

50841

**HAVAYLA ISITILAN GÜNEŞLİ EVLERDE ANALİTİK VE
DENEYSEL BİR İNCELENME**

Tezi Hazırlayan
Mak. Yük. Müh. Doğan DEMİRAL

**Y.S. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Tez Yöneticisi
Yrd.Doç.Dr. Necdet ALTUNTOP

Erciyes Üniversitesi
Fen bilimleri Enstitüsü' ne
Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi Olarak
Sunulmuştur.

Kasım 1996
KAYSERİ

50841

Erciyes Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne

Bu çalışma, jürimiz tarafından makina mühendisliği anabilim dalında doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

.../.../1997

Başkan :Prof. Dr. M. Kudret SELÇUK
Üye :Prof. Dr. Ali Yücel UYAREL.
Üye :Yrd. Doç. Dr. Necdet ALTUNTOP.....

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım

13 .MAR.7/1997

Prof. Dr. Latif SELÇİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZGEÇMİŞ

9.2.1962 yılında Sivas- Şarkışla'da doğdu İlk okulu Şarkışla'da, orta okulu Erzurum- Kandilli'de ve Liseyi Kırklareli- Lüleburgaz'da tamamladıktan sonra 1981-1982 öğretim döneminde Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümüne girdi. 1986-1987 öğrenim döneminde makina mühendisi olarak mezun oldu, daha sonra kısa sürelerle özel sektörde ve Kayseri köy hizmetleri il müdürlüğünde çalıştı. 1987 yılında Kayseri 1009. Ordu donatım tank fabrikasında yedek subay olarak askerlik yaptı. 1989 yılında Erciyes Üniversitesi makina mühendisliği bölümüne Araştırma Görevlisi olarak girdi ve aynı tarihte Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 1991 yılında yüksek lisansını tamamladı. Evli ve bir çocuk sahibi olan Doğan Demiral halen Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

TEŞEKKÜR

Erciyes üniversitesi bünyesinde böyle bir projenin oluşumunda fikir babalığı eden ve beni ekibine alma lütfunda bulunan Nevada üniversitesi (ABD) öğretim üyelerinden değerli bilim adamı sayın Prof. Dr. Robert H. TURNER'a, projenin tamamlanmasında tecrübe ve bilgilerinden büyük ölçüde yararlandığımız sayın Prof. Dr. M.Kudret SELÇUK'a, projenin oluşmasında maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Erciyes Üniversitesi Rektörü sayın Prof.Dr. Mehmet ŞAHİN'e ve tez danışmanlığımı yapan hocam Yrd.Doç.Dr. Necdet ALTUNTOP'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca deneysel ölçümlerde yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Suat CANBAZOĞLU'na , deneylerde bana yardımcı olan güneş evi teknisyeni Ahmet KARAMIŞ'a ve de bana manevi destek sağlayan tüm mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

ÖZET

Güneş enerjisinin konut ısıtmasında kullanılmak amacıyla Erciyes Üniversitesi (Kayseri) bünyesinde aktif tipte hava ısıtmalı güneş evi yapılmıştır.

Güneş evi 144 m² net kullanım alanına sahip iki kattan oluşmaktadır. Binanın yıllık ortalama ısı kayıp katsayısı (UA) 412 W/°C dir.

Güneş evi, 32.85 m² dik duvar ve 95.78 m² 42° eğimli çatı olmak üzere iki tip güneşli hava ısıtıcı kollektörlerine sahiptir. Kollektörlerde saydam örtü olarak 1 mm kalınlığında ($\tau_n = 0.91$) polikarbonat levhalar, emici yüzey olarak iki kat V formunda siyah boyalı sinek teli ($\tau_n = 0.38$) ve altına üzerine siyah krom kaplı 0.1 mm kalınlığında bakır plakalar kullanılmıştır. Güneş evi sisteminde ısı deposu olarak 5 m³ hacminde sıcak su tankı ve 12 m³ hacminde olan çakıl yatak kullanılmaktadır.

Sistemde, açık-kapalı mantığında çalışan otomatik kontrol sistemi kullanılmıştır. Binanın ısı ihtiyacının karşılanması ve sıcak su hazırlama fonksiyonlarının yerine getirilmesi için sistemde beş değişik fonksiyonda çalışan modlar geliştirilmiştir bunlar; kollektörden direk ev ısıtma, ısı depolama, ısı deposundan ev ısıtma, yardımcı ısıtıcı devresinden ev ısıtma ve binanın ısı ihtiyacının olmadığı dönemlerde ise sıcak su hazırlama modlarıdır.

Güneş evi ölçme sistemi olarak, 32 kanala sahip veri toplama sistemi kullanılmıştır. Bu sistem performans deneyleri için gerekli verileri bilgisayar ortamına sürekli olarak aktarmakta ve günlük verileri dosyalamaktadır.

Yukarıda bahsedilen güneş evi sisteminin performans deneyleri 1996 yılı Kasım ve Aralık ayları için gerçek veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Buna göre güneş evinin ısı kayıplarının Kasım ayında %97'si, Aralık ayında ise %45'i güneş enerjisinden karşılanmıştır. Bu aylarda güneşten kazanılan enerjinin fuel-oil karşılığı ortalama; Kasım ayında 10.66 kg/gün, Aralık ayında 3.79 kg/gün olmaktadır. Ayrıca sistem 1996 Ekim ayında dahili sıcak suyu hazırlama modunda çalıştırılmış ve Üniversite mutfağının günlük 13 ton/gün sıcak su ihtiyacını ortalama 16-17°C ısıtarak suyun ön ısıtmasını gerçekleştirmiştir.

Ayrıca havayla ısıtılan sistemler için bir simülasyon programı geliştirilerek Erciyes Üniversitesi güneş evi sisteminin yıllık enerji bilançoları, sistem maliyetleri ve geri ödeme dönemi hesaplanmıştır. Sistemin kışın hacim ısıtma ısı ihtiyacının %90'ı güneşten karşıladığı ve sağlanan yakıt tasarrufu ile bu sistemin 8.6 yılda yatırımını karşılayacağı hesaplanmıştır.



SUMMARY

An active type of solar house heated by air has been established in the campus of Erciyes University for using the solar energy in heating.

The solar house consists of two flats with a net useful area of 144 m^2 , the average annual heat loss coefficient (UA) is $412 \text{ W/}^\circ\text{C}$.

The solar house has two types of air-heating solar collectors having different type of absorbers which are located on the vertical wall of 32.85 m^2 and on 42° inclined roof of 95.78 m^2 . In the collectors, polycarbonate plates of 1 mm in thickness as a transparent cover ($\tau_n=0.9$), two layers of V-shaped black painted fly screen as absorption surface ($\tau_n=0.38$) and chromium coated copper sheets of 0.1 mm in thickness on and under the absorption surface have been used. The solar house has a hot water tank of 5 m^3 and a rock-bed heat storage unit of 12 m^3 in volume.

The system was equipped with automatic control system based on the on-off logic, the five operation modes are available in order to supply the heat demand of the building and that the functions of hot-water preparation is carried out properly. Thus, these operation modes can be classified as follows; directly heating a house from the collectors, heat storage, heating house from the heat storage unit, heating house from auxiliary heating unit and heat-water preparation in the periods when the building doesn't need heating.

A data-acquisition system with 32 channels has been used as a measurement system of the solar house. This system is continuously collecting the data required for the performance test and is archiving them in the computer disk.

The performance tests of this solar house were carried out between November and December 1996, and all necessary computations were made using the real measured data. In the light of these computations in the solar house, the heat losses of 97% and 45% have been provided by the solar energy during the months in question, respectively. The gain from the solar energy during these months corresponds to an energy of 10.66 kg/day and 3.79 kg/day which are provided by a fuel-oil during November and December 1996, respectively.

The solar house system was operated on the domestic hot water preparation mode, the pre-heating of the water of 13 ton/day used in the University kitchen by average addition temperature of $16 \pm 17^{\circ}\text{C}$ was achieved.

In addition, a computer software was developed for the simulation of the system heated by air, the annual energy balance sheet, system cost and payment for-itself period were computed. In case the internal heating demand of the system is provided at the rate of 90% from the solar energy and when the fuel economy obtained is considered, it was found that this system will pay for-itself in a period of 8.6 year.



Semboller ve Kısaltmalar

A_k	Kollektör alanı
$A_{eş}$	Eşanjör ısı transfer yüzey alanı
A_p	Parçacık yüzey alanı
b_o	Güneş geliş açısının değişim sabiti
C	Logaritmik ortalama sıcaklık farkı düzeltme katsayısı
C_p	Sabit basınçta özgül ısı
d	Çap
d_d	Dış çap
d_e	Eşdeğer parçacık çapı
DG	Derece-gün
d_i	İç çap
F'	Kollektör verim faktörü
F''	Kollektör akış faktörü
F_R	Kollektör ısı kazanım faktörü
h	Isı taşınım katsayısı
$h_{a-çev}$	Kollektör alt yüzeyinden çevreye taşınım ısı geçiş katsayısı
h_d	Depo-çevre arasındaki ısı taşınım katsayısı
h_{ks}	Katıdan sıvıya faz değiştirme entalpisi
H_m	Pompa basma yüksekliği
$h_{r,a-çev}$	Yalıtım malzemesi ile çevre arasındaki ışınlama ısı geçiş katsayısı
$h_{r,s-çev}$	Saydam örtü-çevre arasındaki ışınlama ısı geçiş katsayısı
$h_{r,y-al}$	Yutucu yüzey-yalıtım iç yüzeyi arasındaki ışınlama ısı geçiş katsayısı
$h_{r,y-s}$	Yutucu yüzey-saydam örtü arasındaki ışınlama ısı geçiş katsayısı
h_v	Hacimsel ısı taşınım katsayısı
h_w	Saydam örtüden çevreye rüzgarla ısı taşınım katsayısı
h_{y-s}	Yutucu yüzey-saydam örtü arasındaki taşınım ısı geçiş katsayısı
INP	İşletme noktası parametresi
I	Anlık ışınlım
I_{kr}	Kritik ışınlım
K_d	Deponun toplam ısı kayıp katsayısı
K_{tra}	Güneş geliş açısı değişim çarpanı
k_y	Yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı
L_s	Hacim ısıtma yükü
L_y	Sıcak su ihtiyacı için gerekli ısı yükü
m	Kütleli debi

m_h	Havanın kütleli debisi
m_s	Suyun kütleli debisi
N	Parçacık sayısı, Saydam örtü sayısı
n_i	Gün sayısı
Q_d	Depolama enerjisi
Q_k	Isı kayıpları toplamı
Q_{ELK}	Harcanan elektrik enerjisi
Q_u	Faydalı enerji
Q_y	İhtiyaç için çekilen enerji
Q_G	Güneşten kolektör yüzeyine gelen enerji
$Q_{E1,h}$	E1 eşanjöründe havanın verdiği enerji
$Q_{E1,s}$	E1 eşanjöründe suyun aldığı enerji
$Q_{E2,h}$	E2 eşanjöründe havanın aldığı enerji
$Q_{E2,s}$	E2 eşanjöründe suyun verdiği enerji
$Q_{E3,h}$	E3 eşanjöründe havanın aldığı enerji
$Q_{E3,s}$	E3 eşanjöründe suyun verdiği enerji
ΔU_{depo}	Deponun iç enerjisindeki değişme
Q_{KK}	Kollektör kanallarındaki kaybolan enerji
Q_{dk}	Depodan çevreye ısı enerjisi kaybı
$Q_{g,d}$	Duvar kolektörüne gelen güneş ışıması
$Q_{g,\phi}$	Çatı kolektörüne gelen güneş ışıması
$Q_{u,d}$	Duvar kolektörlerinden çekilen faydalı enerji
$Q_{u,\phi}$	Çatı kolektörlerinden çekilen faydalı enerji
ΔU_{ev}	Evin iç enerjisindeki değişme
$Q_{ev,g}$	Eve giren enerji
$Q_{y,\phi}$	Yardımcı ısı kaynağından çekilen enerji
$Q_{d,\phi}$	Depodan çekilen enerji
R	Isıl direnç
SDG	Sıcak su ihtiyacı için derece-gün
T^*	Zamana bağlı sıcaklık
T_s	Şebeke suyu sıcaklığı
$T_{a,m}$	Ortalama akışkan sıcaklığı
T_d	Depo sıcaklığı
$T_{diş}$	Dış ortam sıcaklığı
T_G	Gökyüzü sıcaklığı
T_g	Kollektör giriş sıcaklığı
$T_{iç}$	İç ortam sıcaklığı
T_s	Saydam örtü sıcaklığı

$T_{y,m}$	Yutucu yüzey ortalama sıcaklığı
T_y	Yutucu yüzey sıcaklığı
T_{kg}	Kollektör giriş sıcaklığı
$T_{kgç}$	Duvar kollektörleri çıkış, çatı kollektörleri giriş sıcaklığı
$T_{kç}$	Kollektör çıkış sıcaklığı
$T_{E1,sg}$	E1 eşanjörüne su giriş sıcaklığı
$T_{E1,sç}$	E1 eşanjöründen su çıkış sıcaklığı
$T_{E1,hg}$	E1 eşanjörüne hava giriş sıcaklığı
$T_{E1,hç}$	E1 eşanjöründen hava çıkış sıcaklığı
T_{ssg}	Servis suyu giriş sıcaklığı
$T_{ssç}$	Servis suyu çıkış sıcaklığı
U	Isı kayıp katsayısı
UA	Binanın toplam ısı kayıp katsayısı
U_b	Kollektör alt yüzeyinden çevreye olan toplam ısı kayıp katsayısı
U_e	Kollektör kenarlarından çevreye olan toplam ısı kayıp katsayısı
U_L	Kollektör toplam ısı kayıp katsayısı
U_t	Kollektör üst yüzeyinden çevreye olan toplam ısı kayıp katsayısı
v	Hız
V_p	Parçacık hacmi
V_d	Depo hacmi
α	Yutma oranı, ısı yayılım katsayısı
β	Kollektör eğimi, hacimsel yayılım katsayısı
τ	Geçirme oranı
$(\tau\bar{\alpha})$	Ortalama yutma-geçirme çarpımı
$(\tau\alpha)$	Yutma-geçirme çarpımı
$(\tau\alpha)_n$	Yüzeyin normaline doğrultusunda gelen direkt ışıınım için yutma-geçirme çarpımı
ε	Neşretme oranı
ε_a	Kollektör izelasyonunun neşretme oranı
ε_s	Saydam örtü neşretme oranı
ε_y	Yutucu yüzey neşretme oranı
ν	Kinematik viskozite
μ	Dinamik viskozite
η	Verim
θ	Yüzeye gelen direkt ışıınımla yüzeyin normalinin yaptığı açı
ΔT_{on}	Sistemin çalışması için gerekli sıcaklık farkı
ΔT_{off}	Sistemin durması için gerekli sıcaklık farkı
Δt	Zaman adımı

Φ Enlem



İÇİNDEKİLER

1. Bölüm	
1. Giriş	1
2. Bölüm	
2. Güneş evi sistemleri ve tarihsel gelişimi	3
3. Bölüm	
3. Güneş Kollektörleri	10
3.1. Kollektörlerin ısı analizi	12
3.1.1. Kollektörden çevreye ısı kayıpları	13
3.1.2. Kollektör faktörleri	17
3.1.2.1. Kritik radyasyon değeri	18
3.1.2.2 Ortalama akışkan ve emici yüzey sıcaklığı	19
3.2. Kollektör parametrelerinin tespiti	20
3.2.1 Kollektör verimi	21
3.2.2. Güneş ışınlarının geliş açısının değişimi	24
3.2.3. Kollektör zaman sabiti	25
3.3. Güneş kollektörünün seçimi	25
4. Bölüm	
4. Enerji depolama sistemleri	28
4.1. Hissedilir ısı depolama	29
4.1.1. Suya enerji depolama	30
4.1.2. Çakıl taşlarına ısı enerji depolama	33
4.2. Gizli ısı depolama	35
5. Bölüm	
5. Güneş evinin ısı yükleri	37
5.1. Bina ısıtılması için gerekli ısı yükü	37
5.1.1. Derece-gün metodu	37
5.2. Sıcak su hazırlama ısı yükü	39
6. Bölüm	
6. Erciyes Üniversitesi güneş evi modeli ve ısı dengeleri	40
6.1. Sistem modlarının tarifi	40
6.1.1. Kollektörden direkt ev ısıtma (Mod-1)	42
6.1.2. Isı depolama (Mod-2)	43
6.1.3. Isı deposundan ev ısıtma (Mod-3)	44
6.1.4. Yardımcı ısıtıcıdan ev ısıtma (Mod-4)	47
6.1.5. Sıcak su hazırlama (Mod-5)	48
7. Bölüm	
7. Sistemin otomatik kontrolü	51

