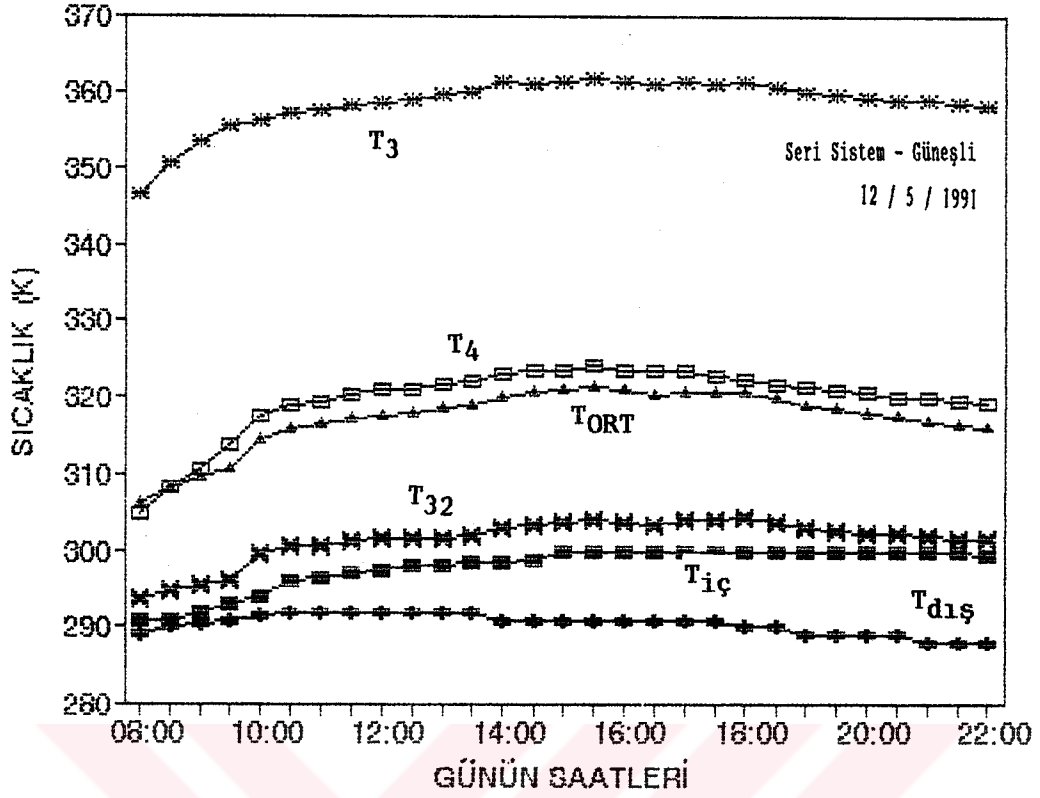


Şekil 5. Sıcaklık ( $T_7, T_8, T_{14}, T_{15}, T_{iç}, T_{dış}$ ) Değişimi (devam).

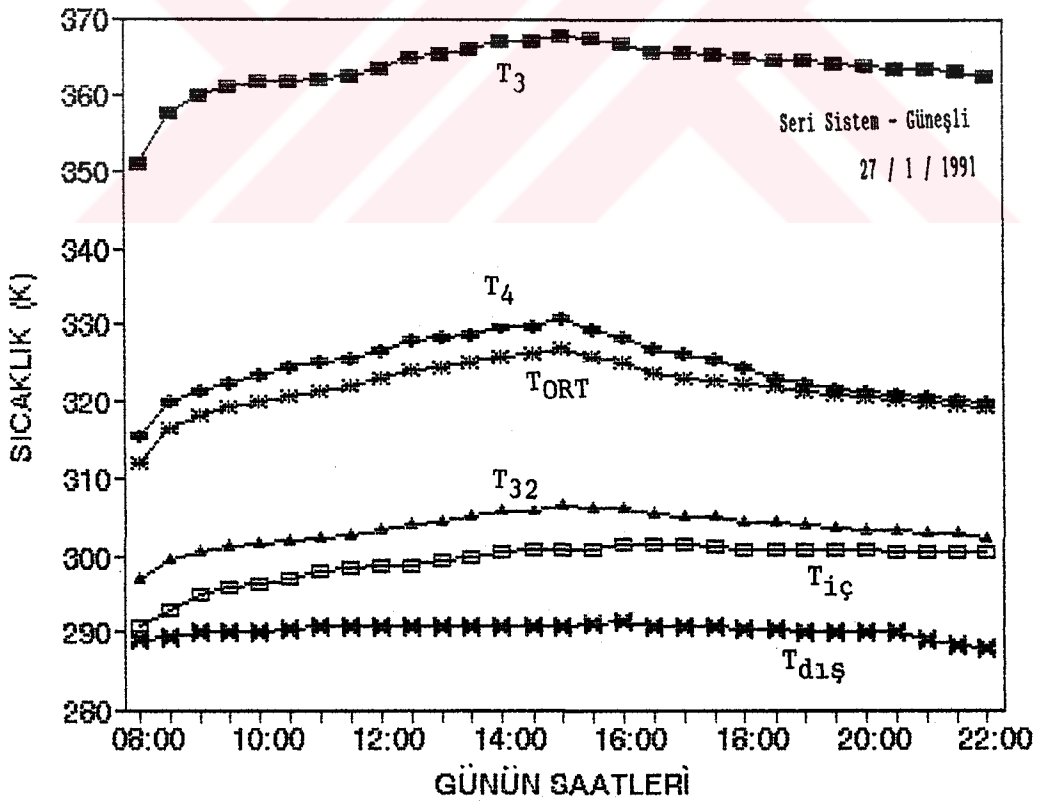
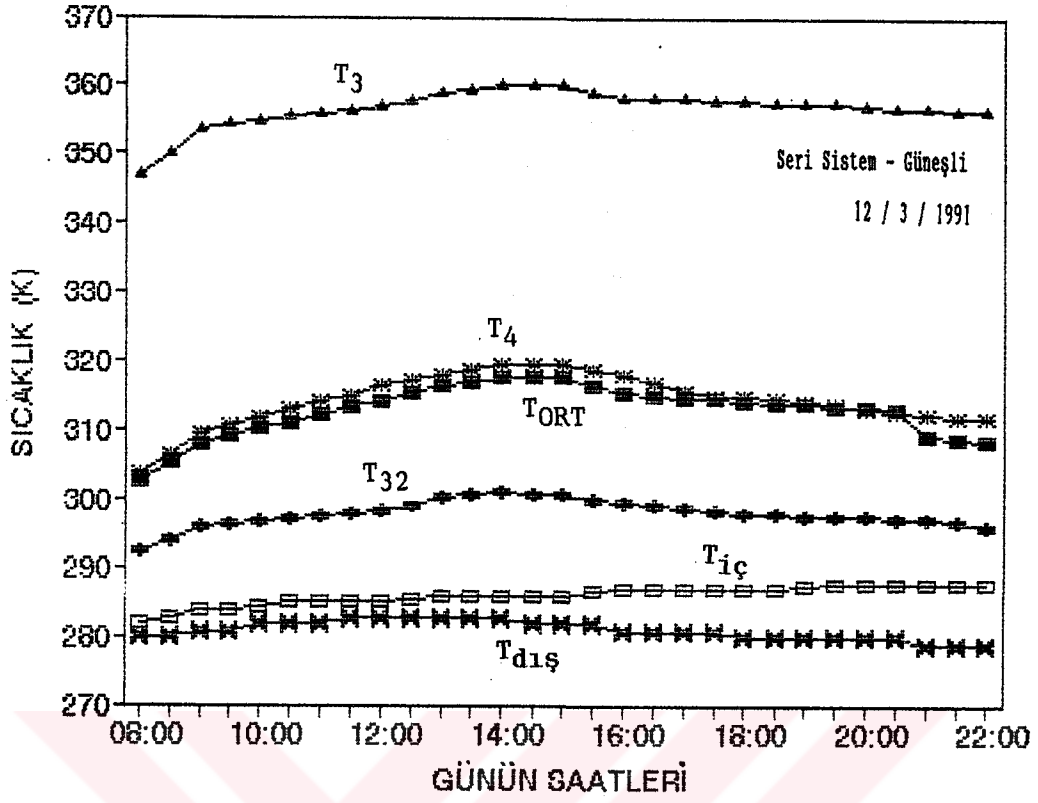


Şekil 6. Sıcaklık ( $T_3, T_4, T_{32}, T_{ORT}, T_{iç}, T_{dış}$ ) Değişimi.

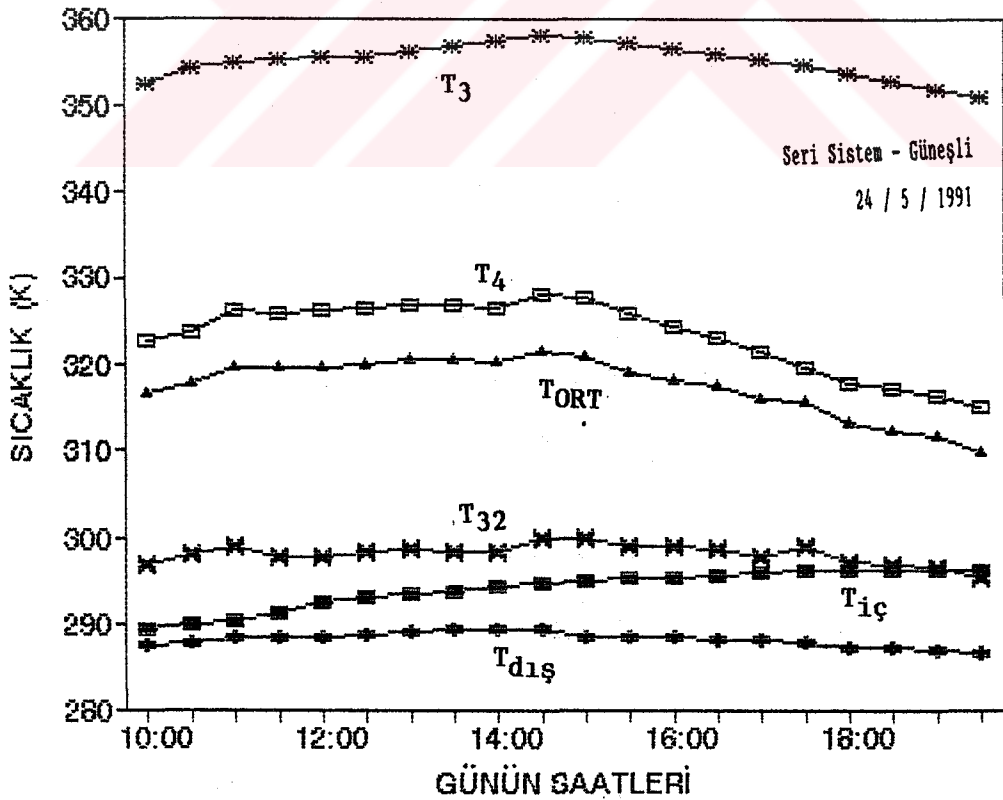
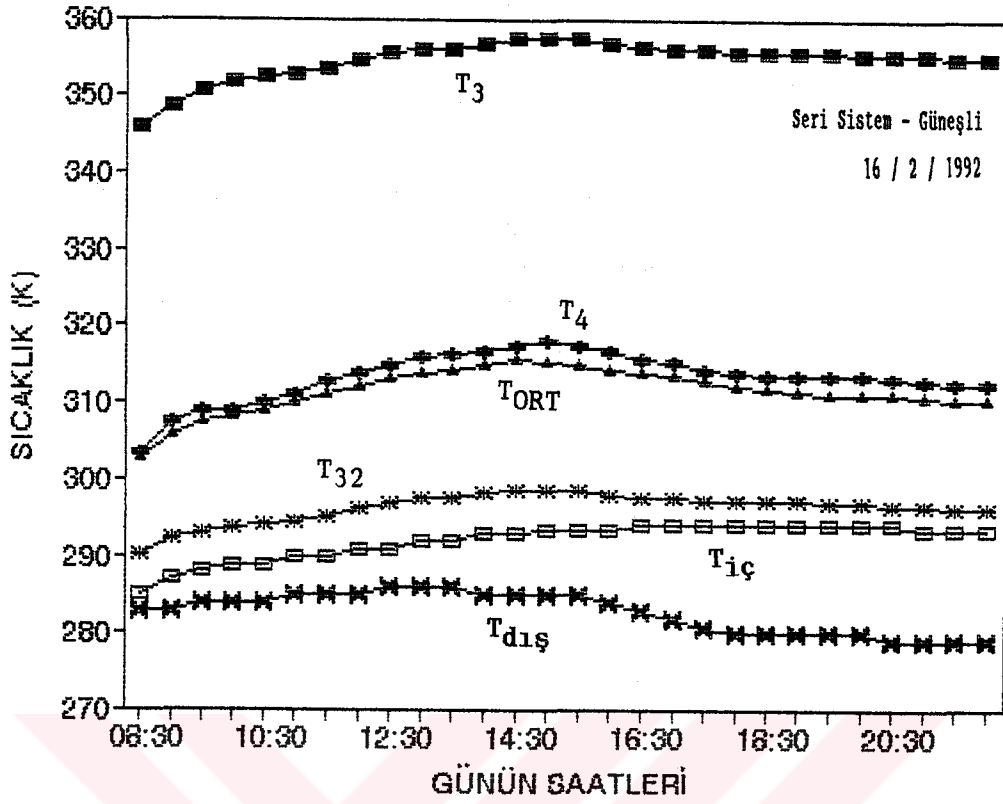




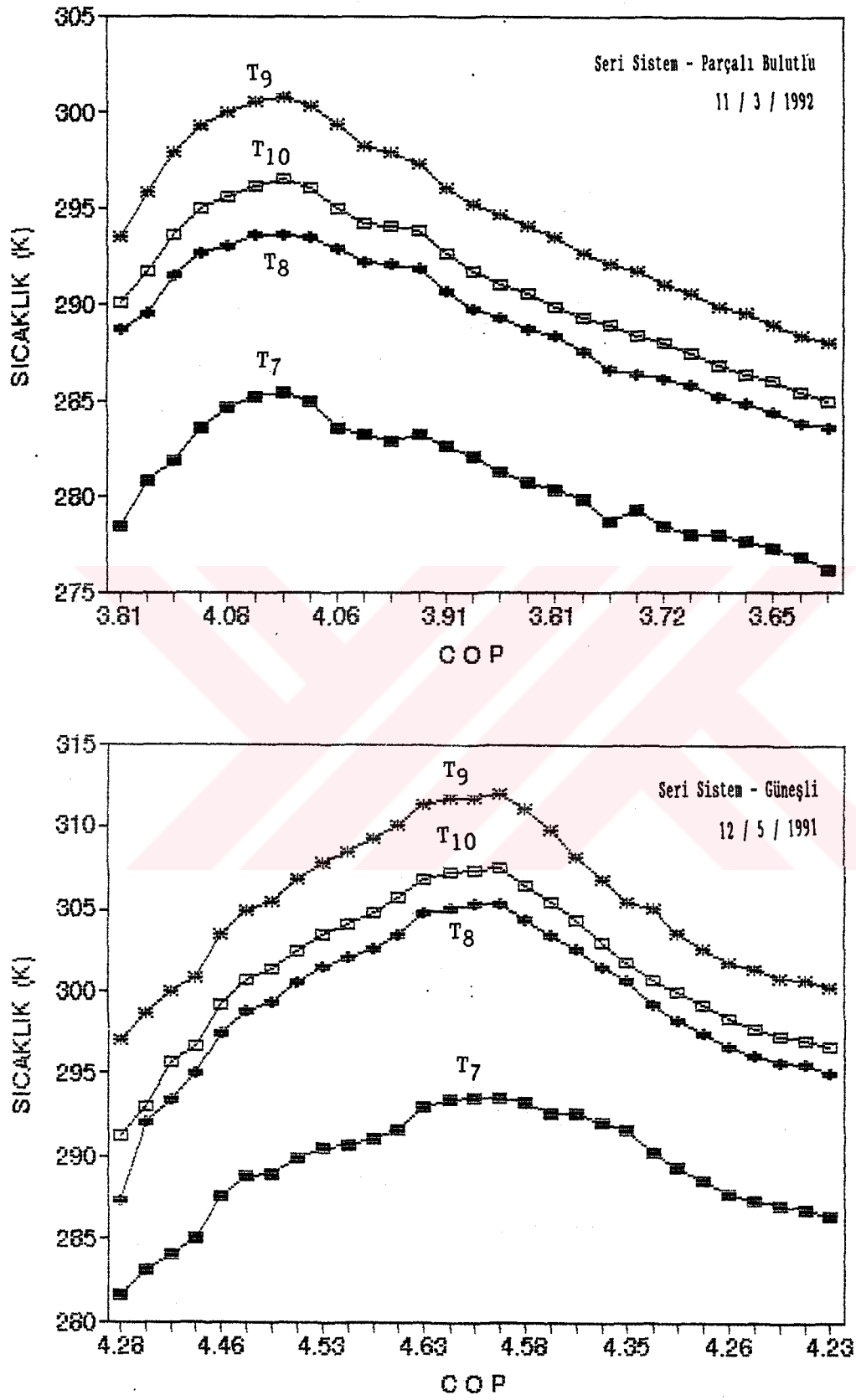
Şekil 6. Sıcaklık ( $T_3, T_4, T_{32}, T_{ORT}, T_{iç}, T_{dış}$ ) Değişimi (devam).