8. Bölüm	
8. Deney düzeneği	56
8.1. Bina'nın fiziki yapısı	55
8.2. Kollektör ve kanallar	59
8.3. Güneş evi veri toplama ve ölçme sistemleri	64
9. Bölüm	
9. Deneyler	73
9.1. Düzlemsel kollektör verim deneyleri	73
9.2. Sıcak su hazırlama modunun günlük performansı	75
9.3. Suya ısı depolama modunun günlük performansı	76
9.4. Güneş evinin aylık performansları	76
10. Bölüm	
10 Deney sonuçları ve analitik metotla karşılaştırılması	77
10.1. Duvar ve çatı kollektörü verimi deney sonuçları	77
10.2. Sıcak su hazırlama modu günlük performansı deney sonuçları	79
10.3. Suya ısı depolama modu günlük performansı deney sonuçları	90
10.4. Güneş evinin aylık performans deney sonuçları	111
11. Bölüm	
11. Erciyes üniversitesi güneş evinin ekonomik analizi	132
12. Bölüm	
12. Sonuçlar	143
13. Bölüm	
13. Gelecek çalışmalar için tavsiyeler	146
14. Kaynaklar	149
Ekler	152

Tabloların Listesi

Tablo.2.1. Güneş enerjisiyle hava ısıtma sistemlerinin tipik dizayn parametreleri	8
Tablo.2.2. Sıvılı güneş ısıtmalı sistemlerinin dizayn parametreleri	9
Tablo.7.1. Modlara göre devri-daim pompası, fan ve klâpelerin pozisyonları	53
Tablo.8.1. Güneş evi binasının ısı yükü	59
Tablo.10.1. Günlük sıcak su hazırlama deney verileri ve enerji dengesi (2/10/1996 parlak gün)	80
Tablo.10.2. Suyu ısı depolama deneyi deney verileri ve ısı dengesi (10/9/1996 parlak gün)	91
Tablo.10.3. Suyu ısı depolama deneyi deney verileri ve ısı dengesi (11/9/1996 parlak gün)	101
Tablo.10.4. Suyu ısı depolama deneyi deney verileri ve ısı dengesi (29/9/1996 kısmî güneşli gün)	110
Tablo.11.1. Standart ev ile güneşli evin tesisat ve yapı bileşenlerinin karşılaştırılması	133
Tablo.11.2. Erciyes Üniversitesi güneş evi sisteminde kullanılan ek malzemeler, miktarları, birim fiyatları ve maliyeti	134
Tablo.11.3. Simülasyon programına göre güneş evinin aylık ortalama enerji verileri	137
Tablo.11.4. Çeşitli yakıtların yanma değerleri	138

Şekillerin Listesi

Şekil.2.1. Sıcak hava ısıtıcı sisteminin şeması	7
Şekil.2.2. Sıcak su ısıtma sisteminin şeması	8
Şekil.3.1. Havalı kollektör için ısı transferinde ısı dirençleri elektrik benzetimi ile gösterimi	14
Şekil.3.2. Kollektörler için tipik verim eğrisi	22
Şekil.3.3. Eşanjör kullanan kollektörün verim eğrisi	24
Şekil.3.4. Çeşitli havalı kollektörlerin verim eğrilerinin karşılaştırılması	26
Şekil.6.1. Erciyes güneş evinin şematik görünümü	41
Şekil.6.2. Mod-1 kollektörden direkt ev ısıtma	42
Şekil.6.3. Mod-2 Kollektörden ısı depolama	44
Şekil.6.4. Mod-3 Isı deposundan ev ısıtma	45
Şekil.6.5. Mod-4 Yardımcı ısıtıcıdan ev ısıtma	47
Şekil.6.6. Mod-5 Sıcak su hazırlama	48
Şekil.7.1. Kontrol devresinin işleyiş mantığı	54
Şekil.8.1. Güneş evinin perspektif görünüşü	56
Şekil.8.2. Güneş evinin zemin kat planı	57
Şekil.8.3. Güneş evinin birinci kat planı	58
Şekil.8.4. Hacimsel kollektör detayı	60
Şekil.8.5. Güneş evi kollektörlerinin yandan görünüşü	61
Şekil.8.6. Güneş evi sisteminin sıcak hava ve su tesisatı	63
Şekil.8.7. Sıcak su tankı	64
Şekil.8.8. Veri toplama sisteminin blok diyagramı	65
Şekil.8.9. 2/10/1996 günü yatay düzleme gelen güneş ışınımının pyranometre ile ölçülen ve hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması	70
Şekil.10.1. Dik duvar kollektörü verim eğrisi	78
Şekil.10.2. Çatı kollektörü verim eğrisi	78
Şekil.10.3. Sıcak su hazırlama deneyi enerji dengesi (2/10/1996 parlak gün)	79
Şekil.10.4. Düzlemlere gelen anlık ışınım değerleri (2/10/1996 parlak gün)	81
Şekil.10.5. Sıcak su hazırlama deneyi için modun devreye girme fonksiyonu (2/10/1996 parlak gün)	84
Şekil.10.6. Sıcak su hazırlama deneyinde kollektöre düzlemlerine gelen ve çekilen enerjiler (2/10/1996 parlak gün)	85
Şekil.10.7. Sıcak su hazırlama deneyinde elde edilen enerjilerin zamana	

göre değişimi (2/10/1996 parlak gün)	86
şekil.10.8. Sıcak su hazırlama deneyi su sıcaklıkları (2/10/1996 parlak gün)	87
şekil.10.9. Sıcak su hazırlama deneyi eşanjör akışkanları giriş çıkış sıcaklıkları (2/10/1996 parlak gün)	88
şekil.10.10. Sıcak su hazırlama deneyi sistemdeki hava sıcaklıkları (2/10/1996 parlak gün)	89
şekil.10.11. Suyu ısı depolama deneyinin günlük enerji bilançoları (10/9/1996 parlak gün)	90
şekil.10.12. Kollektör düzlemlerine gelen anlık ışınım lar (10/9/1996 parlak gün)	93
şekil.10.13. Suyu enerji depolama deneyi kollektörlere gelen ve çekilen enerjiler (10/9/1996 parlak gün)	94
şekil.10.14. Suyu enerji depolama deneyi sisteme gelen-çekilen ve suya aktarılan enerjiler (10/9/1996 parlak gün)	95
şekil.10.15. Suyu ısı depolama deneyi sistemdeki hava sıcaklıkları (10/9/1996 parlak gün)	96
şekil.10.16. Suyu ısı depolama deneyi sistemdeki su sıcaklıkları (10/9/1996 parlak gün)	97
şekil.10.17. Suyu ısı depolama deneyi mod çalışma fonksiyonu ve referans sıcaklıkları (10/9/1996 parlak gün)	98
şekil.10.18. Suyu ısı depolama deneyi eşanjör akışkanları giriş çıkış sıcaklıkları (10/9/1996 parlak gün)	99
şekil.10.19. Suyu ısı depolama deneyi ısı dengesi (11/9/1996 parlak gün)	100
şekil.10.20. Yatay düzleme gelen anlık ışınım ın günlük değişimi (29/9/1996 kısmi güneşli gün)	103
şekil.10.21. Suyu enerji depolama deneyinde kollektöre gelen ve çekilen enerjiler (29/9/1996 kısmi güneşli gün)	104
şekil.10.22. Suyu ısı depolama deneyinde sisteme gelen-çekilen ve suya aktarılan enerjiler (29/9/1996 kısmi güneşli gün)	105
şekil.10.23. Suyu ısı depolama deneyi mod çalışma fonksiyonu ve referans sıcaklıkları (29/9/1996 kısmi güneşli gün)	106
şekil.10.24. Suyu enerji depolama deneyi sistemdeki hava sıcaklıkları (29/9/1996 kısmi güneşli gün)	107
şekil.10.25. Suyu ısı depolama deneyi sistemdeki su sıcaklıkları (29/9/1996 kısmi güneşli gün)	108
şekil.10.26. Suyu ısı depolama deneyi eşanjör akışkanları giriş-çıkış	

sıcaklıkları (29/9/1996 kısmi güneşli gün)	109
Şekil.10.27. Suya ısı depolama deneyi enerji dengesi (29/9/1996 kısmi güneşli gün)	111
Şekil.10.28. Kasım ayında bina ısı ihtiyacının güneşten karşılanma oranı	113
Şekil.10.29. Güneş evi sisteminin aylık enerji bilançosu	114
Şekil.10.30. Eğik çatı kolektör düzlemine Kasım (1996) ayında gelen anlık güneş ışınlamı	115
Şekil.10.31. Duvar kolektörlerine Kasım (1996) ayında gelen ve çekilen enerjiler	116
Şekil.10.32. Sistemin aylık mod çalışma fonksiyonu	117
Şekil.10.33. Çatı kolektörlerine Kasım (1996) ayı boyunca gelen ve çekilen enerjiler	118
Şekil.10.34. Kolektörlerin giriş ve çıkış sıcaklıklarının aylık değişimi	119
Şekil.10.35. Dış ortam, iç ortam ve depo sıcaklıklarının aylık değişimi	120
Şekil.10.36. Kolektörlerden çekilen enerji ve sistemde harcanan elektrik enerjisinin aylık değişimi	121
Şekil.10.37. Aralık ayında bina ısı ihtiyacının güneşten karşılanma oranı	122
Şekil.10.38. Güneş evinin aylık enerji bilançosu (Aralık-1996)	124
Şekil.10.39. Eğik kolektör düzlemine gelen anlık güneş ışınlamının aylık değişimi (Aralık-1996)	125
Şekil.10.40. Duvar kolektörlerine Aralık ayında gelen ve çekilen enerjiler (Aralık-1996)	126
Şekil.10.41. Çatı kolektörlerine gelen ve çekilen enerjilerin aylık değişimi (Aralık-1996)	127
Şekil.10.42. Kolektör giriş çıkış sıcaklıklarının aylık değişimi (Aralık-1996)	128
Şekil.10.43. Dış, iç ortam ve depo sıcaklıklarının aylık değişimi (Aralık-1996)	129
Şekil.10.44. Kolektörlerden çekilen enerji ve sistemde harcanan elektrik enerjisinin aylık değişimi (Aralık-1996)	130
Şekil.10.45. Sistemin aylık mod çalışma fonksiyonu (Aralık-1996)	131
Şekil.11.1. Güneş evi sistemine güneşten gelen, kolektörden çekilen ve binanın ısı ihtiyacının yıllık değişimi (simülasyon)	137
Şekil.11.2. Duvar ve çatı kolektörlerine güneşten gelen ve çekilen enerjinin yıllık değişimi	142

1.Bölüm

1. GİRİŞ

Erciyes Güneş Evi Kayseri Erciyes Üniversitesi kampüs alanı içerisinde Üniversite hastanesi mutfağının yanına inşa edilmiştir. Güneş evinin inşaatı 1993 yılında planlanıp, 1994 Ekiminde inşaat başladı, İnşaat Mayıs 1996 da bitirilmiştir. Türkiye’de Erciyes güneş evinin dışında, halen mevcut altı güneş evi inşa edilmiş olup bunlar; Ankara’da, ODTÜ Güneş evi, Ankara Belediyesi güneş evi, Adana’da Çukurova Üniversitesi güneş evi, İzmir’de Ege Üniversitesinde inşa edilen iki adet güneş evi, Marmaris’te Maden Teknik Arama Enstitüsü Güneş evleridir. Yukarıda isim ve yerleri belirtilen Türkiye’deki Güneş evlerinin tümü pasif tipde inşa edilmişlerdir. Erciyes Güneş evi ise diğerlerinden farklı olarak aktif tipte inşa edilen Türkiye’deki ilk Güneş evidir. Erciyes Güneş evinin inşa edildiği Kayseri; kış aylarında çok soğuk, yaz aylarında ise sıcak olan karasal iklime sahiptir. Kayseride kış ayları sıcaklık hesaplamaları için dış sıcaklık ortalaması -15°C olup yılda ortalama 180 gün civarında hacim ısıtması yapılmaktadır. Erciyes Güneş evinin öncelikli amacı; güneş enerjisinden sıcak su temini uygulamasının çok yaygın olduğu bölgeye güneş enerjisi ile hacim ısıtmanın tanıtılması ve yaygınlaştırılmasıdır.

Bu amaç doğrultusunda Erciyes Üniversitesi kampüs alanı içinde güneş enerjisi konusunda bilimsel araştırmaların gerçekleştirilebileceği konut tipinde, aynı zamanda laboratuvar olarak da kullanılabilecek bir güneş evi inşa edilmiştir. Bu

uygulamalı çalışma ile güneş enerjisi ile konut - fabrika ve benzeri kapalı hacimlerin ısıtılmasına ilgi duyan bireylere, ülkenin şartları da düşünülerek, **en ucuz ve en basit** şekilde güneş enerjisi ile ısınma ve dahili sıcak su ihtiyacını da temin edebilecek örnek bir uygulama gösterilmesi düşünülmüştür. Dünyada aktif tipte pek çok güneş evi bulunmakla birlikte ülkemiz için bu uygulama yenidir.

İnşa edilen güneş evinde hacim ısıtmasında kullanılmak üzere çevrim akışkanı olarak hava kullanılmaktadır. Uygulamada delinme, sızıntı, kireçlenme ve donma sebebi ile işletme problemleri çıkaran, bakım gerektiren sulu kollektörlerin yerine hava kollektörleri kullanılmıştır. Ayrıca konut ısıtmasının yapılmadığı ve toplanan ısının konut ısıtılması için gerekli olandan fazla olduğu günlerde ise, konutun ihtiyacı olan sıcak su üretimi imkanı sağlanmıştır. İnşa edilen güneş evi, yaz aylarında ise güneş evi binasının bitişiğindeki Üniversite mutfağının sıcak su ihtiyacının (14 ton/gün) ön ısıtılması hedeflenmiştir. Bu maksatla inşa edilmiş olan güneş evi ileriye yönelik bilimsel araştırmaların yapıldığı bir güneş enerjisi araştırma laboratuvarı olarak hizmet verecektir. Ayrıca bölge insanına güneş enerjisinin, su ısıtmanın dışında hacim ısıtması-soğutma, tarımsal ürün kurutma ve diğer güneş enerjisi uygulamalarının tanıtılması yönünde çalışmalar için kullanılabilir.

2.BÖLÜM

2 .Güneş Evi Sistemleri ve Tarihsel Gelişimi

Isınma ihtiyacını güneşten kısmen veya tamamen karşılayan evlere “güneş evleri” olarak tanımlamak mümkündür. Güneş evleri en genel halde kollektör, ısı deposu, boru veya kanallar olmak üzere üç temel bileşenden oluşurlar. Güneş evi sistemleri; kullandıkları ısı taşıyıcı akışkanlardan dolayı, hava veya sıvı sistemler ve akışkan sirkülasyonunun tabii veya cebri oluşuna görede aktif veya pasif sistemler olarak adlandırılırlar. Ayrıca sisteminde dolaşan akışkanın iki farklı akışkanı (hava+su gibi) içermesi durumunda ise melez güneş evi sistemleri olarak adlandırılırlar. Güneş evi sistemleri temel çalışma prensibi olarak güneşten gelen ışınlamaların, kollektörde ısı taşıyıcı akışkana aktarılaraq elde edilen enerjinin, şartlara bağılı olarak, mahale veya ısı depolama sistemlerine aktarılması esasına dayanır. Isı depolama sistemleri güneş evlerinin vazgeçilmez bileşenleridir; çünkü, mahallerin ısı ihtiyaçları ısınma sezonları boyunca süreklilik arz etmesine karşın güneş ışınlamalarının sürekli olmayışı ısının bir şekilde depolanmasının gerekliliğini ortaya çıkarır. Güneş evleri sistemlerinde kullanılan ısı depolama ünitelerinde depolanabilecek ısı enerjinin teknik ve ekonomik açıdan belirli sınırlar dahilinde oluşu, sistemde mutlaka yardımcı bir enerji kaynağına ihtiyaç duyulmasına neden olmaktadır.

Güneş ışınlamı, asırlardan beri yeryüzüne geldiğı halde bilinçli faydalanmaya başlanması oldukça yenidir. Kaynaklara göre, ilk defa Sokrat (M.Ö. 400) evlerin

güney yönüne fazla pencere koyarak güneş ışığının içeri girmesini ve kuzey tarafını yüksek yaparak rüzgarın önlenmesi gerektiğini belirtmiştir [1,2].

Güneş enerjisi ile çalışan ve iş yapan akışkanın hava olduğu bir makina 1868 de Ericsson tarafından geliştirilmiştir. Shuman ve Boys, 1913 de parabolik aynalar yardımıyla bir buhar üretici yapmışlar, bundan faydalanarak Nil nehrinden su çeken 50 BG deki su pompasını çalıştırmışlardır [2].

Bu çalışmaya konu olan Erciyes Güneş Evinin aktif tipde oluşundan dolayı, burada daha çok aktif tip güneş evlerinin geçmişteki uygulamaları üzerinde durulacaktır.

Güneş enerji sistemleri üzerindeki bu günkü anlamda çalışmalar 1938 yılına kadar dayanır. 1938 yılından sonra bu konularla ilgili modern araştırma ve uygulama teknikleri geliştirilmeye çalışılmıştır. Özellikle 1940 yıllarından sonra Massachusetts Institute of Technology (MIT) den bir çalışma grubu bu konuda uygulamalı çalışmalara başlayarak çeşitli düzenlemelerle halen günümüzde de kullanılan kollektörlerin performansını hesaplayacak çeşitli yöntemler geliştirilmiştir [1].

1949 yılında Telkes ve Reynolds Güneş Evlerini günümüz standartlarına yakın bir şekilde tanımladılar. Dover, Massachucetts de güneş evi inşaatını başarı ile tamamladılar. Bu sistem güneşe bakan dik hava ısıtıcı kollektörlerden oluşmuştur. Enerji depolamada ise sodyum sülfatdihidrat'ın ergime ısısından faydalanılmıştır. Bu sistem binanın toplam ısı yükünü karşılamak amacıyla dizayn edilmiştir [1].

1955 yılında Blins, tamamen güneş enerjisi ile ısınan bir güneş evi dizaynını Arizona çölünde gerçekleştirdi ve bu evin performans analizini yaptı. Bu analizde matematiksel modelleme olarak matris sistemleri, depolama birimi olarak küçük çakıllardan oluşan bir yatak kullanılmıştır. Fakat bu sistemin analizi yapıldığı zaman hiç de ekonomik olmadığı görülmüş ve daha küçük bir sistem dizayn edilip yardımcı bir dış enerji kaynağı kullanılarak maliyet düşürülmüştür[1]. Daha sonraları 1959 yıllarında Löff üst üste ve yan yana dizilmiş camları kollektör olarak kullanarak oldukça verimli bir hava ısıtma sistemi dizayn etmeyi başarmıştır. Bu sistemde depolama sistemleri olarak çakıl

yatak kullanılmıştır. Halen Denver yakınlarında olan bu sistemin bir yıllık çalışma periyodundaki performans analizini L f 1963-1964 yılların da gerçekleştirmiş ve performansını hesaplamıştır [1]. Selçuk bu çalışmada kullanılan kollektörlerin matematiksel modellemesini yapmıştır [3]. Sonraları 1976-1978 yıllarında ikinci bir performans analizini gerçekleştirmiştir. Ancak bu performans analizi bir öncekinden (ikinci ölçümde ısıyı karşılama yüzdesi ilk ölçümün %78 i civarında olduğu gözlenmiştir)  ok daha geniş kapsamlıdır. 1976-78 yılında yapılan son performans analizi geçmiş 18 yılın tüm verileri üzerine kurulmuş ve bu performans analizinin sonucunda zaman aşımı da dikkate alınarak sistemin kaç yılda kendini amorti edeceğini belirlemiştir [4].

1968 yılında Close ve arkadaşları, Avusturalyada kısmi ısınma amaçlı bir laboratuar güneş evi kurulmuştur. Burada uzun yıllar çalışılmış ve deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu sistem 56 m² bir hava ısıtma kollektörlerine sahip olup depolama birimleri olarak yine çakıl yatak kullanılmıştır. Kollekt rdeki hava çıkış sıcaklığını 55  C da sabit tutacak şekilde düzenlenmiştir [1].

1970 den beri birçok değişik deneysel sistemler kurulmuştur ve bunlardan bir kaçının performansı ölçülmüş ve raporları hazırlanmış ve yayınlanmıştır [1].

1970 den sonra dizayn edilen bazı Güneş Ev'lerinin ayrıntılı incelenmesi aşağıda verilmiştir.

1973 de  niversity of Delaware de Selçuk tarafından tasarım ve dizaynı yapılan ve daha sonra Kuzay ve B er tarafından performansı ölçülen güneş evi hacim ısıtma işleminde kullanılacak sıcak havanın temin edilmesi için çatı kısmına yerleştirilen sıcak hava kollektörleri kullanılmıştır. Bu bina yaz ve kış aylarındaki farklı çalışma durumları dikkate alınarak 14 farklı  alışma Mod una sahip dir. Ayrıca güneş evinin kollektörlerinin içine yerleştirilen güneş pilleri yardımıyla binanın aydınlatma için gerekli elektrik enerjisi ihtiyacıda temin edilmiştir [5].

CSU Güneş Evi - II Havalı Sistemi 1977 tekrar montaj edilmiş ve 1977-1978 de yeniden tesis edilip işletilmiştir. Performansı Ward ve arkadaşları tarafından

özetlenmiştir (1978 den sonrada diğer deneyler için kullanılmıştır). Bina ofis ve laboratuvar olarak hizmet vermiş ve birinci katta 130 m^2 taban alanına sahiptir.

Bu sistemde sıcak hava kollektörleri kullanılmıştır. Güney bakan çatı kısmında 68.4 m^2 lik bölgeyi kapsayan 64.1 m^2 lik net kollektör alanına sahiptir. Depolama sistemi 10.2 m^3 çakıl yataktan oluşmakta olup çakıl taşlarının çapları 20 mm ile 40 mm arasında değişmektedir. Yardımcı ısı kaynağı olarak doğal gaz kullanılmıştır. Su ısıtma işlemi havadan-suya ısı eşanjörüyle gerçekleştirilmiş ve 300 lt lik bir ön ısıtma tankı kullanılmıştır.

Güneş evi ve hacim ısıtma ısıtma sistemi 1976-1977 kışında veriler otomatik olarak alınabilecek tarzda donatılmıştır. Bu ısıtma sezonunda güneş ısıtma sistemi sıcak su ihtiyacının %72 sini karşılanmıştır. Su ve hacim ısıtma ihtiyacının %74 ü güneş enerjisinden karşılanmıştır [6].

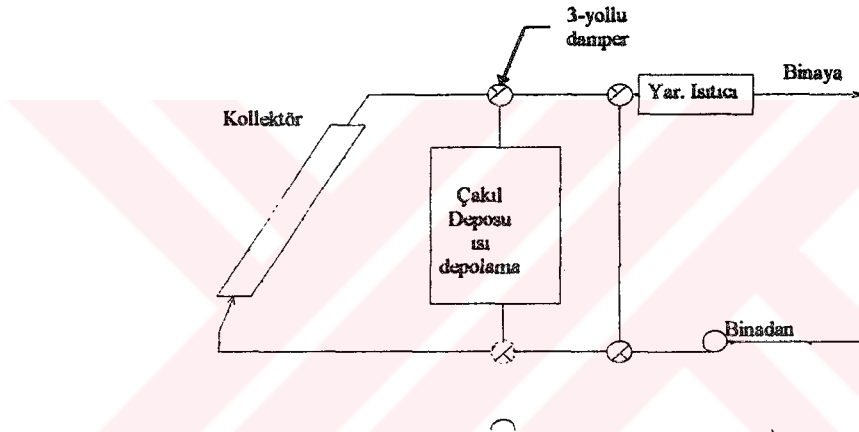
CSU Evi III; Düzlemsel Sıvılı Sistem Konut özelliği taşıyan Colorado State Üniversitesi (CSU) güneş evi büro ve labratuar olarak 130 m^2 taban alanına sahip iki kattan oluşmuştur. Binadaki ısı ihtiyaçlar kollektörlerden sağlanarak havalandırma kanallarıyla kullanım yerlerine ulaştırılmakta olup toplam UA sı 420 w/C dir. Kollektör 48.7 m^2 lik bölümü güneye bakan 45° eğimli olarak yerleştirilmiştir. Isıl enerji deposunu ise, 4 500 litrelik alt kattaki ve izole edilmiş yatay bir su tankı oluşturmaktadır. Su ısıtma alt sistemi 300 litrelik sıcak su tankı ve ana depo arasında çift duvarlı bir ısı eşanjörüne sahiptir. Yardımcı ısı kaynağı güneş enerji sistemiyle paralel olarak çalışmaktadır. Yardımcı ısıtıcı olarak havadan-havaya ısı pompası kullanılmıştır. Sistemin deneyleri Koraki ve arkadaşları tarafından 1984 te gerçekleştirilmiştir.

Bu binanın kollektörleri çift sıralı siyak krom seçici yüzeyli ($Fr(\tau\alpha)_n=0.71$ ve $F_R U_L=4.2 \text{ W/m}^2\text{C}$) bakır emici plakalı, temperlenmiş, düz plakalı kollektördür. 1984 ısıtma sezonunda yapılan ölçümler sonucu bina ısı ihtiyacının %80 nini güneş enerjisi sisteminden karşılamıştır [1].

1991 de R. Turner, Reno,Nevada da 50 m^2 bakır üzerine siyah krom kaplı seçici yüzeyli absorberlerin kullanıldığı sıcak hava kollektörleri ile toplam 300 m^2 lik kullanım alanına sahip güneş evinin hacim ısıtma ihtiyacını %90'ı güneş

enerjisinden karşılamıştır. Bu sistemde ısı depolama ortamı olarak su dolu tüpler kullanılmış olup, binanın kış aylarında hacim ısıtma ve yaz aylarında dahili kullanım için sıcak su ihtiyacı karşılanmıştır [7] .

Şekil.2.1 de tipik olarak yardımcı ısıtıcı, ısı depolu, ısı transferi akışkanı olarak havayı kullanan temel bir güneşli ısıtma sisteminin şeması görülmektedir. Uygun damper pozisyonlarıyla, farklı modlarda işletimler mümkün olabilmektedir. Birçok sıcak hava kullanılarak ısıtılan sistem, bir yandan enerji depolarken diğer yandan depodan enerji kullanımının pratik olmadığı şeklinde düzenlenmiştir.



Şekil.2.1 Sıcak hava sisteminin şeması

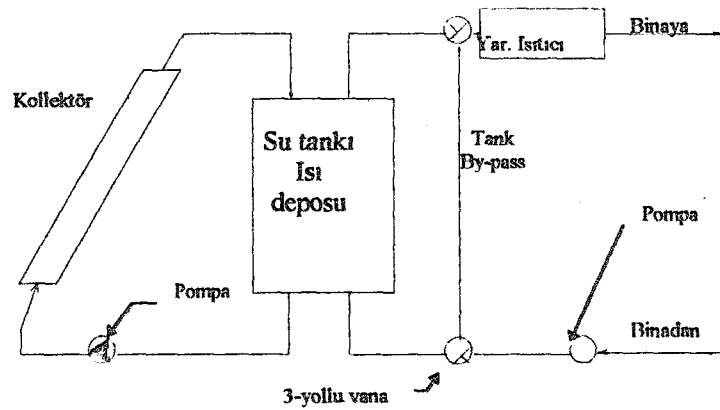
Yardımcı enerji kaynağından ısı enerji kullanımı, kolektörden sağlanan yada depolanmış olan ısı enerjinin ihtiyacı karşılayamadığı durumlarda devreye girer. Bu sistem düzenlenmesinde yardımcı enerji kaynağı tek başına mahal ısıtma için kullanılırken, kolektörü ve depoyu by-pass etmek mümkündür [1]. Tablo.2.1’de havalı sistemlere ait tipik dizayn parametreleri görülmektedir.

Şekil.2.2 ‘de sıvılı bir sisteme ait yardımcı enerji kaynağı, su depolama tankı ile ısıtma sisteminin temel şeması verildi. Bu sistem depo, yardımcı ısıtıcı çevriminden bağımsız olarak güneş kolektörü - depo çevriminin kontrolünü bir üç yollu vana kullanılarak sağlanmaktadır. Bu sistemde, kolektörlerinden elde edilen enerji ile ısıtılmış suyu depoya aktarılırken, binanın ihtiyaçlarını

karşlamak için depodan sıcak suyun sisteme alınmasını sağlar. Bu tip sistemlere ait dizayn parametreleri tablo.2.2 de verilmiştir.

Tablo2.1. Güneş enerjisiyle hava ısıtmalı sistemin tipik dizayn parametreleri[1]

Kollektör hava debisi	5-20 litre/m ² sn
Kollektör eğimi	($\phi+15^\circ$) $\pm 15^\circ$
Kollektör yüzeyinin azimuth açısı	$0^\circ \pm 15^\circ$
Depolama kapasitesi	0.15-0.35 m ³ çakıl/m ²
Geçirgen çakıl yatağın boyutu (standart boyutlandırılmış)	0.01-0.03 m
Akış yönünde yatağın uzunluğu	1.25-2.5 m
Basınç düşümleri	
Geçirgen yatak	55 Pa (minimum)
Kollektör	10-200 Pa
Kanal tesisatı	10 Pa
Geçirgen çakıl yatağına havanın max giriş hızı (55 Pa lık yatak basınç düşümünde)	4 m/sn
Su ön ısıtma tankı kapasitesi	1.5x konvansiyonel ısıtıcı



Şekil.2.2 Sıcak su sistemi şeması

Tablo.2.2. Sıvı güneş ısıtmalı sistemlerin dizayn parametreleri[1]

Kollektör alanı başına akışkan debisi	$0.010-0.020 \text{ kg/m}^2\text{sn}$
Kollektör eğimi	$(\phi+15^\circ) \pm 15^\circ$
Kollektör azimut açısı	$0^\circ \pm 15^\circ$
Kollektör ısı eşanjörü	$F'_R / F_R > 0.9$
Depolama kapasitesi	$50-100 \text{ litre/m}^2$
Ana ısı eşanjörü	$1 < \epsilon_L C_{min} / (UA)_h > 5$
Su ön ısıtma tankı kapasitesi	$1.5x \text{ konvansiyonel ısıtıcı}$

Havalı sistemler, sıvılı sistemlerle karşılaştırıldığında birçok avantaj sağlarlar. Havalı kollektörlerde sıvılı Kollektörlere göre donma ve kaynama sorunları elimine edilmiş ve korozyon sorunu azalmıştır. Havalı sistemlerde ısı depolama malzemesi olan çakılların yüzeyi yüksek sıcaklık derecelerine çıkabilmesi kollektöre giren akışkanın düşük sıcaklık derecelerinde olmasını sağlar. Kullanılan akışkan havadır ve hava ısıtma sisteminde direkt olarak kullanılabilir [8].

Hava ile ısıtma sistemlerinin mahsurları; akışkan pompalanmasına bağlı maliyet artışları (sistem basınç düşüşleri göz önüne alınarak dikkatlice tasarlanmamışsa), büyük depolama hacmi ve güneş enerjili havalandırma sisteminin, sisteme eklenmesinin güçlüğü ve kollektörden ve kanal tesisatından sızan, güneş enerjisiyle ısıtılmış havanın önemli miktarlarda kaybıdır. Havalı kollektörler sıvılılara kıyasla daha az akışkan kapasitesine ve daha küçük F_R değerlerine sahiptir [9].