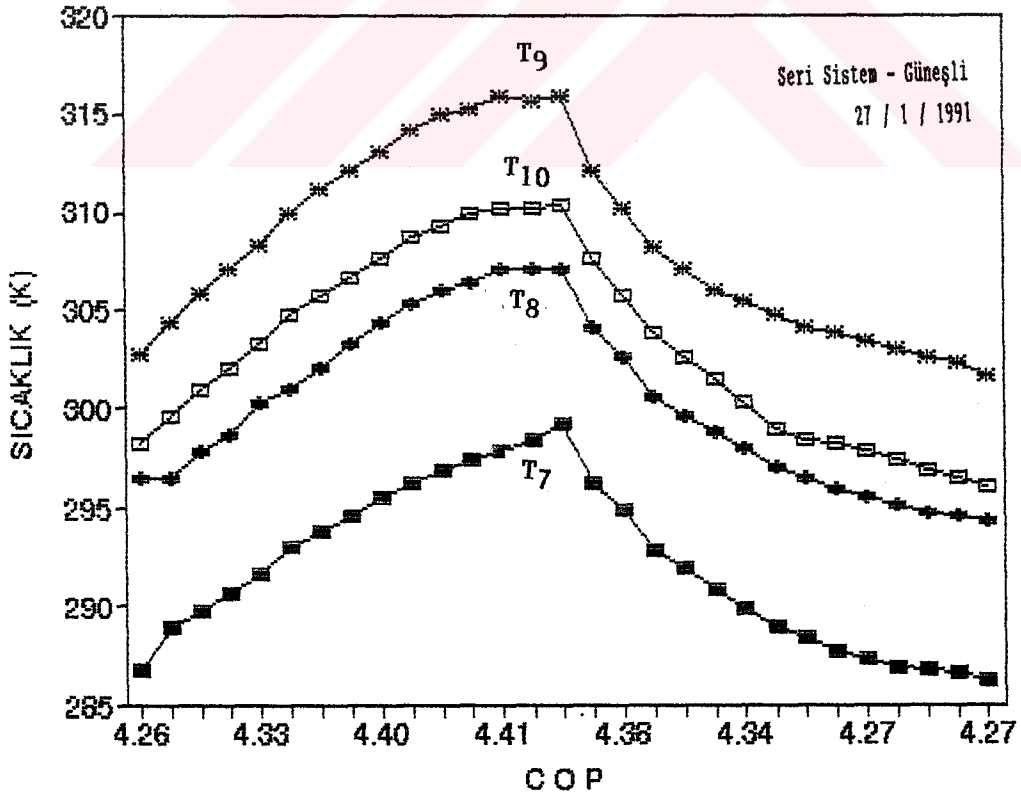
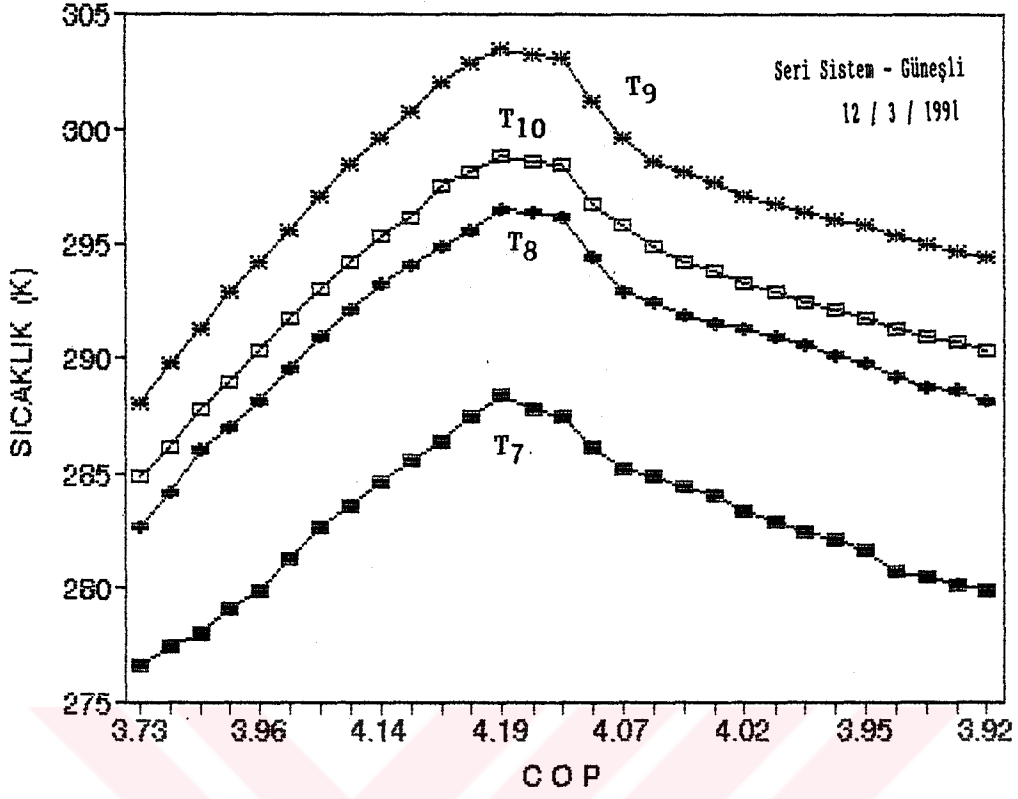
Şekil 6. Sıcaklık ( $T_3, T_4, T_{32}, T_{ORT}, T_{iç}, T_{dış}$ ) Değişimi (devam).



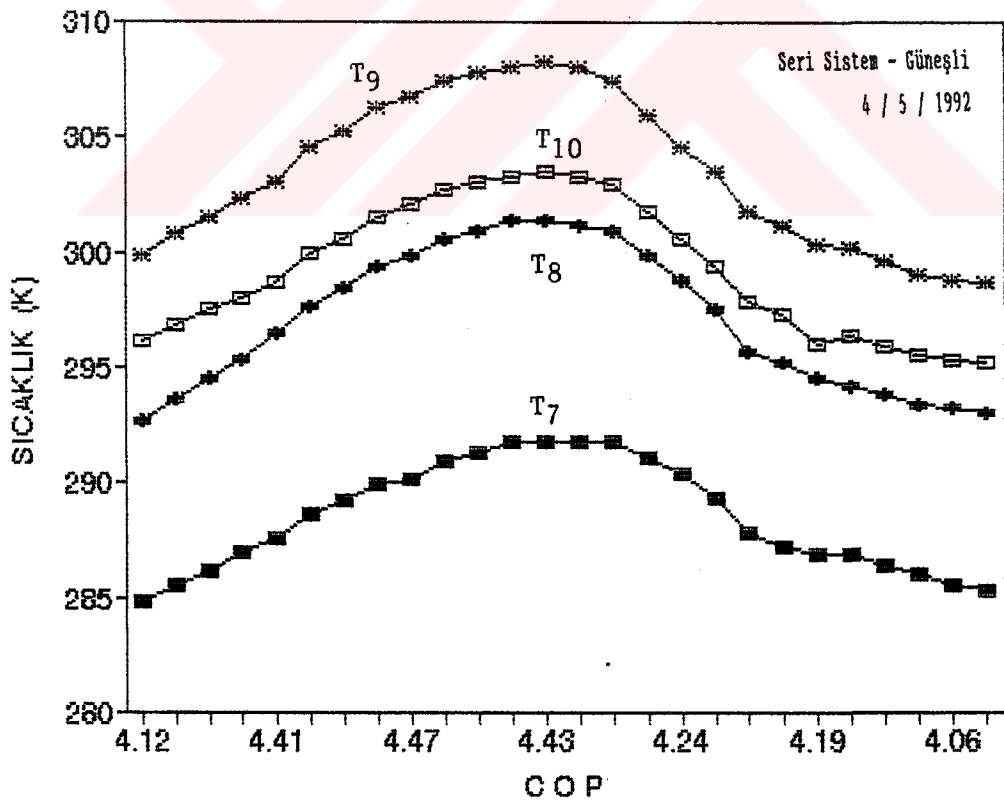
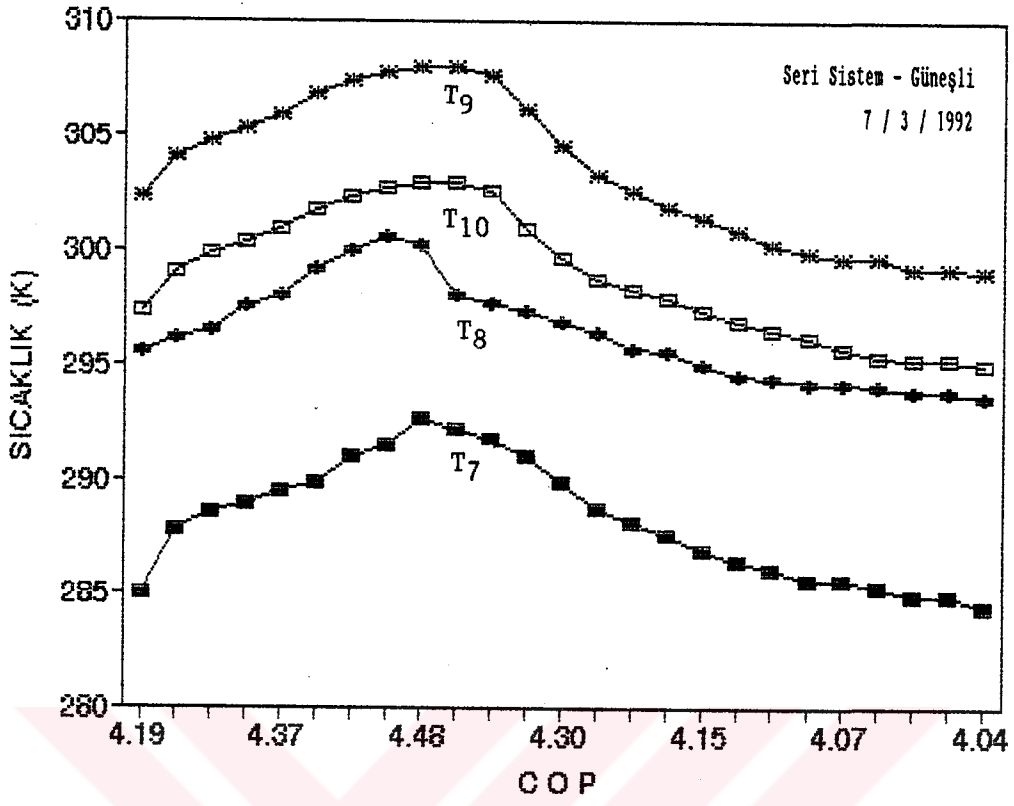
Şekil 6. Sıcaklık ( $T_3, T_4, T_{32}, T_{ORT}, T_{iç}, T_{dış}$ ) Değişimi (devam).



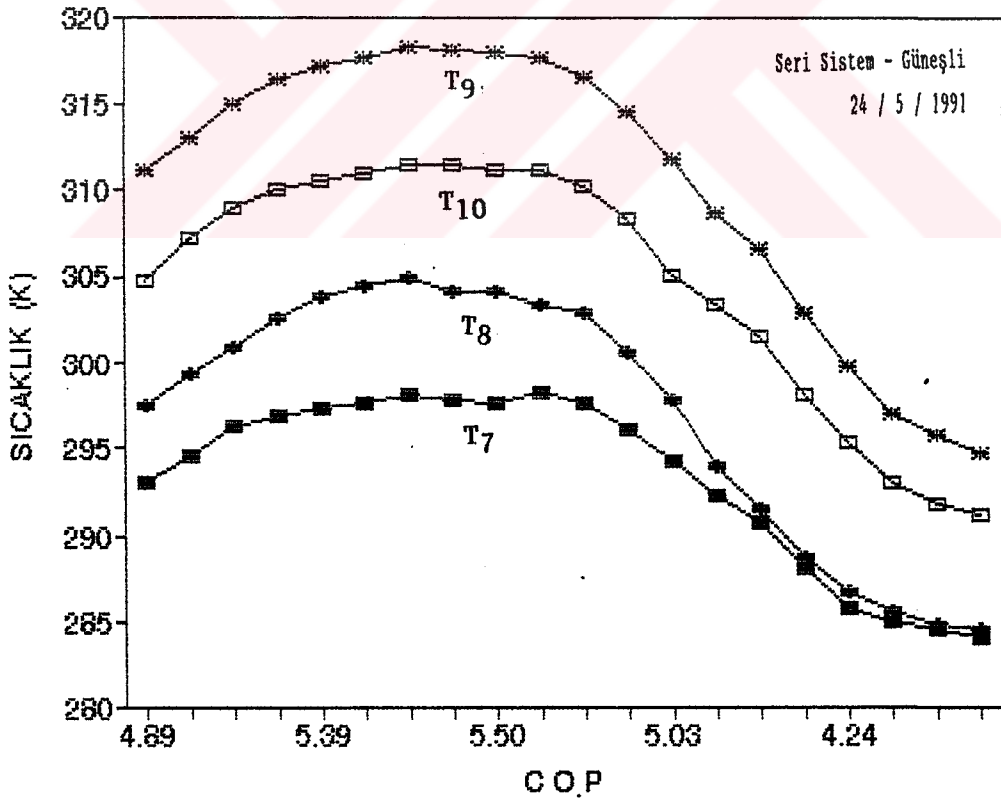
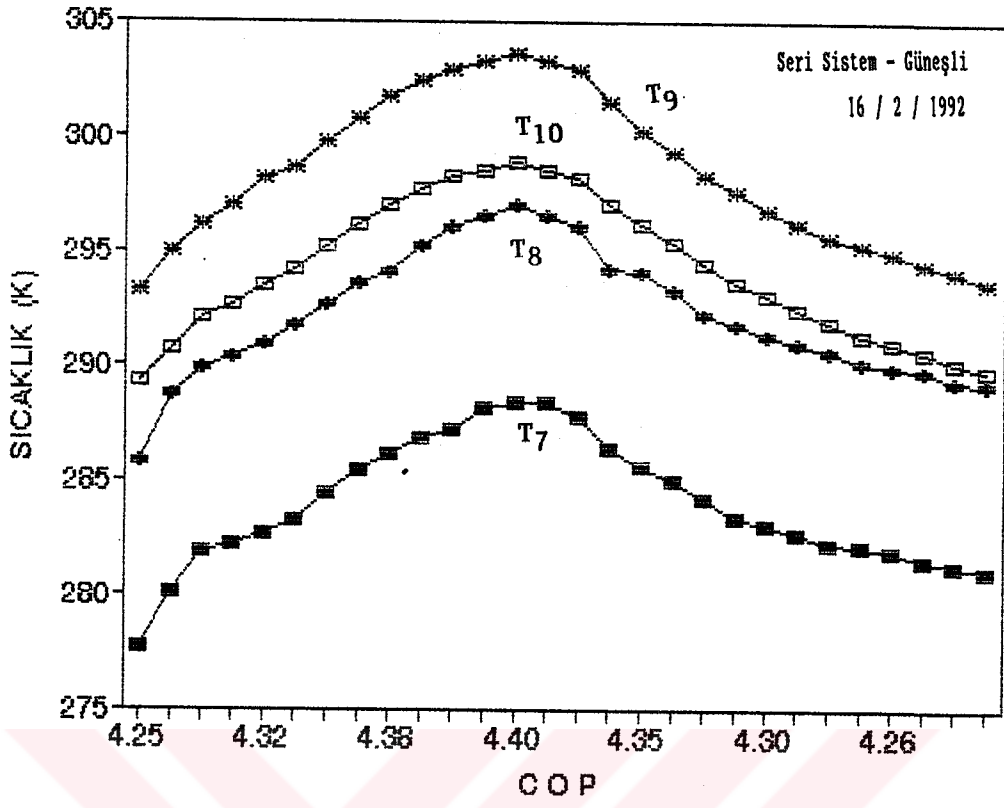
Şekil 7. Sıcaklığın ( $T_7, T_8, T_9, T_{10}$ ) COP ile Değişimi.



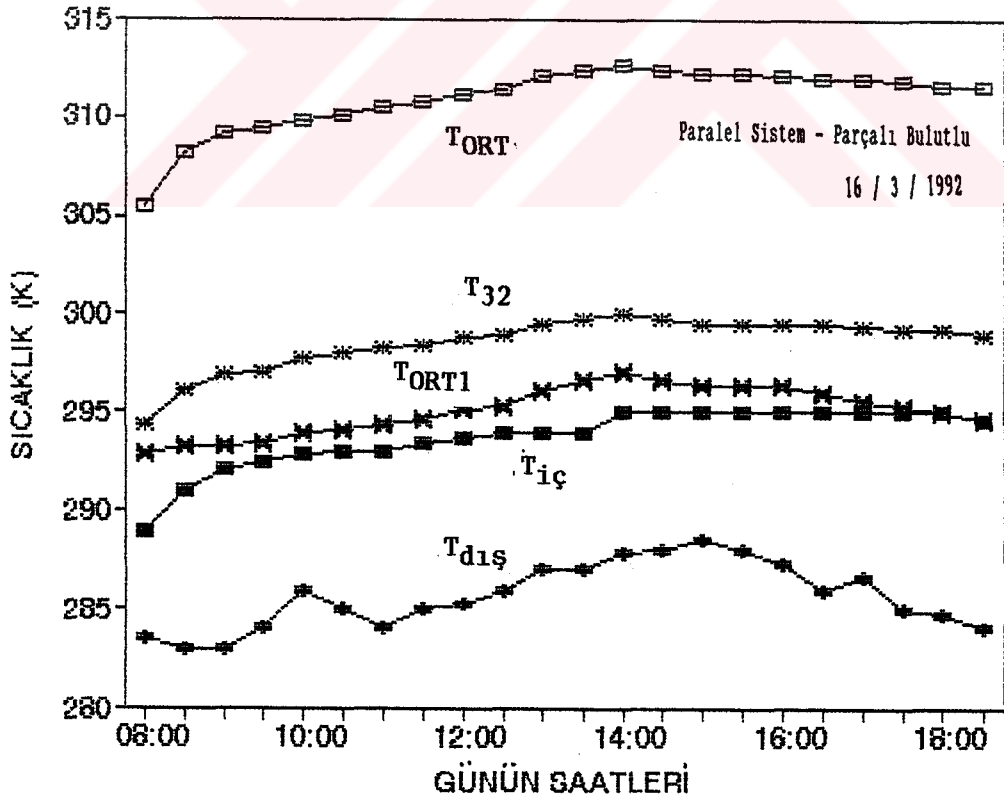
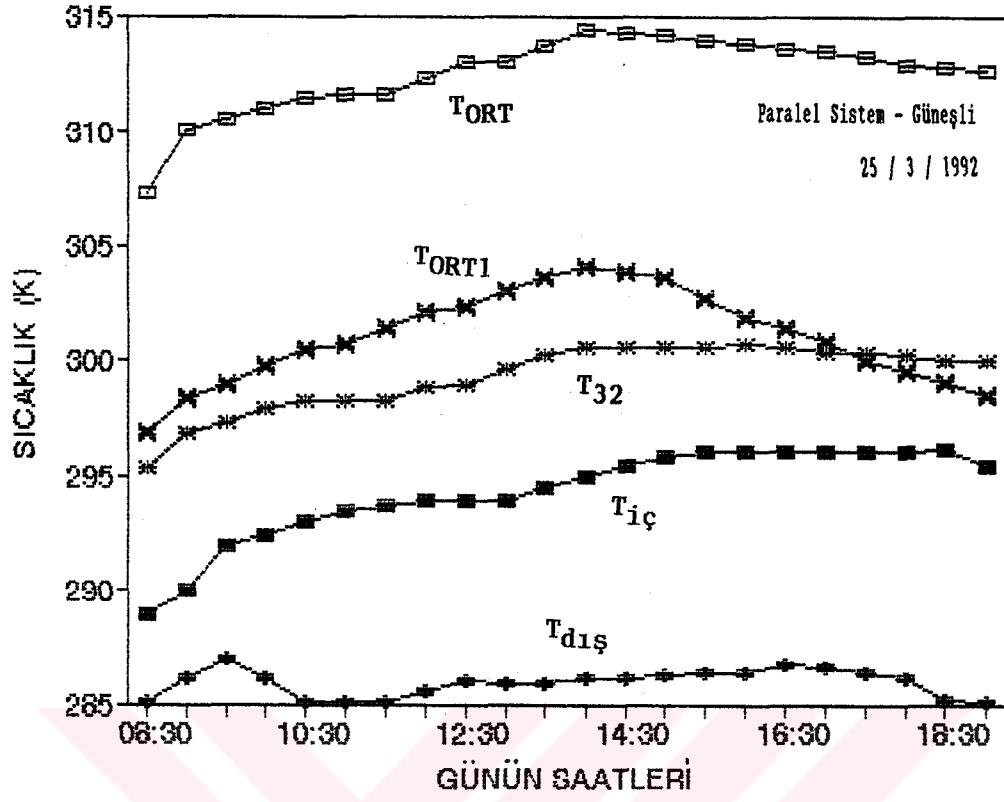
Şekil 7. Sıcaklığın ( $T_7, T_8, T_9, T_{10}$ ) COP ile Değişimi (devam).



Şekil 7. Sıcaklığın ( $T_7, T_8, T_9, T_{10}$ ) COP ile Değişimi (devam).