Kapalı ortamların ısıtmasında kullanılan havalı sistemlerde genellikle çıkış sıcaklığı, gün içerisinde değişmekle birlikte sabit hava debisine göre çalıştırılır. Bu sistemlerde hava debisi değiştirilerek çıkış sıcaklığını sabit tutmak mümkündür fakat bu durum F_R 'ı düşürür. [1]

3.BÖLÜM

3. Güneş kolektörleri

Güneş kolektörleri içerisinde dolaşan akışkanın cinsine bağlı olarak havalı ve sıvılı kolektörler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Havalı kolektörler daha çok mekan ısıtmada kullanıldığından bu kısımda bu tip kolektörleri incelenecektir. Havalı kolektörler kolektör geometrisine bağlı olarak hacimsel ve düzlemsel kolektörler olarak iki kısımda incelemek mümkündür. Düzlemsel havalı kolektörlerin temel bileşenleri olan saydam örtü, emici yüzey (absorber) ve kasanın tiplerine bağlı olarak çeşitli adlarda anılmaktadırlar. Bunlardan en yaygın olarak kullanılan düzlemsel havalı kolektörleri, kullandıkları emicilerin şekline; kolektör içerisine yerleştirilme pozisyonlarına, geometrilerine ve içerisinde dolaşan akışkanın emici yüzeyden akış şekline bağlı olarak çeşitli adlarla adlandırılırlar. Havalı güneş kolektörleri üç temel kısımdan oluşmaktadır, bunlar:

a. Saydam örtü

Saydam örtünün kullanılış amacı, güneş ışınımını kolektörün iç kısma alıp, kolektörden çevreye olan ısı kayıplarını azaltmaktır. Saydam örtüler, üzerlerine gelen güneş ışınımının büyük bir kısmını geçiren buna karşılık çevreye taşınım ısı transferini ve emici yüzeyin yaydığı uzun dalga boylu ışınım kayıplarını en aza indiren levha veya film türünde malzemelerdir. Uygulamada, kolektör

saydam örtüsü olarak genelde camlar ve plastik esaslı saydam malzemeler kullanılır. Camlar, kısa dalga boylu ışıını geçirir ve emici yüzey tarafından neşredilen uzun dalga boylu ışıını tutarlar. Kendi bünyesinde emdiği ışıını miktarı ise camın içerisindeki demir oksit (Fe_2O_3) oranına bağlıdır.

Plastik esaslı saydam örtüler ise kısa dalga boylu güneş ışıınımlarını geçirme oranları yüksektir, fakat çoğu plastik örtüler, uzun dalga boylu ışıınıları (Emiciden yayılan) da geçirirler. Teflon gibi plastik esaslı malzemeler ise yüksek sıcaklıklara dayanabilirler [10].

b. Emici yüzey (absorber)

Güneş kollektörlerinin iç kısmına yerleştirilen ve güneşten üzerine gelen ışıınımları ısı enerjiiye dönüştürerek toplayan bu enerjiyi yüzeyinde dolaşan akışkana aktararak faydalı enerjiye dönüştüren yüzeylerdir.

Havallı güneş kollektörlerinde emici yüzey ile akışkan arasında taşınımla ısı transfer hızı küçük olduğundan emici yüzey olarak seçilen malzemenin ısı transfer alanı/hacim oranının büyük olması gerekmektedir. Bu şekilde ısı transfer alanı büyüyeceğinden akışkana aktarılan enerji artar. Emici yüzey olarak genellikle bakır, alüminyum ve paslanmaz çelik malzemeler siyah boya ile boyanır veya kaplama işlemi uygulanarak (seçici yüzey) kullanılır. Emici yüzey üzerine boya kullanılacaksa boya ısıya dayanıklı ve düz gözenekli olmalıdır. Isıya dayanıklı boyalar genellikle silikon ihtiva ederler ve 400°C 'nin üzerindeki sıcaklıklara dayanabilirler. Boyaların yutma oranları yüksektir fakat aynı zamanda neşretme oranları da yüksek olup yutma ve neşretme oranlarının her ikisi de yaklaşık % 90-95 mertebesindeir.

Kaplama yöntemi ile elde edilen seçici yüzeyler kısa dalga boylu ışıınıların ($0.3-3\ \mu\text{m}$) tamamına yakını yutar (yaklaşık % 95) ve uzun dalga boylu ışıını neşretme kabiliyeti düşüktür. Bu yüzeylerin belirli kombinasyonları güneş

radasyonunu çok iyi absorbe ettiği halde çok daha düşük oranda (%10 civarında) ısı neşreder. Bu tip emici levhalarla yüksek sıcaklıklara çıkmak emici levhadan ışıınım yolu ile çevreye enerji kaybını düşüreceğinden kollektör verimini yükseltir.

Bunların dışında camlar, Örtü malzemesi olarak kullanılan plastikler ve bazı tekstil ürünleri emici yüzey olarak da kullanılmıştır. Havalı kollektörlerde birden fazla emici yüzey kullanmak mümkündür [1,10-12].

c. Yalıtım ve kasa

Kollektörlerin alt ve yan kısımlarından ısı kayıpları söz konusudur. Bu kısımlar ısı iletim katsayıları düşük malzemeler kullanılarak yalıtılır. Yalıtım malzemelerinin yüksek sıcaklıklara dayanabilmesi ve yalıtım özelliklerinin zamanla bozulmaması istenir. Bunun yanı sıra bazı yalıtım malzemelerinin içerdıği bazı maddeler sıcaklıkla buharlaşarak saydam örtü üzerinde yoğunlaşarak örtünün geçirgenliğini azaltır. Bu nedenle yalıtım malzemesi işletme sıcaklığına göre seçilmelidir. Cam yünü ve poliüretan en çok tercih edilen yalıtım malzemeleridir. Havalı kollektörlerde insan sağlığı açısından cam yünü ve asbest kesinlikle kullanılmamalıdır. Yalıtım malzemesi ile kollektör levha arasında hava tabakası bırakılması ve üzerine ışıınım neşretme oranı yüksek olan alüminyum folya ile kaplanması durumunda ısı kaybı azalır [1,2].

3.1 Kollektörlerin ısı analiz

Kollektör üzerine gelen güneş ışıınının bir kısmı saydam örtüde yansır, bir kısmı yutulur ve geri kalan kısmı emici yüzeye ulaşır. Emici yüzeye gelen enerjinin, bir kısmı ısı taşıyıcı akışkana geçerken (faydalı ısı), bir kısmı kollektörde depolanır, geri kalan kısmı ışıınım, taşınım ve iletimle çevreye transfer olur. ışıınım, taşınım ve iletimle olan ısı kayıplarının toplamı Q_k , depolanan enerji Q_d , akışkana geçen enerji Q_u olmak üzere, kollektör için enerji dengesi

$$A_t(\tau\alpha)I = Q_u + Q_k + Q_d \quad (3.1)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $(\tau\alpha)$ kolektörün yutma-geçirme çarpımı, I kolektör üzerine gelen güneş ışınımı ve A_f faydalı kolektör yüzey alanıdır [13].

3.1.1 Kollektörden çevreye ısı kayıpları

Kollektörlerden çevreye olan transferi; kolektörlerin üst, alt ve yanlarından olur. Emici yüzey sıcaklığının T_y olduğu kısım (Şekil-3.1) ile çevre arasındaki ısı kayıp katsayısı, alttan ve üstten ısı kayıp katsayıları toplamıdır ve

$$U = U_b + U_t + U_o \quad (3.2)$$

şeklinde yazılabilir [14].

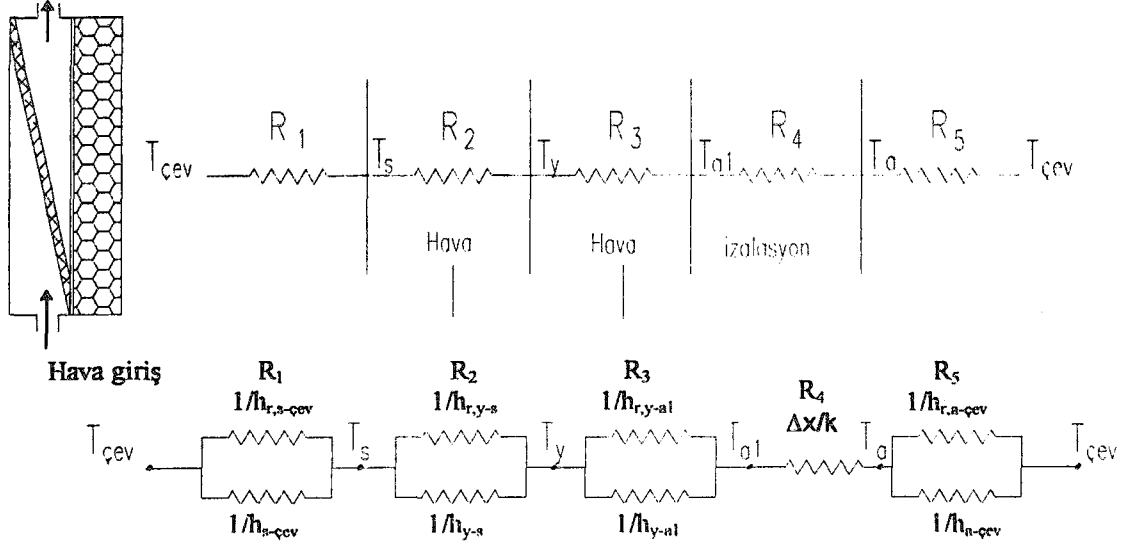
En üstteki saydam örtünün birim alanından çevreye olan transferi, emici yüzeyden saydam örtüye olan transferine eşittir. Bu durumda kolektörün üst yüzeyinden kaybolan ısı aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (burada saydam örtünün iletim direnci ihmal edilmiştir);

$$q_{üst,kayıp} = h_{y-s}(T_y - T_s) + \frac{\sigma(T_y^4 - T_s^4)}{\frac{1}{\epsilon_y} + \frac{1}{\epsilon_s} - 1} \quad (3.3)$$

$$q_{üst,kayıp} = (h_{y-s} + h_{r,y-s})(T_y - T_s) \quad (3.4)$$

Buna göre;

$$h_{r,y-s} = \frac{(T_y^2 - T_s^2)(T_y - T_s)}{\frac{1}{\epsilon_y} + \frac{1}{\epsilon_s} - 1} \quad (3.5)$$



Şekil.3.1. Havalı kollektörler için ısı transferinde ısı dirençlerin elektrik benzetimi ile gösterimi

Saydam örtüden çevreye ışınila ısı geçiş katsayısının belirlenmesi için gökyüzü sıcaklığı (T_G) dikkate alınmalıdır. Çünkü buradaki ısı direnç, T_G sıcaklığının fonksiyonu olarak ışınilma değişme meydana gelir. Kolaylık sağlaması için çevre sıcaklığındaki direnç referans alınacaktır [15,16]. Bu durumda, ışınilma ısı geçiş katsayısı;

$$h_{r,s-çev} = \varepsilon_s \frac{\sigma(T_s + T_G)(T_s^2 + T_G^2)(T_s - T_G)}{T_s - T_{çev}} \quad (3.6)$$

Şeklindedir.

Emici malzeme yüzeyinden izole edilmiş alt veya yan iç yüzeye ışınilma ısı geçiş katsayısı;

$$h_{r,y-al} = \frac{(T_y^2 - T_{a1}^2)(T_y - T_{a1})}{\frac{1}{\varepsilon_y} + \frac{1}{\varepsilon_{a1}} - 1} \quad (3.7)$$

Kollektörün alt yüzeyinden çevreye ışınlama ısı geçiş katsayısı;

$$h_{r,s-q\text{ ev}} = \varepsilon_s \frac{\sigma (T_s + T_G)(T_s^2 + T_G^2)(T_s - T_G)}{T_s - T_{q\text{ ev}}} \quad (3.8)$$

Kollektör emici yüzeyi ile saydam örtü ve saydam örtü ile çevre arasında taşınım ile ısı geçiş katsayıları ise, boyutsuz sayılar yardımı ile belirlenebilir.

Yukarıda verilen eşitliklerden sonra kollektörün alt, üstün ve kenar kayıpları ısı dirençleri aşağıdaki gibi tespit edilebilir.

$$R_1 = \frac{1}{h_w + h_{r,s-q\text{ oc}}}$$

$$R_2 = \frac{1}{h_{y-s} + h_{r,y-s}}$$

Olmak üzere kollektörün üst kısmından ısı kayıp katsayısı;

$$U_t = \frac{1}{R_1 + R_2} \quad (3.9)$$

dır. U_t ; bu hesap yönteminden başka, pratik bilgisayar similasyonları ve elle hesabı için aşağıdaki ifadeden maksimum $\pm 0.25 \text{ w/m}^2 \text{ K}$ hata ile bulunabileceği belirtilmiştir ve aşağıdaki şekilde verilmiştir [17];

$$U_t = \left\{ \frac{N}{\frac{C}{T_y} \left[\frac{T_y - T_{q\text{ ev}}}{N + f} \right]^m} + \frac{1}{h_w} \right\}^{-1} + \frac{\sigma (T_y + T_{q\text{ ev}})(T_y^2 + T_{q\text{ ev}}^2)}{\left[\varepsilon_y + 0.0591 N (1 - \varepsilon_y) \right]^{-1} + \frac{2N + f - 1}{\varepsilon_s} - N} \quad (3.10)$$

Burada,

$$h_w = 5.7 + 3.8V \quad 3.10.a$$

$$f = (1 - 0.04h_w + 0.0005h_w^2)(1 + 0.091N) \quad 3.10.b$$

$$C = 250(1 - 0.0044(\beta - 90)) \quad 3.10.c$$

$$m=0.43(1-100/T_y)$$

3.10.d

olup, V ; rüzgâr hızı(m/sn), β kollektör eğimi (derece), N ; saydam örtü sayısı, ε_y ;emici yüzeyin ısıtım neşretme oranı, ε_s saydam örtünün ısıtım neşretme oranı, h_w ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$) rüzgar ısı geçiş katsayısı, T_y ortalama emici yüzey ve $T_{\text{çev}}$ çevre sıcaklıklarıdır.

Kollektör alt yüzeyinden ısı kayıp katsayısı:

$$R_3 = \frac{1}{h_{y-a1} + h_{t,y-a1}}$$

$$R_4 = \frac{\Delta X}{k}$$

$$R_5 = \frac{1}{h_{a-q \text{ ev}} + h_{r,a-q \text{ ev}}}$$

$$U_b = \frac{1}{R_3 + R_4 + R_5}$$

Alt yüzeyden ısı geçiş katsayısında ki R_3 ve R_5 dirençleri toplam ısı kayıpların % 1-2 civarında olup ihmal edilebilecek mertebededir[18].

Kenar kayıp katsayısı:

$$U_o = \frac{(UA)_{\text{kenar}}}{A_k} \quad (3.11)$$

$$(UA)_{\text{kenar}} = \frac{h_{yal}}{L_{yal}} \cdot \text{Ç} \cdot L_k$$

h_{yal} : Yalıtım tarafı ısı taşınım katsayısı

Ç : $2(a+b)$ Kollektör çevresi

a : Kollektör boyu

b : Kollektör eni

L_k : Kollektör kenar kalınlığı

A_k : Kollektör alanı

L_{yal} : Yalıtım kalınlığıdır.

Sonuç olarak toplam ısı kayıp katsayısı

$$U=U_t+U_b+U_e$$

olarak ifade edilebilir.

3.1.2 Kollektör faktörleri

Faydalı enerjinin, kollektör emici yüzeyinin her noktasında akışkan giriş sıcaklığında olması halindeki faydalı enerjiye oranı *Kollektör Isı Kazanım Faktörü* olarak tanımlanır ve bu ifade aşağıdaki gibi verilir [1];

$$F_R = \frac{\dot{m} C_p}{A_k U_L} \left[1 - \exp \left(- \frac{A_k U_L F'}{\dot{m} C_p} \right) \right] \quad (3.12)$$

Burada;

$\dot{m}$: Havanın kütleli debisi,

C_p : Havanın özgül ısısıdır.