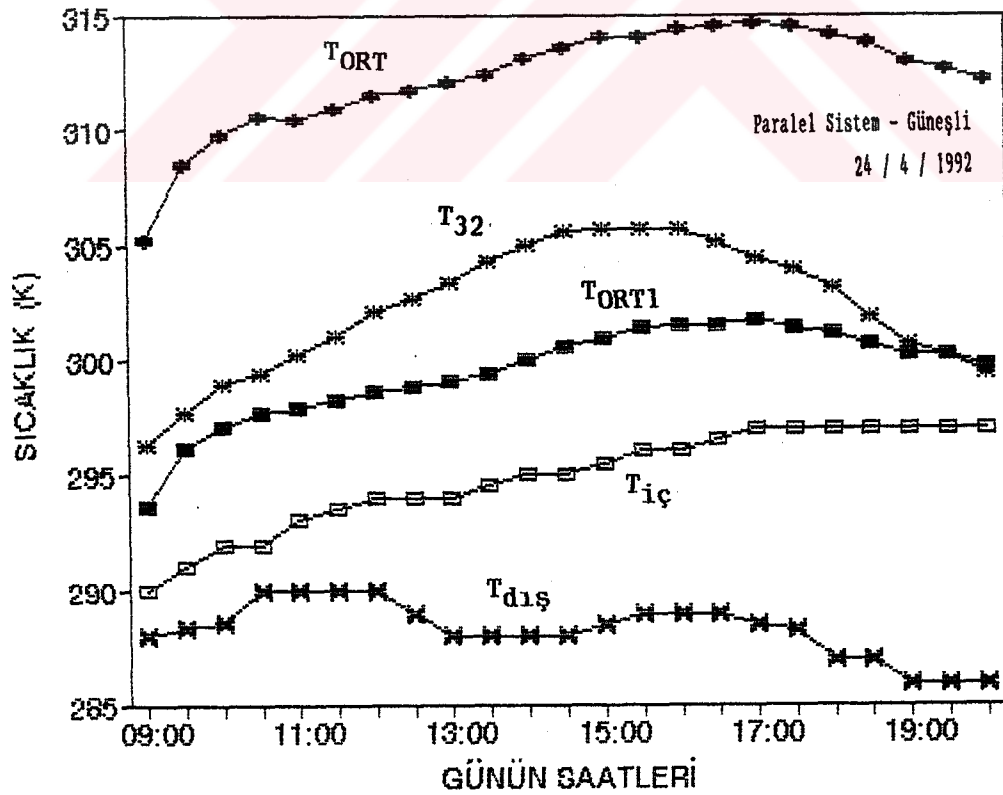
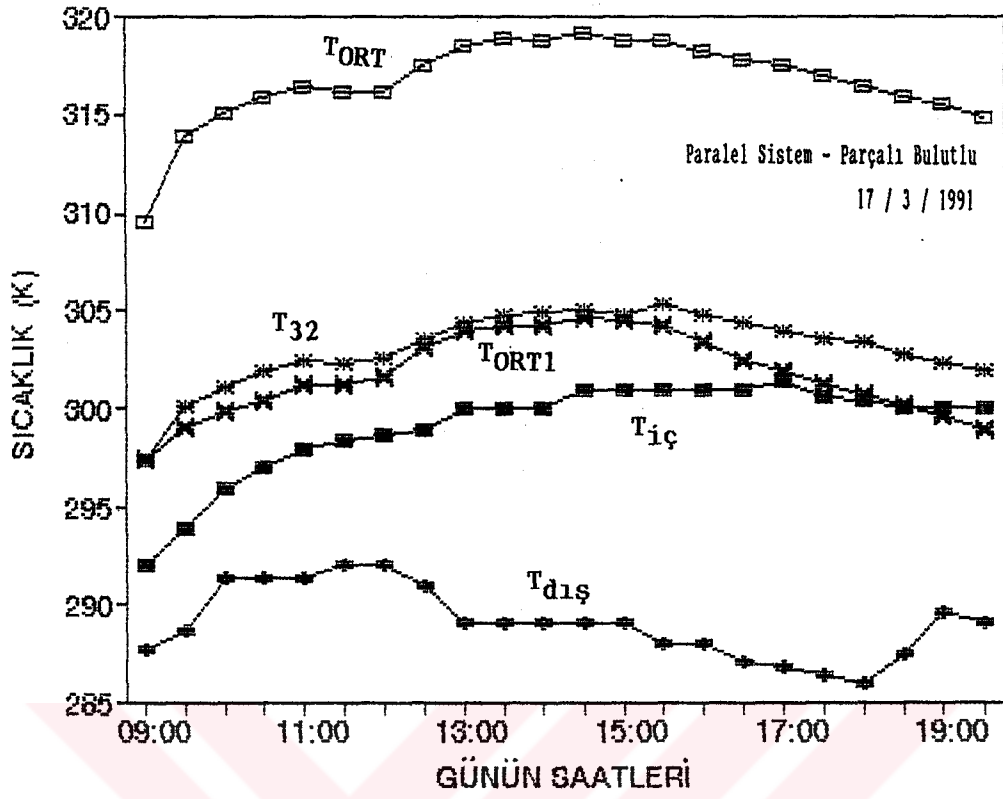


Şekil 7. Sıcaklığın ( $T_7, T_8, T_9, T_{10}$ ) COP ile Değişimi (devam).

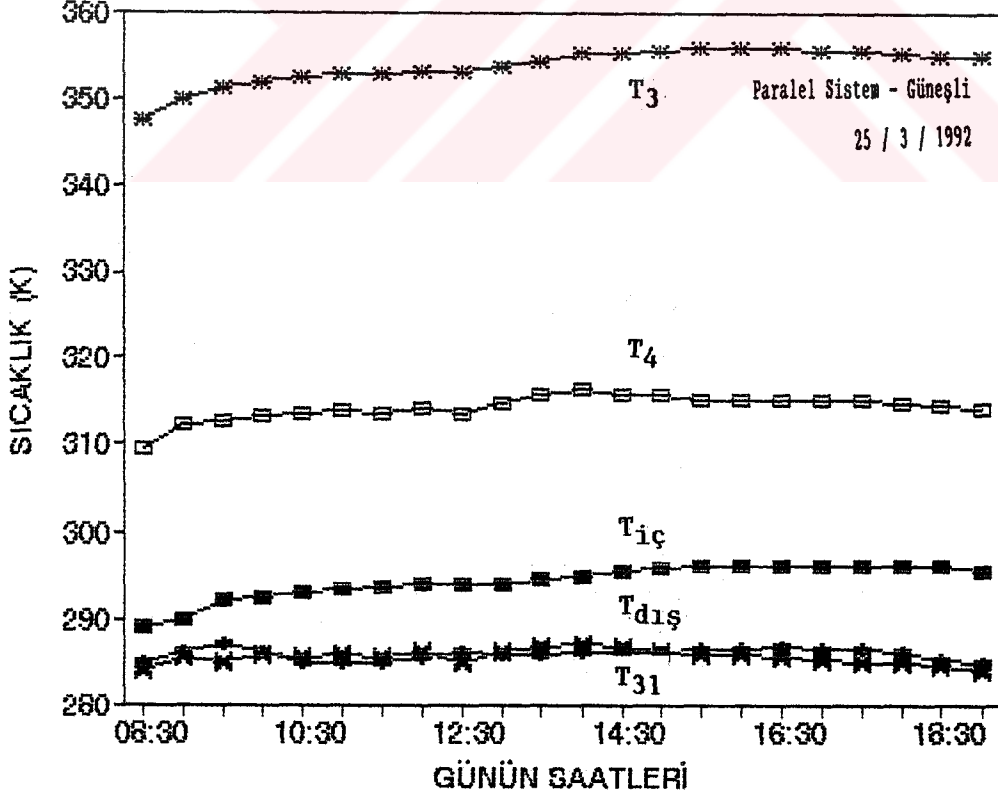
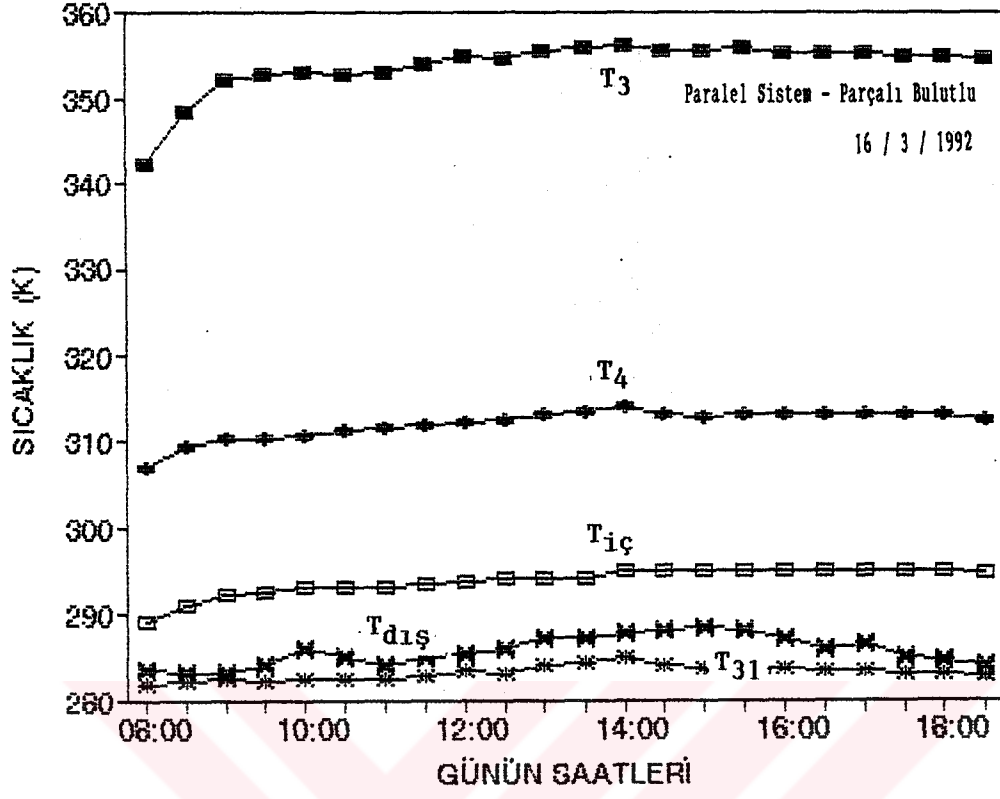


Şekil 8. Sıcaklığın ( $T_{ORT}$ ,  $T_{ORT1}$ ,  $T_{32}$ ,  $T_{iç}$ ,  $T_{dış}$ ) Değişimi (devam).