Eğer kollektörün her noktası akışkan giriş sıcaklığında ise, mümkün olan maksimum yararlı ısı elde edilir ve bu durumda çevreye olan ısı kayıpları minimum seviyeye iner. Buna göre F_R , gerçekte elde edilen yararlı ısı'nın mümkün olabilecek maksimum yararlı ısıya oranı şeklinde tarif edilebilir. F_R , debi arttıkça artar ve ısı geçiş katsayısı büyüdükçe azalır.

(3.15) denkleminde yer alan F' ise *Kollektör Verim Faktörü* olarak adlandırılır ve gerçekte elde edilen faydalı ısı'nın, emici yüzeyin akışkan sıcaklığında olması durumunda söz konusu olan ısıya oranıdır. F' kollektör tipine göre değişir

F_R asla kollektör verim faktöründen büyük olamaz. Akış oranı büyük alınırsa, girişten çıkışa sıcaklık artışı azalır, fakat emici yüzey sıcaklığı hala akışkan sıcaklığından yüksek olabilir. Bu sıcaklık farkı, kollektör verim faktörüyle

açıklanabilir. Bu iki faktörden başka bunlara bağlı olarak tanımlanan diğer bir faktör *Kollektör Akış Faktörü* (F'') olarak adlandırılır ve ;

$$F'' = \frac{F_R}{F'} = \frac{\dot{m}C_p}{A_k U_L F'} \left[1 - \exp \left(- \frac{A_k U_L F'}{\dot{m}C_p} \right) \right] \quad (3.13)$$

şeklinde ifade edilir[1].

3.1.2.1 Kritik Radyasyon Değeri

Sürekli şartlar altında çalışan bir kollektör için yararlı ısı;

$$Q_u = A_k F_R \left[(\tau \cdot \bar{\alpha}) I - U_L (T_g - T_{\varphi \text{ ev}}) \right] \quad (3.14)$$

şekline ifade edilir. Bu ifadeyi sıfıra eşitleyen I değeri kritik ışıınım değeri olarak adlandırılır. Yani I nın (yutulan ışıınım) kayıp terimi ile (U_L) birbirine eşit olması durumudur ve I_{kr} olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$I_{kr} = \frac{F_R U_L (T_g - T_{\varphi \text{ ev}})}{F_R (\tau \bar{\alpha})} \quad (3.15)$$

Bu durumda kollektör yararlı ısısı, kritik ışıınım seviyesi dikkate alınarak aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$Q_u = A_k F_R (\tau \bar{\alpha}) (I - I_{kr}) \quad (3.16)$$

Yutulan ışıınım ısı kayıplardan fazla olamaz ve I değerinin I_{kr} 'den daha büyük olması gerekir. Yukarıda verilen her iki yararlı ısı formülünde de parantez içindeki değerler pozitif olmalıdır. Pozitif olmamaları durumunda kollektörde akışkan akışının kesilip kesilmediği kontrol edilmelidir [1].

3.1.2. 2 Ortalama akışkan ve emici yüzey sıcaklığı

Kollektör performansını belirlemek için, kollektör içindeki ısı transfer katsayısının ve toplam kayıp katsayılarının bilinmesi gerekmektedir. Bunlar ise, sıcaklığın fonksiyonu olup, yüzey veya levha boyunca ortalama akışkan sıcaklığı aşağıdaki ifadeden belirlenir.

$$T_{a,m} = \frac{1}{L} \int_0^L T_a(y) dy \quad (3.17)$$

[3.20] ifadesinin integrali alınıp ve F_R ile Q_u ifadelerinde yerine konulduğunda,

$$T_{a,m} = T_g + \frac{Q_u / A_k}{F_R U_L} (1 - F'') \quad (3.18)$$

levha boyunca ortalama akışkan sıcaklığı hesaplanabilir.

Belirlenen bu sıcaklık, akışkan özelliklerini tespitinde kullanılır. Ortalama emici yüzey sıcaklığı, akışkan ve emici yüzey arasındaki ısı transfer dirençlerinden dolayı daima ortalama akışkan sıcaklığından büyük olmalıdır. Bu sıcaklık farkı, genelde sulu sistemlerde küçüktür fakat, havalı sistemlerde için önemli olabilir. Ortalama emici yüzey sıcaklığı,

$$T_{y,m} = T_g + \frac{Q_u / A_k}{F_R U_L} (1 - F_R) \quad (3.19)$$

Ortalama akışkan ve emici yüzey sıcaklıkları için başlangıçta bir tahmin yapıldıktan sonra iterasyonla tespit edilebilir. İlk tahmin için alınabilecek makul değerler akışkan debileri göz önüne alınarak:

Havalı kollektörlerde genellikle hava debisi; $0.01-0.02 \text{ kg/m}^2 \text{ sn}$

$$T_g = 20^\circ \text{C dir.}$$

Sulu kollektörlerde genellikle su debisi; $0.01-0.02 \text{ kg/m}^2 \text{ sn}$

$$T_g = 10^\circ \text{C dir}[1,7].$$

3.2. Kollektör Parametrelerinin Tespiti

Kollektörün çalışmasının nasıl olduğunun tam olarak anlaşılabilmesi için detaylandırılmış modellerin kullanılması uygundur. Sürekli hal modellerinin çoğu $F_R U_L$ ve $(\tau\alpha)$ değerlerinin belirlenmesini sağlayan parametreler içerir. Bu modellerde $\tau\alpha$ değeri açıya, U_L ve F_R değerleri ise sıcaklığa bağlı olarak değişir ve anlık kollektör verimi ise aşağıdaki gibi yazılır[19].

$$\eta = \frac{Q_u}{A_k I} = \frac{F_R [I(\tau\alpha) - U_L (T_g - T_{\infty})]}{I} \quad (3.20)$$

Eğer ışıının çoğu kollektör normalinden gelen direkt ışıının ise, kollektörün çalıştığı aralıkta F_R ve U_L değerleri büyük ölçüde değişmiyorsa, $F_R(\tau\alpha)_n$ ve $F_R U_L$ kollektörün nasıl çalıştığını tanımlayan iki parametredir. $F_R(\tau\alpha)_n$ enerjinin ne kadarının yutulduğunun, $F_R U_L$ ise enerjinin ne kadarının kaybedildiğinin bir göstergesidir. Bu iki parametre basit pratik kollektör modelini oluşturur. Burada;

$(\tau\alpha)_n$: Yüzeyin normali doğrultusunda gelen direkt ışıının için yutma-geçirme çarpımı

$(\tau\alpha)$: Ortalama yutma-geçirme çarpımı

F_R : Isı kazanım faktörüdür.

Bir başka parametre gelen ışıının etkisine göre tarif edilir ve geliş açısının değişim oranı olarak adlandırılır. Bu geliş açısı θ nın bir fonksiyonudur. Geliş açısının değişimi bir tek katsayı (b_o) yardımı ile belirlenebilir. Bu durumda düz kollektörler için, kollektörün çalışması üzerine büyük etkileri olan parametreleri (verim, geliş açısının değişimi ve ısı kapasitesi) belirlemek için $F_R(\tau\alpha)$, $F_R U_L$ ve b_o değerlerinin belirlenmesi gerekir. Kollektör çalışma verilerinin değerlendirilmesi için standart (ASHRAE 93-77) larda belirtilen işlemler geliştirildi.

Kollektör ısı deneyleri üç kısımda incelenecektir. İlki, kollektör anlık veriminin, ikincisi güneş ışıının geliş açısının etkilerinin ve üçüncüsü ise ısı kapasitesinin bir ölçüsü olan zaman sabitinin belirlenmesidir [1,10,20].

3.2.1. Kollektör verimi;

Kollektör performansının belirlenmesinin basit metodu, kullanılan kollektörü tanımlamak ve giriş sıcaklıkları ile akışkan debilerini ölçmektir. Burada yararlı ısı,

$$Q_u = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_\phi - T_g) \quad (3.21)$$

şeklinde ifade edilmekte ve bu ifadedeki;

$\dot{m}$: Kütlesel debi (kg/sn)

c_p : Sabit basınçta özgül ısı (J/kg-°K)

T_ϕ : Kollektör çıkış sıcaklığı (° K veya ° C)

T_g : Kollektör giriş sıcaklığı (° K veya ° C) dir.

Yukarıda bahsedilen ölçümlerden başka, kollektör üzerine gelen ışınlam, çevre sıcaklığı ve rüzgar hızı da belirlenmelidir. Buna göre, kollektör performansının belirlenebilmesi için iki tür veriye ihtiyaç vardır. Bunlar; ısı çıkış verileri ve ısı performansını etkileyen çevre şartlarını gösteren verilerdir. Bu veriler kollektörde enerjinin ne kadarının yutulduğunu ve çevreye ne kadarının kaybedildiğini gösteren parametrelerin yardımıyla kollektör karakteristikleri hakkında bilgi verir.

Sürekli hal'de çalışan kollektörün ısı performansını tanımlayan denklem (3.14) de verilmişti. Denklem (3.14) ve (3.21) birbirine eşitlenirse;

$$Q_u = A_k F_R [(\tau\alpha)I - U_L(T_g - T_{\phi ev})] = \dot{m} \cdot c_p (T_\phi - T_g) \quad (3.22)$$

olur. Kollektör verim ifadesi ise;

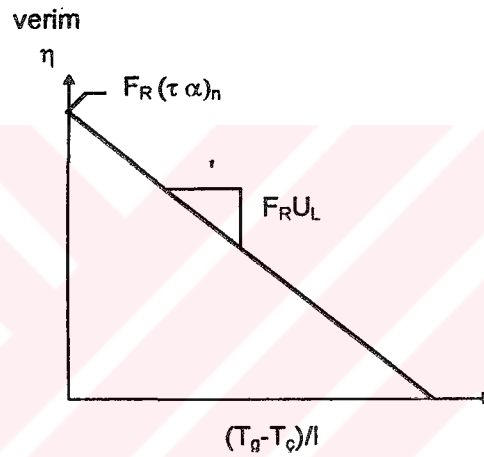
$$\eta = \frac{Q_u}{A_k I} \quad (3.23)$$

olmak üzere yukarıdaki ifadeler dikkate alınarak verim tekrar düzenlenirse,

$$\eta = \frac{\dot{m} c_p (T_f - T_g)}{A_k I} \quad (3.24)$$

şeklinde anlık verim ifadesi yazılabilir[1].

Şekil.3.2’de tipik bir kollektör verim eğrisi görüldüğü gibi verim eğrisinin eğimi $F_R U_L$ parametresine bağlıdır. Ayrıca kollektörün hangi şartlarda çalıştığını belirleyen parametre ise $(T_g - T_{\text{çev}})/I$ belirlenir ve işletme noktası parametresi olarak adlandırılır (İ.N.P.).



Şekil.3.2. Kollektörlerin tipik verim eğrisi [1].

Hava ısıtmalı güneş enerjisi sisteminin faydalı kullanım süresi, (İlk bahar sonu, Yaz ve Sonbahar başı) kollektördeki sıcak havadan hacim ısınma ihtiyacının olmadığı aylarda ise dahili sıcak su ihtiyacı karşılanarak uzatılabilir. Bunun için, ısı enerjisinin havadan suya geçişini sağlayacak ilave bir hava-su ısı eşanjörü gerekmektedir. Böyle çift amaçlı kullanılan bir sistem, oldukça düşük verimli durumlarda bile kullanılması uygun olabilir. Bu amaçla kullanılan ısı eşanjörünün ısı transfer yüzey alanı ile kollektör yüzey alanı arasındaki oranın bir fonksiyonu olarak ; çift amaçlı sistemlerin verimleri için matematiksel bir model geliştirilip irdelenmiştir [23]. Böyle bir sistemde kollektör verimi; Şekil.3.3. de görüleceği

gibi çift kullanımlı sistemin verimini bulmak için herhangi bir sistem dizaynı için hesaplanan β ile tanımlanır veya

$$\beta = \left[\frac{A_k / A_{eş}}{C \cdot h_h} + \frac{A_k}{2 \cdot \dot{m}_s \cdot c_{p_s}} - \frac{A_k}{2 \cdot \dot{m}_h \cdot c_{p_h}} \right] \quad (3.25)$$

olarak ifade edilmektedir [23]

Burada;

A_k : Kollektör alanı (m^2)

$A_{eş}$: Isı eşanjörü ısı transfer yüzey alanı (m^2)

$\dot{m}_s$: Su debisi ($kg/m^2 \text{ sn}$)

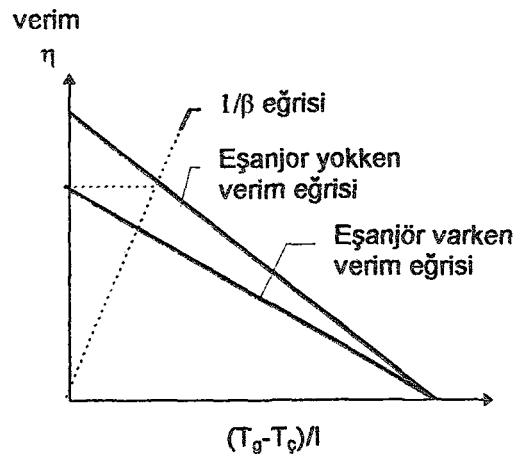
$\dot{m}_h$: Hava debisi ($kg/m^2 \text{ sn}$)

$C_{p_{h,s}}$: Hava ve suyun sabit basınçta özgül ısısı

C: Sabit (0.95)

h_h : Isı eşanjöründeki ısı transfer katsayısı ($W/m^2°C$) dir.

Şekil.3.3. de görüldüğü gibi eksen takımının orijininin çizilen $1/\beta$ eğimine sahip doğrunun, eşanjörsüz sistemin kollektör verim eğrisini kestiği noktadan verim



Şekil.3.3. Eşanjör kullanan kollektörün verim eğrisi [23]

eksenine dik doğru çizilerek verim eksenini kestiği noktadan ise eşanjörsüz sistemin veriminin sıfır olduğu notayla birleştirildiğinde elde edilen eğri, eşanjör kullanılan kollektörün verim eğrisini verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi eşanjör (eşanjör ısı transfer yüzey alanına bağlı olarak) kollektör verimini düşürmektedir[23].

3.2.2. Güneş ışınlarının geliş açısının değişimi

Güneş ışınlarının geliş açısının değişimi;

$$K_{\tau\alpha} = \frac{\overline{\tau\alpha}}{(\tau\alpha)_n} \quad (3.26)$$

şeklinde tanımlanır.

Açık günlerde özellikle gün ortasında $(\tau\alpha)_n$ in değeri $(\tau\alpha)$ ya çok yaklaşıp. Bu durumda,

$$Q_u = A_k F_R [I \cdot K_{\tau\alpha}(\tau\alpha) - U_L(T_g - T_{\text{çev}})] \quad (3.27)$$

olarak yazılabilir. $K_{\tau\alpha}$ nin değeri ayrıca aşağıdaki ifadeden de belirlenebilir;

$$K_{\tau\alpha} = 1 - b_o \left(\frac{1}{\cos \theta} - 1 \right) \quad (3.28)$$

θ : Gelen direkt ışınlama yüzeyin normali arasındaki açı

b_o : Geliş açısının değişim sabitidir ve genellikle negatiftir.

Bu ifade geliş açısının 60° den küçük olması halinde geçerlidir [1].

3.2.3. Kollektör zaman sabiti

Gelen güneş radyasyonunda veya akışkan giriş sıcaklığında bir değişiklik olduğunda, akışkan sıcaklığının başlangıç değerinden erişeceği son kararlı değer olan, çıkış sıcaklığına ulaşması ile meydana gelecek değişimin %63.2 sinin gerçekleşmesi için gereken süreye zaman sabiti denir. Zaman sabiti yardımıyla kararlı hal ve yarı kararlı halde gerçekleştirilen zaman aralıkları daha

sağlıklı belirlenir. TSE 4801 e göre zaman sabitinin belirlenmesi için önerilen yöntemde, kolektör yaklaşık kararlı hal koşullarında ve akışkan giriş sıcaklığı çevre sıcaklığına eşit yada çok yakın tutularak çalıştırılır. Güneş radyasyonu gölge yapılarak veya kolektörün yeri değiştirilerek aniden kesilir ve çıkış sıcaklığındaki azalma, zamanın fonksiyonu olarak not edilir. Tüm bu işlemler sırasında hava dolaşım fan'ı çalışır haldedir. Aşağıdaki eşitliği sağlayan t zamanına zaman sabiti denir[24].

$$(T_{\phi,t} - T_g) / (T_{\phi,i} - T_g) = 1/e = 0.368 \quad (3.29)$$

Burada;

$T_{\phi,t}$: t anındaki çıkış sıcaklığı

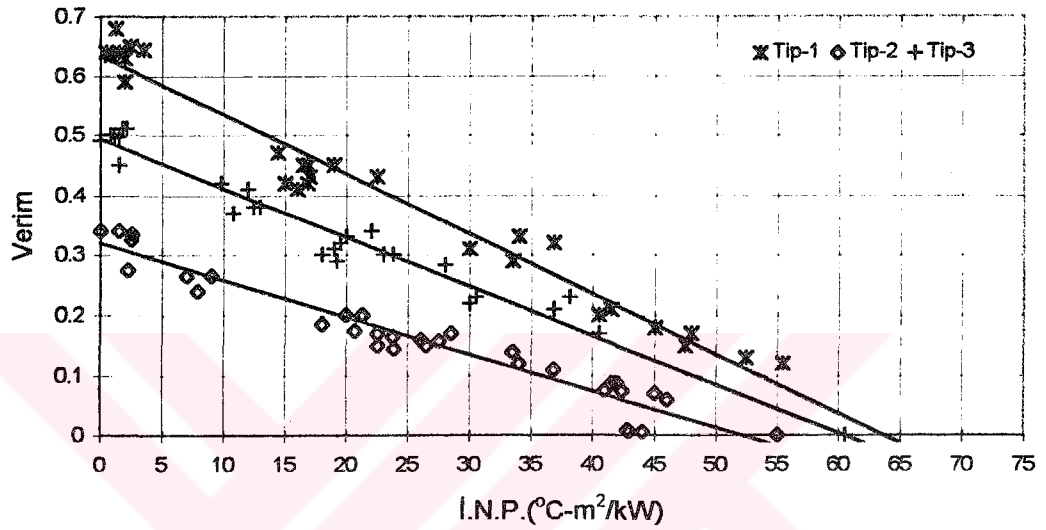
$T_{\phi,i}$: Güneş ışınımının kesildiği andaki çıkış sıcaklığı

3.3. Güneş kolektörünün seçimi

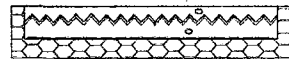
Güneş ısıtmalı sistemlerin karşılaştırılmasında $(T_{kg} - T_{k\phi})/I'$ 'ya karşı olan kolektör verimliliğinin eğrilerinin karşılaştırılması çok sık başvurulmuş bir yoldur. Ancak kolektör verim eğrilerinde sistemin diğer bileşenlerinin etkisinin olmaması buradan hareketle sistem performansının hesaplanması çok kaba bir yaklaşımdır.

Güneşli ısıtma sistemlerinde kullanılan düzlemsel güneş kolektörleri, sıvılı yada havalı kolektörlerinden oluşmaktadır. Sıvılı kolektörlerde (F_R) ısı kazanım faktörünün havalı kolektörlere nazaran yüksek olması (sıvılı kolektörlerde 0.9, havalı kolektörlerde 0.67 civarında) sıvılı kolektörleri daha verimli olduğu anlamını taşımamaktadır. Çünkü hacim ısıtma sistemlerinde kullanılan sıvılı kolektörlerin kolektör giriş sıcaklığı havalı kolektöre nazaran daha yüksek olmaktadır. Havalı kolektörlerde hacim dönüş havası (yaklaşık 20°C sıcaklığında) kolektör giriş havası olmaktadır. Sıvılı kolektörlerde ise kolektörde kapalı devre dolaşan ısıtıcı akışkan, bir sıvı-sıvı ısı eşanjörü yardımıyla ısısını hacim ısıtacak akışkana aktararak kolektöre geri (45-65°C) dönmektedir.

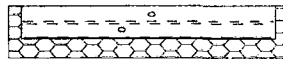
Biz bu sistemde havalı güneş kollektörleri kullanacağımızdan çeşitli havalı kollektör tiplerini pilot bir sistemde kullanarak performans analizleri yapılmış ve verim eğrileri çıkarılmış ve bunlar Şekil.3.4'de verilmiştir [20].



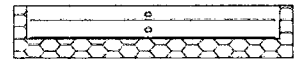
Şekil.3.4. Çeşitli havalı kollektörlerinin verim eğrileri



Tip-1 İki kat sinek teli
(Siyah boyalı)



Tip-2 Delikli levha
(Siyah boyalı)



Tip-3 Düz bakır levha
(siyah krom kaplı)

kollektör kasa ve saydam örtüsü aynı kalmak üzere emici levhaların cinsi ve kasa içerisine yerleştirilme şekilleri değiştirilmiştir.

Denklem (3.20)'de verilen verim ifadesi güneş ışınlarının geliş açısının değişiminde dikkate alınarak düzenlenirse;

$$\eta = F_R K_{\tau\alpha} (\tau\alpha) - F_R U_L (T_g - T_{\infty}) \quad 3.30$$

şeklini alır. Burada net emiciliğin $F_R K_{\tau\alpha} (\tau\alpha)$ ve toplam kollektör kayıpları ise $F_R U_L$ terimleri ifade etmektedir. Buradan hareketle verim ifadesi ;

$\eta = a - b \frac{(T_g - T_{\text{çev}})}{I}$ şeklinde bir doğru denklemi olarak ifadesi mümkündür

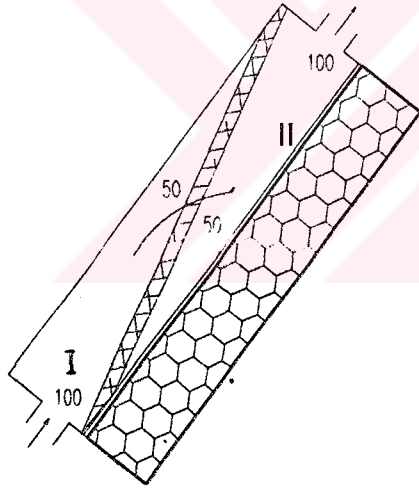
$$a = F_R k_{\text{ta}} (\tau \alpha)$$

$$b = F_R U_L$$

Havalı kollektörde emici yüzey ile ısı taşıyıcı akışkan olan hava arasındaki taşınım ile ısı transfer katsayısını artırmak; emici yüzeyin ısı transfer yüzey alanını büyütmek yada emici yüzeyi gözenekli (poroz) olmasıyla mümkündür. Emici yüzeyin gözenekli (poroz) oluşu sisteme ilave basınç kayıpları getirdiğinde düşünülmelidir. Havalı kollektörlerde ısı kayıplarının azaltılması için ise ;

1- Işınım kayıplarının azaltılması için emici yüzeyin seçici olması gerekmektedir. (bu ise kollektör maliyetini yükseltmektedir.)

2- Konveksiyon kayıplarını azaltmak için ise;



gözenekli (poroz) emici yüzey kollektör içerisine yandaki şekilde görüldüğü yerleştirilerek kollektörün iki bölgeye ayırması ve kollektöre 100 birim giren akışkanın bölgeler arasında debisinin değiştirecektir. Bu ise ısınan havanın II bölgede ve nispeten soğuk havanın I bölgede kalması sağlanarak sıcak havanın saydam örtüyle temasını azaltmakla mümkün olacağı düşünülmektedir.

4.Bölüm

4. Enerji depolama sistemleri

Güneş enerjisi zamana bağlı yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Bir çok uygulamada enerji ihtiyacı zamana bağlıdır. Sonuç olarak enerji ihtiyaçlarının önemli bir kısmını güneş enerjisinden temin edilecekse enerjinin depolanması gerekir.

Enerji depolamada kullanılacak sistem ve diğer elemanlarında göz önüne alınarak hesaplanması gerekir. Bir enerji depolama sisteminin ortalama kapasitesi ise faydalı güneş radyasyonunun zamana bağımlılığına, depolama enerji seviyesine, depolama ortamının türüne, sistemin ısı ihtiyaçlarının depodan minimum karşılanma süresine, yardımcı enerji sağlama şekline ve senelik toplam depolanabilir enerji miktarının ekonomik analizine bağlıdır.

Genel olarak enerji depolama şekilleri,

- a) Kimyasal enerji depolama (termokimyasal, elektrokimyasal)
- b) Mekanik enerji depolama (hidroelektrik, volan vs.)
- c) Elektrik enerjisi depolama (magnetik alanla)
- ç) Isıl enerji depolama (hissedilir, gizli ısı)

olarak gruplandırılabilir [2].

Isıl enerjiyi depolama, faz değiştiren bir sistemde kimyasal değişme yoksa, termodinamiğin birinci kanununa göre sabit basınçta ısı enerji depolanması

$$q_d = \int_{T_1}^{T_p} c_{pk} dt + h_{ks} + \int_{T_e}^{T_s} c_{ps} dt \quad (4.1)$$

şeklinde yazılabilir. Burada, c_{pk} ve c_{ps} sırası ile katı ve sıvının sabit basınçtaki özgül ısıları, T_e erime sıcaklığı ve h_{ks} erime gizli ısıdır.

Yukarıdaki denkleme göre, ısı enerjisi;

a) Maddenin ısı kapasitesi ile sıcaklığı artırılarak

b) Maddenin erime ısısıyla sabit sıcaklıkta faz değişimi ile

depolanmaktadır. Isıl enerjinin maddenin ısı kapasitesiyle depolanmasına "hissedilir ısı depolama", erime ısısıyla depolanmasına da "gizli ısı depolama" denilmektedir. Gizli ısı depolamada, sabit basınçta hacim çok arttığından veya sabit hacimde basınç çok arttığından tercih edilmeyebilir [1,2].

4.1.Hissedilir ısı depolama

Sıcaklığı T_1 ve kütlesi m olan bir madde T_2 sıcaklığına yükseltirse, ısı kapasitesi dolayısıyla depolanan hissedilir ısı ;

$$Q = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1) = V \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (4.2)$$

şeklinde yazılabilir. Burada V ısı depolama maddesinin hacmi, ρ yoğunluğu ve c_p sabit basınçta özgül ısıdır. Son bağıntıdan görüldüğü gibi, bir ΔT sıcaklık farkında ve belli bir hacimde depolanan ısı enerjinin daha fazla olması için maddenin hacimsel özgül ısısı ($\rho \cdot c_p$) büyük olmalıdır. Suyun hacimsel özgül ısısı diğer maddelere göre daha büyüktür.

Hissedilir ısı depolanmasında faydalanılan maddenin hacimsel özgül ısısının büyük olması yanında, yanma ve alevlenme özelliğinin olmaması, uzun süre (10-15 yıl) özelliklerini muhafaza etmesi, zehirlenme ve korozyon tesirinin bulunmaması, istenir. Tabidir ki maddenin kolay temin edilebilir ve ucuz olması da gerekir. Uygulamada, temin edilme kolaylığı ve ucuzluğu sebebiyle, daha çok su veya çakıl taşı tercih edilir[1,2].

4.1.1. Suya enerji depolama

Hissedilir ısı depolamasında en yaygın kullanılan maddelerden biri su'dur ve çok sayıda avantaja sahiptir. Bunlar;

1. Ucuz ve kolay temin edilebilirliği,
2. Zehirlenme ve alevlenme özelliğinin olmaması,
3. Fiziksel, kimyasal ve termodinamik özellikleri iyi bilinmesi,
4. Enerji depolamasında kullanılırken aynı zamanda enerji toplayıcı akışkan olarak da kullanılabilmesi,
5. İyi ısı depolama özelliği (hacimsel özgül ısı büyük),
6. Isıtma ve soğutma sistemleri için gerekli sıcaklık aralığında kararlı bir sıvı-buhar dengesine sahip olması,
7. Isı geçişi ve akışkan dinamiği iyi bilinmesi ve korozyon etkisini azaltan inhibitör teknolojisinin gelişmiş olmasıdır.

Suyun dezavantajları ise; donduğu zaman genişlediğinden, donmaya karşı tedbir alınmalıdır. Korozyon yapıcı özelliğinden dolayı depo içerisine inhibitör ilave edilmelidir ve yüksek sıcaklıklarda enerji depolanma zor oluşudur. Genel olarak su dolu bir tank, sistem olarak göz önüne alınırsa enerji dengesi;

$$(m.c_p)_d \frac{dT_d}{dt} = Q_u - Q_y - Q_k \quad (4.3)$$

şeklinde yazılabilir. Burada; Q_u toplayıcıdan gelen ısı, Q_y ihtiyaç için çekilen ısı ve Q_k depodan çevresine ısı kaybıdır. Yukarıdaki denklem depolama ünitesinin uzun vadeli sıcaklığını belirlemek amacıyla istenilen zaman aralığında integre edilmelidir. Bu denklem sonlu fark iterasyonu ile çözümünden Δt zaman adımı ve T_d^+ bir sonraki zaman adımında depo sıcaklığı olmak üzere, depo sıcaklığının değişimi aşağıdaki gibi yazılabilir [7].

$$T_d^+ = T_d + \frac{\Delta t}{(mc_p)_d} [Q_u - Q_y - (UA)_d (T_d - T_{\infty})] \quad (4.4)$$

Depodan Çevresine Isı Kaybı

Depo ile çevresi arasındaki ısı geçişi, depo ve çevre sıcaklıkları sırasıyla T_d ve $T_{çev}$ ısı geçiş yüzeyi A_d olmak üzere

$$Q_{dk} = U_d A_d (T_d - T_{çev}) \quad (4.5)$$

dir. Burada, U_d depo ile çevresi arasında toplam ortalama ısı geçiş katsayısıdır ve deponun geometrisine (kübik, silindirik, küresel vs.) iç ve dış yüzeylerdeki ısı taşınım katsayısına ve yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı ile kalınlığına bağlıdır.

Sıcak su depolarının üst yüzey alanı yan yüzey alanından daha küçüktür ve üst yüzeydeki ısı taşınım katsayısının yan yüzeylerdeki ısı taşınım katsayısına eşit alınabilir. Keza, depo duvarının iç yüzeylerdeki ısı taşınım katsayısı sonsuz alınabilir. Ayrıca, depo iç yüzeyinde kullanılan metal malzemenin ısı direnci de çok küçüktür. Böylece, bu kabullerle depo için toplam ısı geçiş katsayısı, deponun yan yüzeylerindeki toplam ısı geçiş katsayısına yaklaşık eşit alınabilir.

Yan yüzeylerdeki toplam ısı geçiş katsayısı, dikdörtgen prizma ve küp şeklindeki depolar için;

$$\frac{1}{U_d} = \frac{1}{h_d} + \frac{\delta_y}{k_y} \quad (4.6)$$

silindirik depolar için

$$\frac{1}{U_d} = \frac{1}{h_d} + \frac{d_a \cdot \ln\left(\frac{d_a}{d_i}\right)}{k_y} \quad (4.7)$$

ve küresel depolar için

$$\frac{1}{U_d} = \frac{1}{h_d} + \frac{d_a^2 \left(\frac{1}{d_d} - \frac{1}{d_i} \right)}{2k_y} \quad (4.8)$$

şeklinde yazılabilir. Burada; δ_y yalıtım malzemesinin kalınlığı, k_y yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı, d_d ve d_i sıra ile iç ve dış çaplardır.