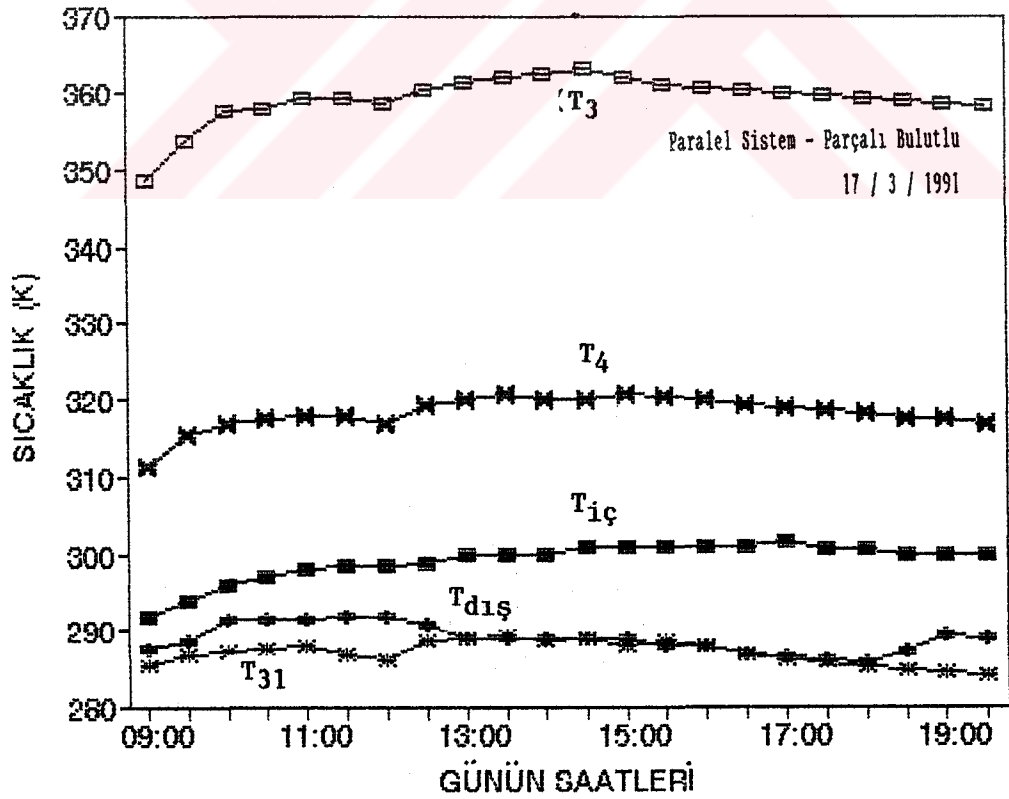
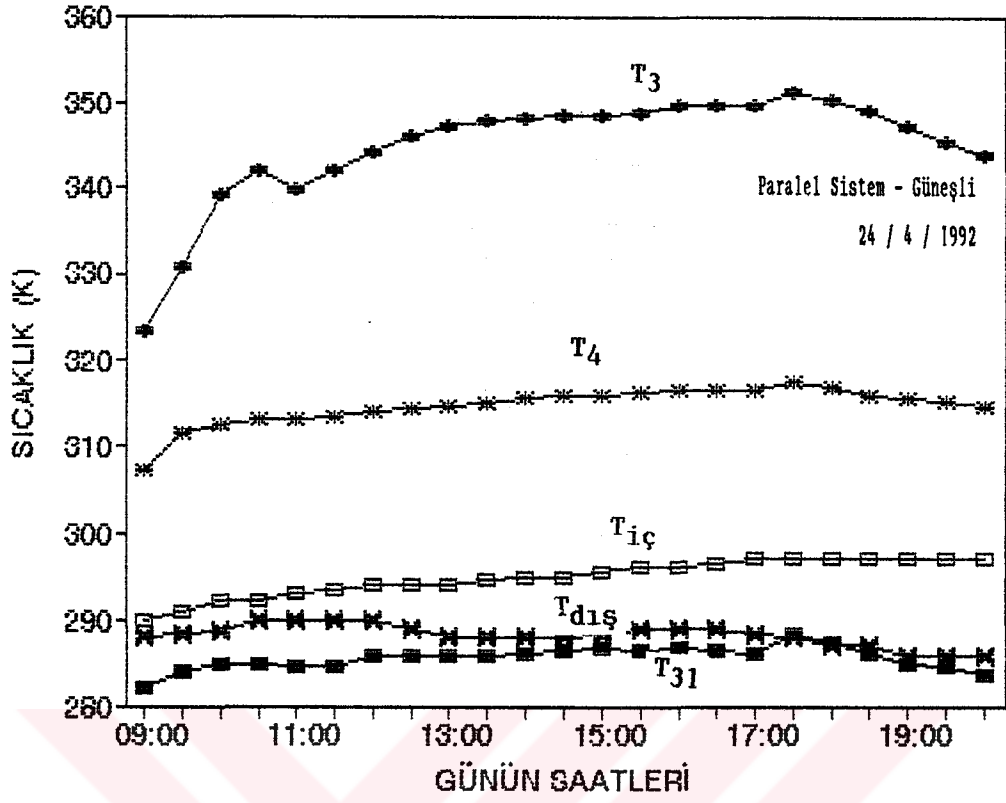




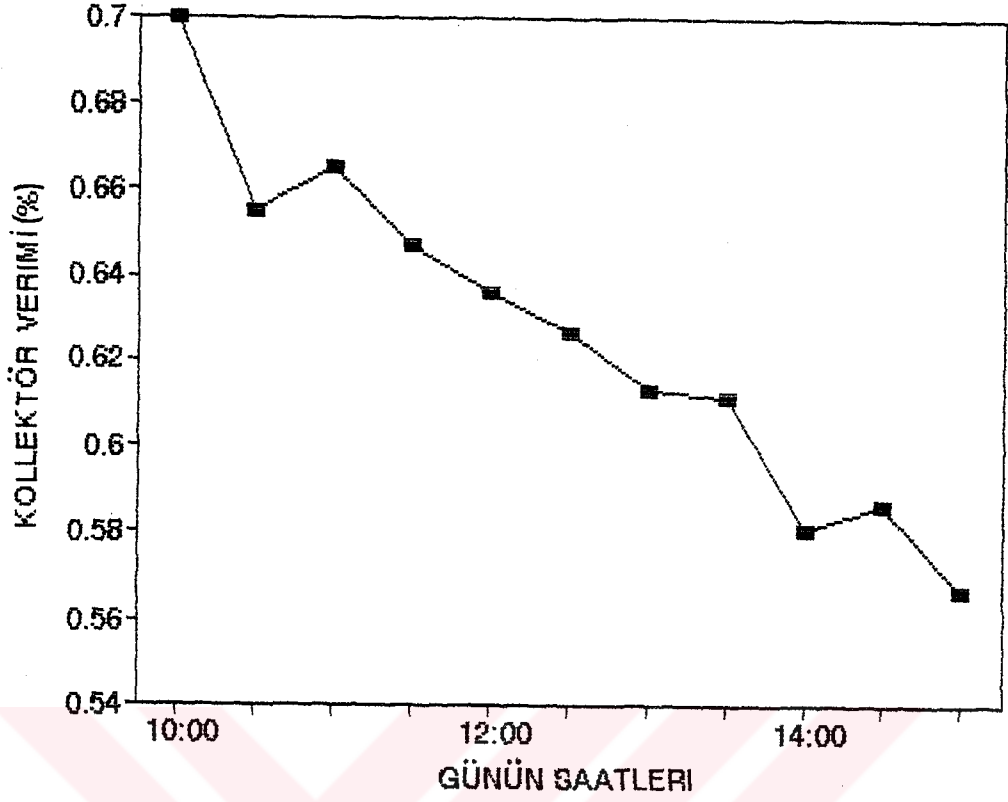
Şekil 8. Sıcaklığın (T<sub>ORT</sub>, T<sub>ORT1</sub>, T<sub>32</sub>, T<sub>iç</sub>, T<sub>dış</sub>) Değişimi (devam).



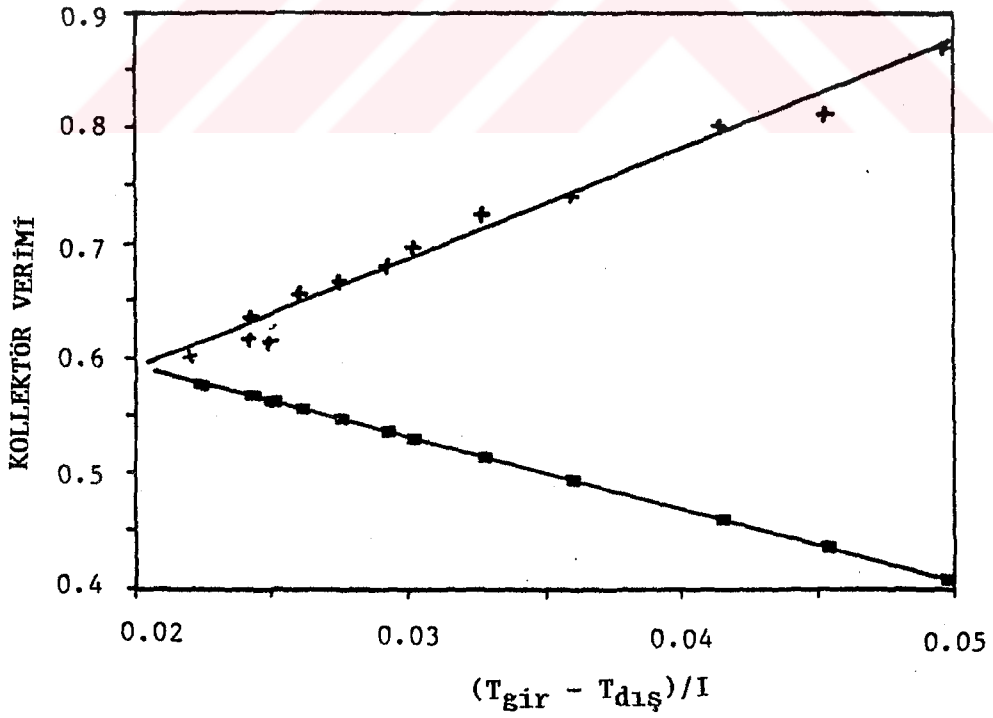
Şekil 9. Sıcaklığın ( $T_3, T_4, T_{31}, T_{iç}, T_{dış}$ ) Değişimi.



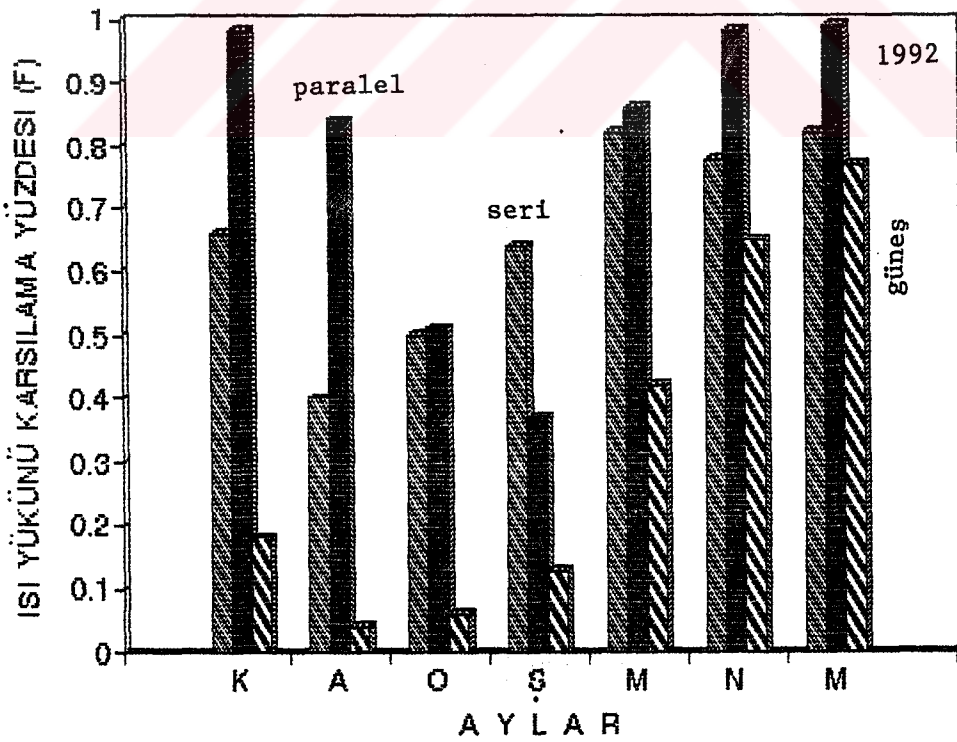
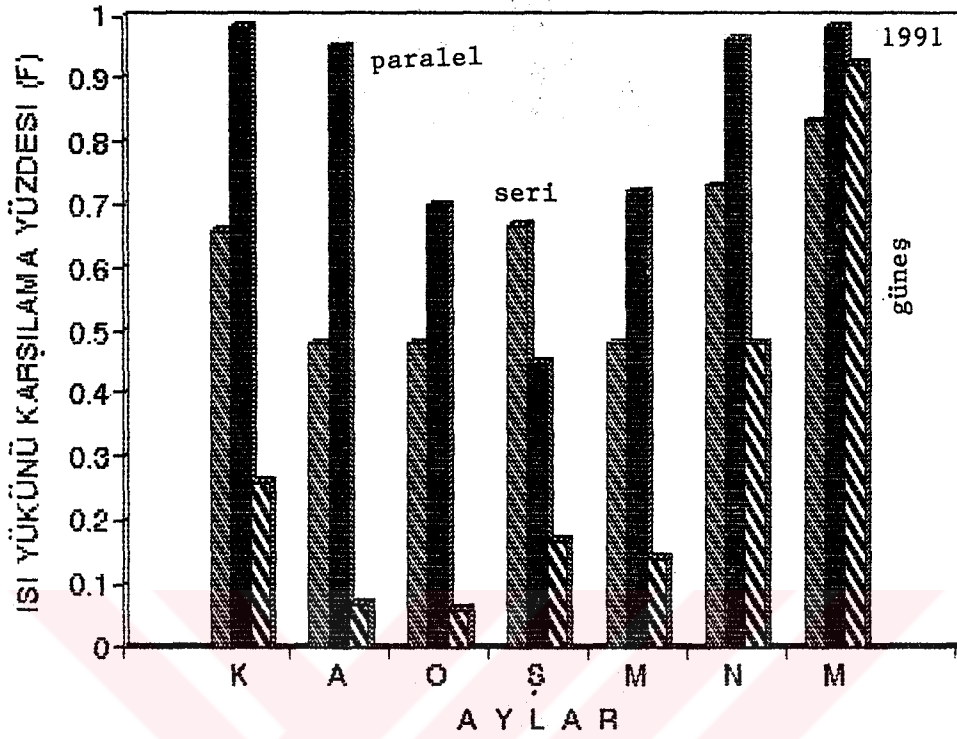
Şekil 9. Sıcaklığın ( $T_3, T_4, T_{31}, T_{iç}, T_{dış}$ ) Değişimi (devam).



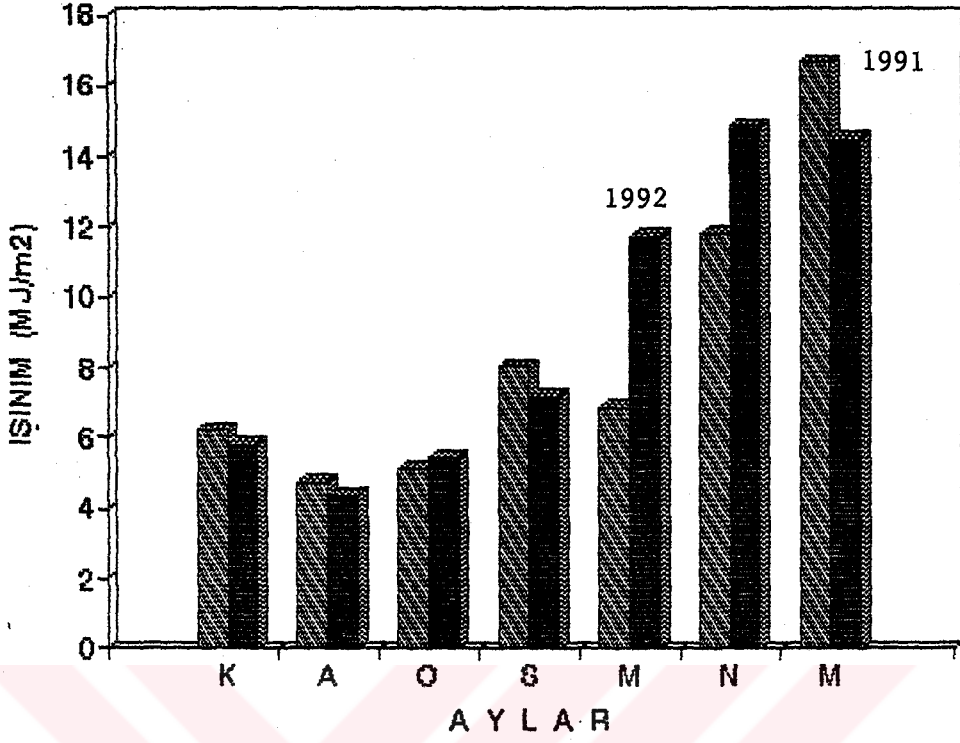
Şekil 10. Net Kollektör Veriminin Günün Saatlerine Göre Değişimi.