Deponun dış yan yüzeyindeki ısı taşınım katsayısı h_d , depo sıcaklığının yüksek olmadığı durumlarda ($10^4 < Gr.Pr < 10^9$) düşey silindirik ve kübik depolar için;

$$h_d = 1.42 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{0.25} \quad (4.9)$$

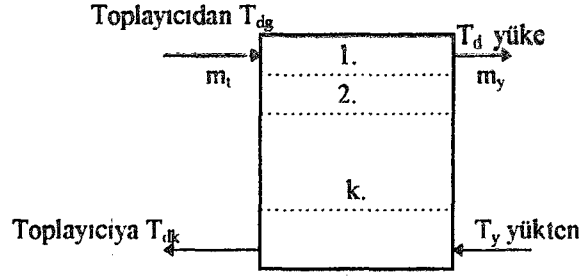
yatay silindir ve küresel depolar için ($10^3 < Gr.Pr < 10^7$);

$$h_d = 1.42 \left(\frac{\Delta T}{d_d} \right)^{0.25} \quad (4.10)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir [2].

Depolama tankının tabakalaşma analizi

Pek çok güneş sisteminde depolama tanklarının birkaç dereceli tabaka halinde incelenerek toplam ısı kayıplarının hesaplanması gerekir. Bunun nedeni depolama tankının en üst bölgesiyle en alt bölgesi arasındaki sıcaklık farklılıklarıdır. Bu analizde oldukça pratik bir yöntem olan ve nümerik integrasyon gerektiren seri haldeki enerji denge denklemleri kullanılır. Bu method "Multinode" yaklaşımı olarak açıklanabilir. Seri haldeki enerji denge denklemlerini yazarak nümerik integrasyon (Runge-Kutta, Predictor-Corrector) metotlarını kullanarak hesaplamaya çalışılır. Multinode yaklaşımında depolama tankı N adet katmana (node) bölünür. Her bir tank bölümü için enerji denge denklemleri yazılır. Dolayısıyla sonuç N tane set halindeki diferensiyel denklemdir. Bu denklemlerdeki N tane sıcaklık, zamanın bir fonksiyonu olarak elde edilir başka bir deyişle N tane zamanın fonksiyonu olan sıcaklık denklemleri elde edilir.



Birinci tabaka için ;

$$\left(\dot{m}c_p\right)_{d1} \frac{dT_{d1}}{dt} = \left(\dot{m}c_p\right)_t (T_{dg} - T_{d1}) - (KA)_{d1} (T_{d1} - T_{\varphi ev}) \quad (4.11)$$

Şeklindedir.

İkinci tabaka için;

$$\left(\dot{m}c_p\right)_{d2} \frac{dT_{d2}}{dt} = \left(\dot{m}c_p\right)_t (T_{d1} - T_{d2}) - (KA)_{d2} (T_{d2} - T_{\varphi ev}) \quad (4.12)$$

ve k'inci tabaka için;

$$\left(\dot{m}c_p\right)_{dk} \frac{dT_{dk}}{dt} = \left(\dot{m}c_p\right)_t (T_{d,k-1} - T_{d,k}) - (KA)_{dk} (T_{dk} - T_{\varphi ev}) \quad (4.13)$$

yazılabilir[2,16].

4.1.2.Çakıl taşların ısı enerji depolama

Havalı ısıtma sistemlerinde ve seralarda güneş enerjisinin depolanması, daha ziyade çakıl taşlar ile yapılır. Çakıl taşları ucuzdur ve kolay temin edilebilirler. Yüzey alanları büyük olduğundan hava ile çakıl taşları arasındaki ısı geçişi iyidir. Ayrıca, taşların birbirlerine temas yüzeyi küçük olduğundan taşlar arasında iletimle ısı geçişi küçük, dolayısıyla depo kenarlarından çevresine ısı kaybı azdır. Çakıl taşlarının ısı enerji depolamanın dezavantajları ise; hacimsel özgül ısıları küçük olduğundan belli bir miktardaki ısı enerjisinin

depolanabilmesi için suya göre daha büyük hacim gerekmektedir. Ayrıca, çakıl taşları arasında havanın dolaştırılabilmesi için gerekli güç, su ile depolamada suyun dolaştırılabilmesi için gerekli güçten daha fazladır. Depolanan ve toplanabilen enerji miktarı ile ısı ihtiyacına göre devrelerden birisi kapatılır diğeri açılır.

Çakıl taşı ile hava arasındaki ısı transferi, depo içerisindeki basınç düşüşü ile ters orantı olarak değişir. Basınç düşüşünün az olması için, havanın akış doğrultusundaki depo uzunluğunun kısa, parçacıklar arasındaki boşlukların fazla ve parçacıkların üniform büyüklükte olması gerekir. Isı geçişinin fazla olması için ise, ısı taşınım yüzeyinin büyük, yani belli bir hacimdeki depoda bulunan parçacıkların sayısı fazla ve havanın depo içindeki akış mesafesi büyük olmalıdır. Pratikte, basınç düşüşünün 3-12 mm su sütunu aralığı için, 2 ila 4 cm çapında çakıl taşları kullanılır. Yüksekliği 1.5-2 m olan silindirik depolar seçilir. Hava debisi 0.6 ile 4 m³/s-m² mertebesinde [2].

Çakıl taşı depolarında, akışın ve ısı taşınım katsayısının analizi, daha ziyade, küresel parçacıklar göz önüne alınarak yapılır. Depo hacmi ve parçacıkların toplam hacmi sıra ile V_d ve V_p olmak üzere, boşluk oranı (boşluk hacminin, depo hacmine oranı);

$$\alpha = 1 - \frac{V_p}{V_d} \quad (4.14)$$

ve parçacıkların toplam yüzey alanı ;

$$A_p = \frac{6 \cdot (1 - \alpha) \cdot V_d}{d} \quad (4.15)$$

yazılabilir. Burada, d parçacıkların çapıdır.

Depoda ısı taşınım katsayısı için, küresel parçacıklar için Nusselt sayısı:

$$Nu_d = \frac{0.23}{\alpha} \cdot (Re_d)^{2/3} \quad (4.16)$$

bağıntısıyla verilmektedir. Löff ve Hawley [2], farklı şekillerdeki N adet parçacık için eşdeğer küresel çap;

$$d_o = \left\{ \frac{6 \cdot V_p}{\pi \cdot N} \right\}^{1/3} \quad (4.17)$$

ve deponun kesit alanı A_d olmak üzere, hacimsel ısı taşınım katsayısı ($w/m^3 \cdot K$) için, m (kg/s) hava debisi olmak üzere,

$$h_v = 650 \left\{ \frac{\dot{m}}{A_d d_o} \right\}^{0.7} \quad (4.18)$$

şeklindedir. Depo içindeki basınç düşüşü ise, depo yüksekliği (akış doğrultusunda) L olmak üzere

$$\Delta P = \frac{\dot{m}^2 L (1 - \alpha)^2}{\rho A_d^2 d_o \alpha^3 Re_d} \left(368 + 1.24 \frac{Re_d}{1 - \alpha} \right) \quad (4.19)$$

bağıntısından hesaplanabilmektedir. Burada, ρ havanın yoğunluğu ve m debisidir.

Çakıl taşlı ısı deposundaki sıcaklığın değişimi, radyal yöndeki sıcaklık gradyeni ihmal edilerek, karıştırılmış su depolarında olduğu gibi, depo N adet bölmeye ayrılarak her bölme için nümerik çözümle bulunabilir[2].

4.2. Gizli ısı depolaması

Maddelerin, faz değişimi sırasında iç enerjilerindeki artış ile sabit sıcaklıkta ısı depolanmasıdır. Bütün maddeler faz değiştirebilir, fakat birçok maddenin faz değişimi arzulanan sıcaklıkta değildir. Gizli ısı depolanmasında kullanılan maddelerin;

- a) Fiyatı ucuz,

- b) Kolay temin edilebilir,
- c) Yanıcı, alevlenici ve korozyon olmaması,
- ç) Faz değiştirme sıcaklığı arzulanan mertebede olması,
- d) Gizli ısısının yüksek,
- e) Isıl genleşme katsayısının küçük,
- f) Isı yayılım ve ısı iletim katsayılarının yüksek,
- g) Faz değişiminde hacim değişimi az, olmalıdır.

Faz değiştiren maddelerle belli bir miktardaki ısıнын depolanabilmesi için gerekli hacim, aynı ısıyı su ve çakıl taşlarıyla depolamak için gerekli hacimden çok küçüktür. Diğer bir avantajı da, depodan ısı çekilmesi sırasında depo sıcaklığının yaklaşık sabit kalmasıdır. Fakat çakıl taşı ve suya nazaran çok daha pahalıdır. Sıvı-buhar faz değişiminde, sabit basınçta hacim çok arttığından veya sabit hacimde basınç çok arttığından, ısı depolamasında fazla tercih edilmez. Bu tür ısı depolamasına daha ziyade soğutma sistemlerinde rastlanmaktadır ve çift depo kullanılmaktadır. Gizli ısı depolamasında, daha ziyade, katı-sıvı faz değişiminde yararlanılır[1,2].

Eriyerek faz değiştiren maddelerle, gizli ısı depolanmasının yanında hissedilir ısı depolaması da yapılır. Gizli ısı depolamasında yaygın kullanılan maddelerden birisi de parafindir. Erime sıcaklığı arzulanan mertebelere indirilebilmesine rağmen yanıcı olması sebebiyle özel tedbirler alınarak kullanılabilir. Plastik ve bakır gibi bazı maddelere korozyon etkisi vardır. Eridiği zaman hacmi %20 oranında artar. Düşük sıcaklıkta ısı depolamasında kullanılan faz değiştiren maddelerin ısı iletim katsayıları küçük olduğundan depoya uygun şeklin verilmesine dikkat edilmelidir. Depo içindeki maddenin iç kısmının eriyebilmesi (veya katılaşabilmesi) için depo kesitinin çok küçük ve yüzeyinin büyük olması gerekir. Ayrıca korozyona ve sızdırmaya kaşı da tedbir alınmalıdır.

5.Bölüm

5. Güneş evinin ısı yükleri

5.1 Binanın ısıtılması için gerekli ısı yükü

Gaz ve sıvı yakıtların veya elektrik enerjisinin kullanıldığı geleneksel ısıtma sistemlerinin aksine, güneş enerjisinin etkinliği ve ekonomikliğı büyük oranda hacim ve/veya su ısıtma yükleriyle ilişkili olarak güneş enerjisi ısıtma sisteminin boyutuna bağılıdır. Geleneksel sistemlerde, ısıtma sistemlerinin boyutlandırılması için genellikle dizayn ısıtma yüklerinin (muhtemel en yüksek ısı yükü) hesaplanması yeterlidir. Buna karşın, güneş enerjisi ısıtma sistemlerinin dizaynı için, her ayın uzun dönem ortalama ısı yüklerinin hesaplanmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Binanın coğrafi yerleşimi, mimari dizaynı, konumu, yapı kalitesi ve sakinlerin yaşam tarzları gibi çeşitli faktörler ısıtma yüklerini etkiler. Basit derece-gün metodundan saatlik meteorolojik bilgileri kullanılan detaylı bilgisayar simülasyonları gibi çeşitli hacim ısıtma yükleri hesap yöntemleri geliştirilmiştir [29].

5.1.1 Derece gün metodu

Bir binanın hacim ısıtma yükü hesabının derece-gün metodu; binanın içerisindeki yeterli (rahat yaşanır) sıcaklığı sürdürebilmek için ihtiyaç duyulan ısı enerjisinin öncelikle iç-diş sıcaklıkların farkına bağılıdır. Bir binanın iç ortam sıcaklığını 22°C de tutabilmek için aylık hacim ısıtma yükü, L_s , ay boyunca derece-gün sayısı ile ilgili bir büyüklük olarak kabul edilir.

$$L_s = (1 + \zeta)(\sum UA).DG.Z \quad (5.1)$$

Burada DG: Bir ay içindeki derece-günlerin sayısı

U: Toplam ısı geçiş katsayısı

A: Binanın ısı kaybı olan dış yüzeylerinin toplam alanı

Z: Günlük ısıtma süresi

ζ : çeşitli zam kesirleri (işletme, yön vb.)

Bir tek gündeki derece-günlerin sayısı 18.3°C ortam sıcaklığı ile günlük ortalama dış sıcaklık (en yüksek ve en düşük günlük sıcaklıkların ortalaması) arasındaki farktır. Eğer ortalama günlük dış sıcaklık 18.3°C den büyük ise, derece-gün sayısı sıfır olarak alınır. Derece-günler 22°C yerine 18.3°C kullanılarak hesaplanır, çünkü bina içerisindeki enerji yayılımı (fırın, ampul, elektrikli aletler, insanlar vb.) ve pencerelerden giren güneş enerjisi genellikle içerideki sıcaklığı 18.3°C den 22°C ye yükseltilmesine yetecektir. Bir ay içerisindeki derece-günlerin sayısı günlük derece-günlerin toplamıdır.

$$UA = \frac{\text{Dizayn ısıtma yükü}}{\text{Dizayn sıcaklık farkı}} \quad (5.2)$$

Bina ısıtmak için aylık derece-gün değerleri

$$DG_i = (T_{iç} - T_{dış}) \cdot n_i \quad (5.3)$$

n_i : Bir aydaki gün sayısı

$T_{iç}$: Referans alınan ortam sıcaklığı (18.3°C)

$T_{dış}$: Günlük ortalama dış ortam sıcaklığı

Binayı ısıtmak için yıllık derece-gün değerleri ise;

$$DG = \sum_{i=1}^{12} n_i \cdot (T_{iç} - T_{dış}) \quad (5.4)$$

denkleminde hesaplanabilir. [26]

5.2. Sıcak su hazırlama ısı yükü

Ev içi dahili kullanımda, temizlik işleri ve değişik amaçlar için farklı sıcaklıkta su gerekmektedir. Yapılan istatistik araştırmalar sonucunda, soğuk suyun ısıtıcılarda 55-60° C ye ısıtılmasının uygun olduğu görülmüştür. Sıcak su üretimi, günün saatlerine göre değişir. Otellerde, okullarda, konutlarda ve işyerlerindeki sıcak su tüketimleri de farklıdır ve ülkelere göre farklı değerler alınmaktadır. Genellikle konutlar için sıcak su miktarı kişi başına 40-75 litre/gün, okullarda öğrenci başına 5 litre/gün ve işyerleri için kişi başına 10-15 litre/gün seçilmektedir. Bir günlük sıcak su ihtiyacı m_y ise aylık sıcak su ihtiyacı için gerekli ısı miktarı;

$$L_y = m_y c_p (T_y - T_{\text{ş}}) n_i \quad (5.5)$$

dir. Burada, c_p suyun ortalama sıcaklıkta sabit basınçta özgül ısısı, T_y kullanma suyu sıcaklığı, $T_{\text{ş}}$ aylık ortalama şebeke suyu sıcaklığı ve n_i bir aydaki gün sayısıdır. Yıllık ısı miktarı da aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$L_y = \sum L_{yi} = m_y c_p \sum_{i=1}^{12} n_i (T_y - T_{\text{ş}i}) \quad (5.6)$$

Dahili kullanım suyu sıcaklığı yaklaşık 60° C mertebesinde dir. Şebeke suyu sıcaklığı ise bölgelere ve aylara göre değişir.

Aylık sıcak su ihtiyacı için derece-gün

$$SDG_i = (T_y - T_{\text{ş}i}) n_i \quad (5.7)$$

olarak alınır ve yıllık sıcak su derece-gün değeri

$$SDG = \sum_{i=1}^{12} n_i (T_y - T_{\text{ş}i}) \quad (5.8)$$

olarak verilebilir[1].