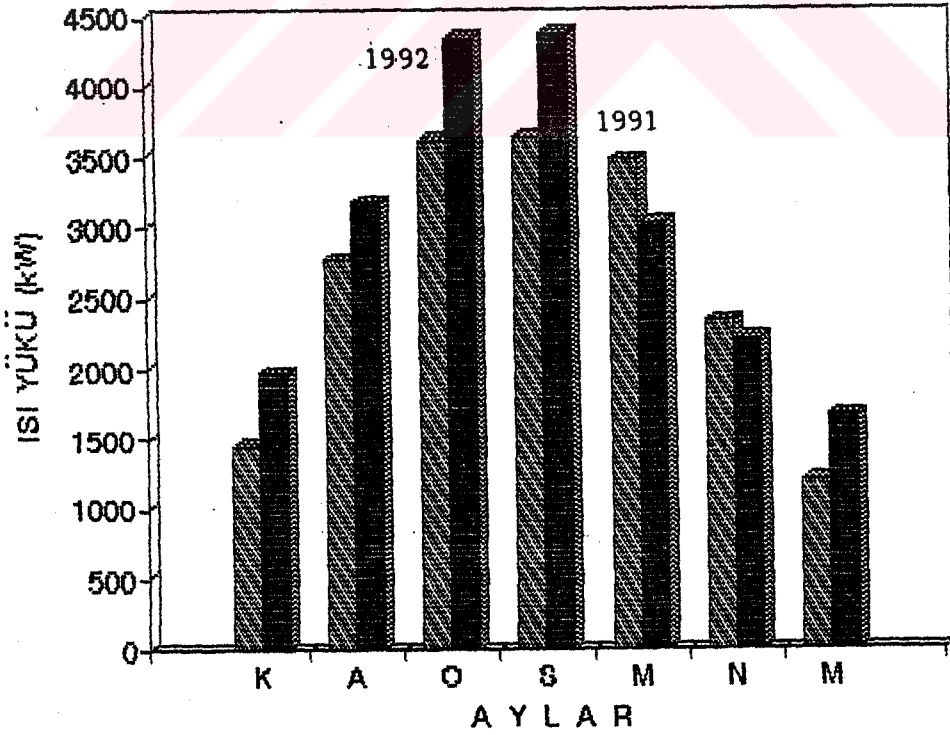
Şekil 11. Anlık ve Net Kollektör Verimlerinin  $(T_{gir} - T_{dış})/I$  ye göre değişimi.



Şekil 12. 1991-1992 yılları ısıtma sezonlarında sistemlerin ısı yükünü karşılama yüzdesinin (F) Aylara göre değişimi.



Şekil 13. 1991 ve 1992 yılları ısıtma sezonlarında Trabzon için ışının değerlerinin aylara göre dağılımı.



Şekil 14. 1991-1992 yılları ısıtma sezonlarında bina ısı yükünün aylara göre dağılımı.

### EK 5. SİMÜLASYON PROGRAMI

SOLSIM simülasyon programı [83], güneş enerjisi ile bina ısıtmak ve sıcak su elde etmek için kurulan sistemlerin dinamik simülasyonunu yapabilen BASIC dilinde yazılmış basit bir programdır. Bu çalışmada, SOLSIM simülasyon programı deney düzeneğine uygun hale getirilerek deneysel değerlerle teorik değerlerin karşılaştırılması yapılmıştır.

Bu programda güneş ışınımının gün boyunca değişimi deneysel ölçümlere uygun olarak sinüsoidal olarak kabul edilmiş ve günün uzunluğu ile maksimum ışınım miktarı önceden veri olarak bilgisayara girilmiştir. Yine deneysel çalışmada enerji deposunda ısıl tabakalaşma gözleendiğinden bilgisayar programında gerekli düzenlemeler yapılarak deneysel değerlerle teorik değerlerin birbiriyle uyumu sağlanmıştır.

Tablo A13 'de bilgisayara girilen bilgiler, Tablo A14 'de ise bilgisayardan alınan bilgiler verilmiştir. Bilgisayar programı oldukça uzun olduğundan burada sadece akış diyagramı basit olarak gösterilmiştir (bakınız Şekil 15). Başlangıç verilerinin dikkatli ve deneysel değerlerle uyumlu olarak seçilip program çalıştırıldığında, elde edilen teorik sonuçların deneysel sonuçlara çok yakın olduğu gözlenmiştir (Tablo A11 ve Tablo A12).

Tablo A13. SOLSIM Simülasyon Program Çıktısı.

---

Depo çıkış sıcaklığı (K)
Kollektör çıkış sıcaklığı (K)
Depoya verilen net enerji miktarı (Joul)
Depolama verimi (%)
Kollektör verimi (%)
Isı pompasının COP değeri
Depodaki sıcaklık dağılımı
Isıtma sisteminin ısı yükünü karşılama yüzdesi

---

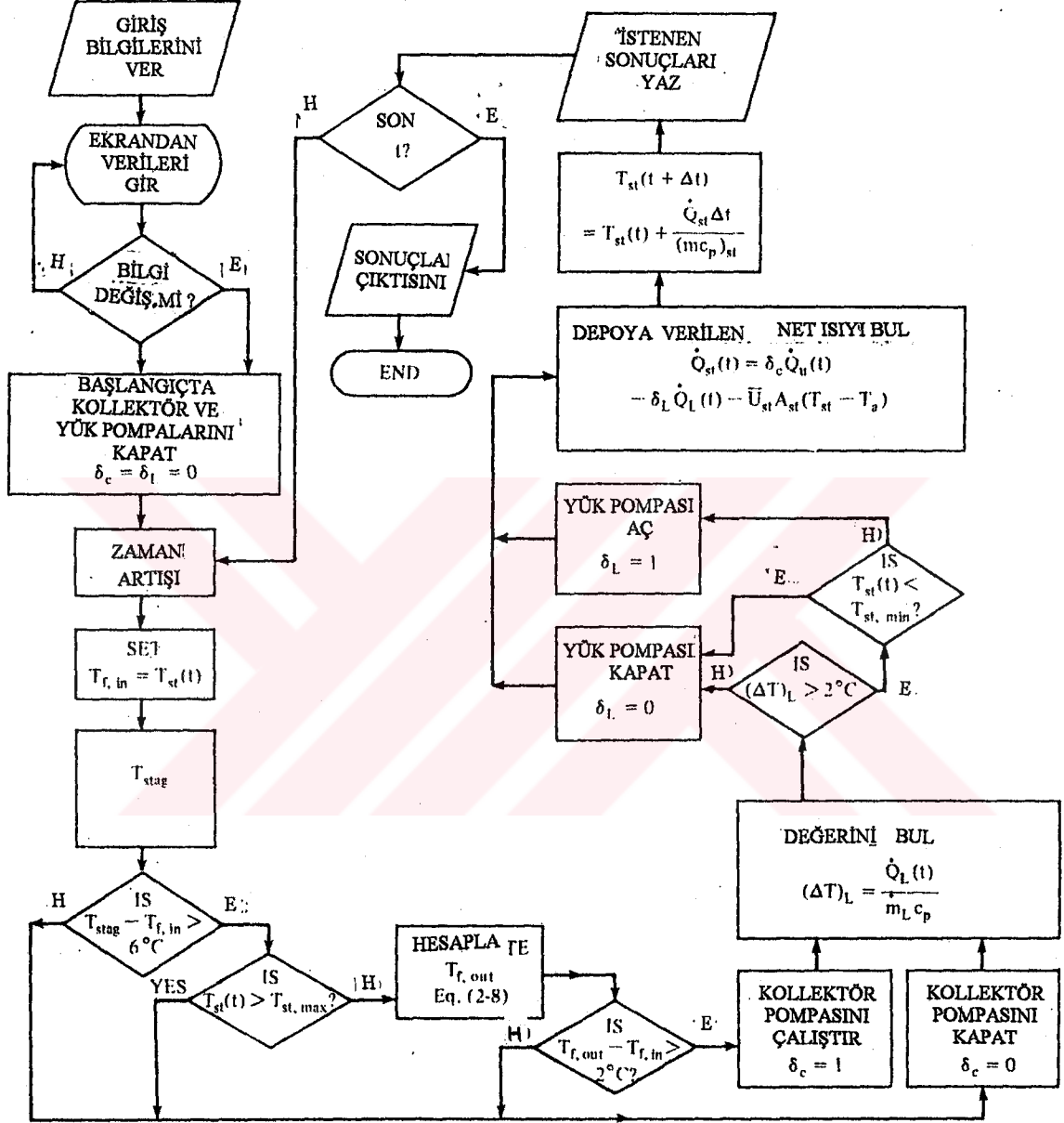
Tablo A14. SOLSIM Simülasyon Programı İçin Giriş Verileri.

---

Simülasyon zamanı (dakika)
İşlem yapma aralığı (dakika)
Elde edilen çıktılar arasındaki zaman (dakika)
Net kolektör alanı ( $m^2$ )
Kollektör ısı yerdeğiştirme faktörü ( $F_R$ )
Kollektör efektif yutma-geçirme çarpanı $(\tau\alpha)_e$
Kollektör için a ve b değerleri
Sistemde dolaşan suyun debisi (kg/dakika)
Bina ısıtma yükü (Joul)
Deponun ısı depolama kapasitesi (Joul)
Deponun başlangıç sıcaklığı (K)
Depodaki maksimum sıcaklık (K)
Depodaki minimum sıcaklık (K)
Isıtma ortamına sağlanan minimum sıcaklık (K)
Deponun tüm ısı kayıp katsayısı [ $W/(m^2.K)$ ]
Deponun uzunluk/çap oranı
Depodaki sıcaklık dağılımı
Depo tabakalaşmalı ise ısı tabaka sayısı
Günlük ortalama çevre sıcaklığı (K)
Günlük sıcaklık farkı (K)
Günlük maksimum ışınlım ( $W/m^2$ )
Referans ışınlım ( $W/m^2$ )
Günün uzunluğu (dakika)
Güneşin doğma zamanı
Suyun özgül ısı kapasitesi [ $J/(kg.^{\circ}C)$ ]
Isı depolama maddesinin ısı depolama kapasitesi (kJ/Kg)

---





Şekil 15. SOLSIM Simülasyon Programının Akış Diyagramı.

## ÖZGEÇMİŞ

1963 yılında Trabzon'un Çaykara ilçesinde doğdu. İlk ve ortaokulu Çaykara'da okudu. Lise tahsilini Trabzon'da tamamladı. 1980 yılında Konya Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Kimya Mühendisliğine kayıt yaptırdı ve 1984 de Kimya Mühendisi olarak mezun oldu. 1985 yılında K.T.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünde Yüksek Lisansa başladı. Aynı yıl Kimya Bölümünde açılan araştırma görevliliği sınavını kazandı ve Anorganik Anabilim Dalında göreve başladı. 1987 yılında Yüksek Lisansını tamamladı. 1988 yılında aynı bölümde doktora başladı. Halen doktora öğrenimi devam etmekte.