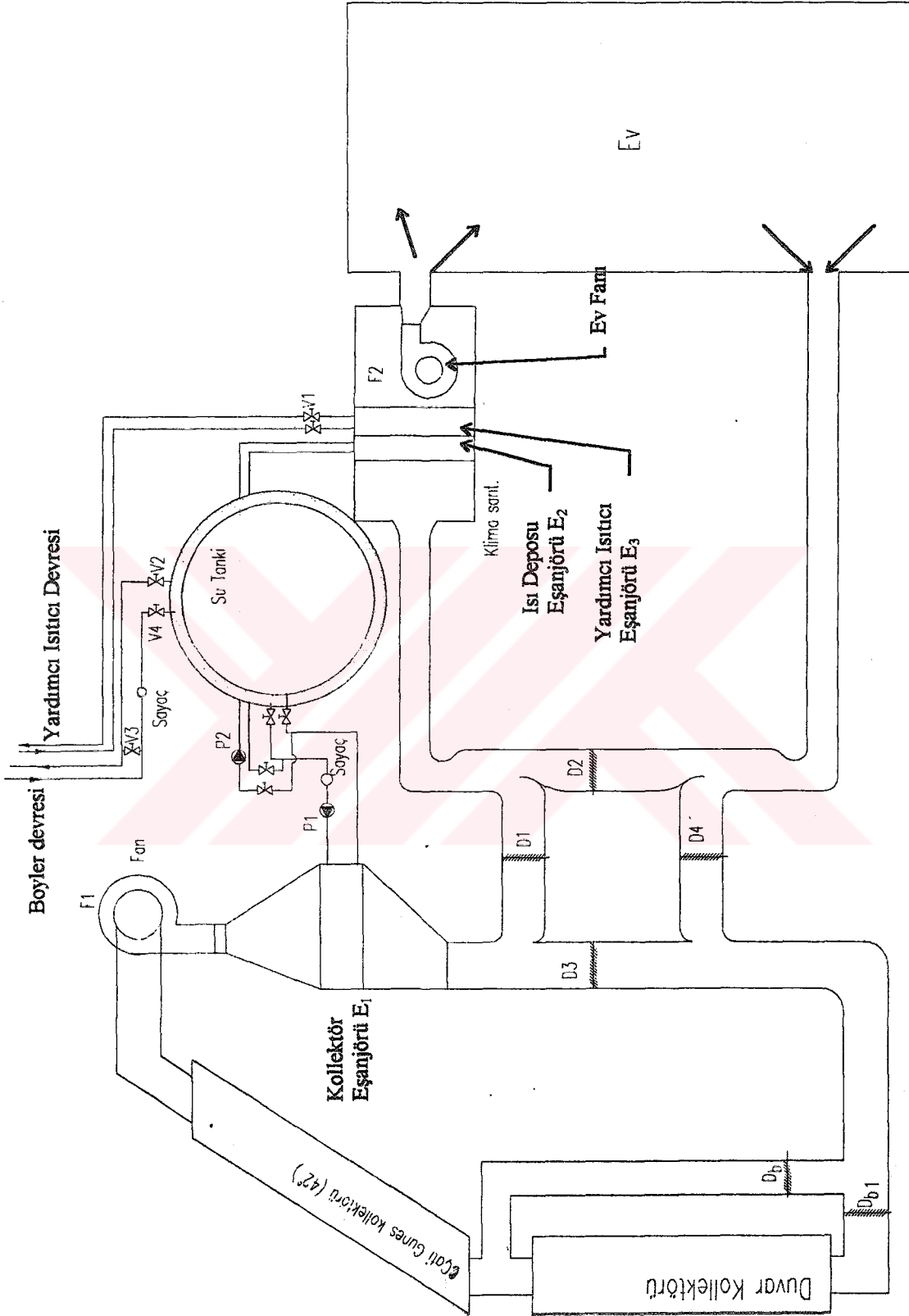
6.Bölüm

6. Erciyes üniversitesi güneş evi modeli ve ısı dengeleri

Şekil.6.1 da şematik şekli verilen erciyes üniversitesi güneş evinin bileşenleri hava kollektörü, enerji depolama tankı, hava ve su dolaşım boru ve kanalları, hava klapeleri ve su vanaları ve otomatik kontrol devresinden oluşmaktadır. Güneş enerjisi sisteminin asli görevi kampüs alanı içerisindeki güneş evinin ısınma ihtiyacını karşılama olmakla birlikte binanın ısınmaya ihtiyacı olmadığı günlerde ise dahili sıcak su temin etmektir. Kurulmakta olan güneş enerji sistemi çeşitli modlarda çalıştırılarak hedeflenen ihtiyaçları karşılayacaktır. Aşağıda fonksiyonları ve enerji dengeleri çıkarılan modların ısı hesaplamaları gerçek veriler kullanılarak ek-5'de verilen bilgisayar programıyla değerlendirilmiştir.

6.1. Sistem modlarının tarifi

Sistemin temel amacının binanın ısı ihtiyacının karşılanması olduğundan bu amacı gerçekleştirmek için sistemin değişik modlarda (fonksiyonlarda) çalıştırılması gerekmektedir. Meteorolojik verilerin değişkenlik arz etmesinden dolayı binanın ısı ihtiyacının karşılanmasında sistemin mahal ısıtmak için ısıyı güneş enerjisinden direk, depodan veya yardımcı ısıtıcı devresinden temin yoluna gidilmiştir. Bu ise gerçekleştirdiğimiz sistemde beş ayrı modda sistemin çalıştırılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Bunlar; Kollektörden direk ev ısıtma



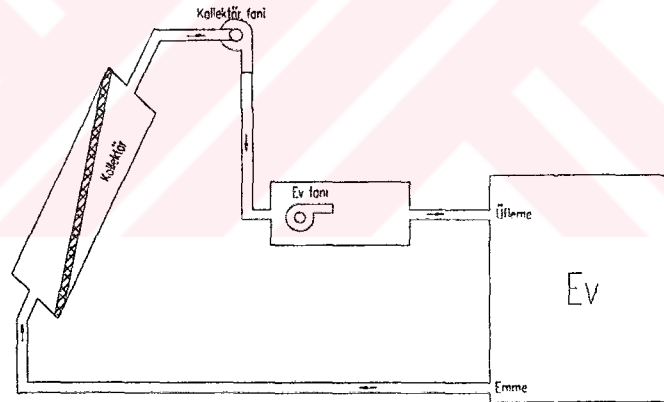
Şekil.6.1. Erciyes Güneş evinin Şematik Görünümü

modu, Isı depolama modu, Isı deposundan mahal ısıtma modu, Yardımcı ısıtma devresinden mahal ısıtma modu ve de binanın ısınmaya ihtiyacı olmadığı dönemlerde ise hastane mutfağı için sıcak su hazırlama modu olarak dizayn edilmiştir.

6.1.1. Kollektörden direk ev ısıtma (Mod-1)

Mahalin ısınmaya ihtiyacı olduğu periyotlarda (Şekil.6.2) kollektörde ısınan hava direkt mahale üflenerek binanın ısı ihtiyacı karşılanacaktır.

Bu modda havalı kollektörde ısınan hava ev fanı yardımıyla eve üflenecek ve ev dönüş havası tekrar kollektöre girecektir. Kollektörden direk ev ısıtma modunun çalışması için gerek ve yeter şart binanın ısınmaya ihtiyaç duyması ve kollektör çıkış sıcaklığının 35° C un üzerinde olmasıdır.



Şekil.6.2. Mod-1 Kollektörden direk ev ısıtma

Kollektörden direk ev ısıtma modunda enerji dengesi: Sistem bu modda çalışırken çalışan elektrik motorlarının sisteme enerji katkısı ihmal edilirse evin enerji dengesi

$$(M_{ev}C_p)_{ev} \cdot \frac{dT_{ev}}{dt} = Q_b - L_s - Q_{KK}$$

Yukarıdaki denklem ΔT zaman adımı, T_{ev}^+ bir önceki zamanda ev sıcaklığı olmak üzere sonlu farklar yaklaşımı ile çözülürse; Ev sıcaklığının zamana bağlı değişimi

$$T_{ev}^+ = T_{ev} + \frac{\Delta t}{(M_{ev} \cdot Cp)_{ev}} \cdot (Q_u - L_s - Q_{KK}) \text{ olur.}$$

Kollektörden hava ile çekilen ve eve verilen enerji

$$Q_u = (m_{ev} \cdot Cp) \cdot (T_{K, çık} - T_{K, gir})$$

Evin iç enerjisindeki Δt zaman dilimindeki değişme

$$\Delta U_{ev} = (M_{ev} \cdot Cp)_{ev} \cdot (T_{ev}^+ - T_{ev})$$

Burada M_{ev} evin toplam iç hacmi, Cp ise oda sıcaklığında havanın sabit basınçta özgül ısıdır.

Sistem kanalları ısıtılan mahal içerisinde olduğundan $Q_{KK}=0$ alınabilir buna göre binanın ısı kaybı

$$L_s = Q_u - \Delta U_{ev} \text{ olur.}$$

Bina ısı kaybı aynı zamanda ısı ihtiyacı olarak da aşağıdaki gibi;

$$L_s = (UA)_{ev} (T_{iç} - T_{dış}) \text{ yazılabilir.}$$

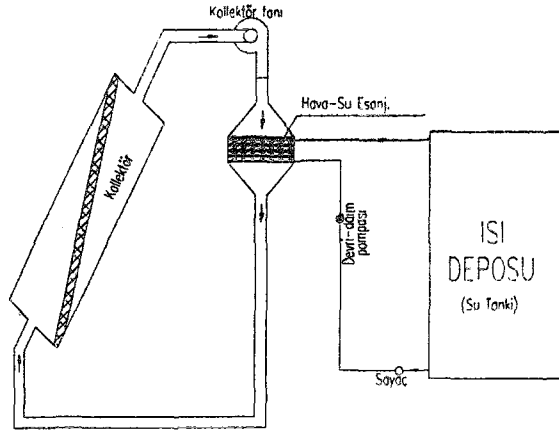
Bu mod çalışırken sistemin harcadığı elektrik enerjisi ise

$$Q_{ELK} = (Q_{fan-1} + Q_{fan-2}) \cdot \Delta t \text{ bağıntısıyla ifade edilebilir.}$$

6.1.2. Suya ısı depolama (Mod-2)

Kollektörden binanın ısı yükünün üzerinde enerji elde edildiğinde bu ısı bir havas su ısı eşanjörü (E1) yardımıyla suya depolanmaktadır. Bu modun çalışması için yeter ve gerek şart mahal sıcaklığı 22°C un üzerinde ve kollektör çıkış sıcaklığı 35°C dan büyük olması durumunda geçerli olacaktır. Kış aylarında dahili sıcak su tankı ısı depolama tankı olarak çalıştırılmaktadır (Şekil.6.3)

Sistem bu modda çalışırken ısı enerji deposundan depo kayıpları haricinde depodan herhangi bir enerji çekilmemektedir. Fakat depo, eşanjör ve kanallar ısıtılan mahalde olduğundan bunların kayıpları bina ısı kazancı olarak alınmasını gerektirmektedir. Buna göre deponun enerji dengesi;



Şekil.6.3.Mod-2 Kollektörden ısı depolama

$$(M_{\text{depo}} C_p)_{\text{depo}} \cdot \frac{dT_{\text{depo}}}{dt} = Q_u - L_s$$

olur. Yukarıdaki denklem Δt zaman adımı, T_{depo}^+ bir önceki zamanda depo sıcaklığı olmak üzere sonlu farklar yaklaşımı ile çözülürse; Depo sıcaklığının zamana bağlı değişimi;

$$T_{\text{depo}}^+ = T_{\text{depo}} + \frac{\Delta t}{(M_{\text{depo}} \cdot C_p)_{\text{depo}}} \cdot (Q_u - L_s) \text{ olur.}$$

Kollektörden hava ile çekilen enerji;

$$Q_u = (m_{\text{kol}} \cdot C_p) \cdot (T_{\text{K, çık}} - T_{\text{K, gir}})$$

E1 eşanjöründe havanın attığı enerji;

$$Q_{\text{E1,h}} = (m_{\text{kol}} \cdot C_p) \cdot (T_{\text{E1,hg}} - T_{\text{E1,hç}})$$

E1 eşanjöründe suyun çektiği enerji;

$$Q_{\text{E1,s}} = (m_{\text{E1,s}} \cdot C_p) \cdot (T_{\text{E1,sç}} - T_{\text{E1,sg}})$$

E1 eşanjörünü ve kanallarda kaybolan enerji;

$$Q_{\text{KK}} = (m_{\text{kol}} \cdot C_p)_{\text{kanal}} \cdot (T_{\text{kç}} - T_{\text{E1,hg}}) + (Q_{\text{E1,h}} - Q_{\text{E1,s}})$$

Evin iç enerjisindeki değişme;

$$\Delta U_{\text{Ev}} = (M_{\text{Ev}} C_p)_{\text{Ev}} \cdot (T_{\text{Ev}}^+ - T_{\text{Ev}})$$

Deponun Δt zaman dilimindeki iç enerji değişimi;

$$\Delta U_{\text{depo}} = (M_{\text{depo}} \cdot C_p)_{\text{depo}} \cdot (T_{\text{depo}}^+ - T_{\text{depo}}^-)$$

Buna göre depo kaybı;

$$Q_{\text{DK}} = Q_{\text{E1,s}} - \Delta U_{\text{depo}}$$

Buna göre binaya aktarılan enerji;

$$L_s = Q_{\text{KK}} - Q_{\text{DK}} \text{ olur.}$$

Binanın ısı kaybı;

$$Q_{\text{evk}} = L_s - Q_{\text{ev}}$$

E1 eşanjör verimi;

$$\eta_{\text{eq}} = \frac{Q_{\text{E1,s}}}{Q_{\text{E1,h}}} \text{ olur.}$$

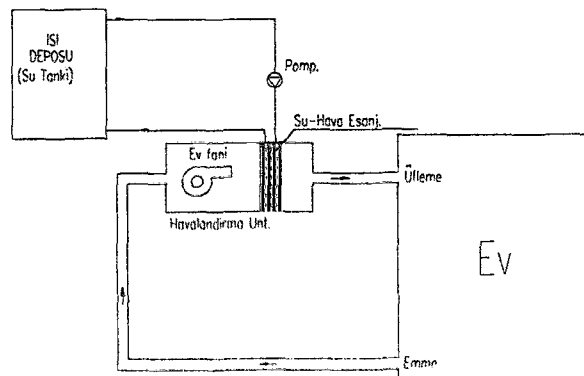
Sistem bu modda çalışırken harcanan elektrik enerjisi ise;

$$Q_{\text{ELK}} = (q_{\text{Fan1}} + q_{\text{d1}}) \cdot \Delta t \text{ dir.}$$

6.1.3. Isı Deposundan Mahal Isıtma (Mod-3)

Depo sıcaklığı 35° C un üzerinde ve kolektör çıkış sıcaklığı 35° C un altına ise ve de bina ısınmaya ihtiyaç duyduğu (Güneşsiz bir gün veya geceleri) zamanlarda bu modla depodan bina ısıtılması düşünülmektedir (Şekil.6.4.).

Depoda bulunan sıcak su, klima ünitesi içerisindeki sudan havaya (E2) bir ısı eşanjörü yardımıyla mahal havasını ısıtacaktır.



Şekil.6.4. Mod-3 Isı deposundan ev ısıtma

Sistem bu modda çalışırken depodan, depo kayıpları haricinde herhangi bir enerji çekilmemektedir. Fakat depo, eşanjör ve kanallar ısıtılan mahalde olduğundan bunların kayıplarının bina için ısı kazancı olarak alınmasını gerektirmektedir. Buna göre deponun enerji dengesi;

$$(M_{\text{depo}} C_p)_{\text{depo}} \cdot \frac{dT_{\text{depo}}}{dt} = L_s$$

olur. Yukarıdaki denklem Δt zaman adımı, T_{depo}^+ bir önceki zamanda depo sıcaklığı olmak üzere sonlu farklar yaklaşımı ile çözülürse; Depo sıcaklığının zamana bağlı değişimi;

$$T_{\text{depo}}^+ = T_{\text{depo}} + \frac{\Delta t}{(M_{\text{depo}} \cdot C_p)_{\text{depo}}} \cdot L_s \text{ olur.}$$

E2 eşanjöründe havanın aldığı enerji;

$$Q_{E2,h} = (m_{\text{ev}} \cdot C_p) \cdot (T_{E2,hg} - T_{E2,hq})$$

olarak ifade edilir.

E2 eşanjöründe suyun attığı enerji (aynı zamanda depodan çekilen enerji);

$$Q_{E2,s} = (m_{E2,s} \cdot C_p) \cdot (T_{E2,sq} - T_{E2,sg})$$

denkleminde,

Deponun Δt zaman dilimindeki iç enerji değişimi;

$$\Delta U_{\text{depo}} = (M_{\text{depo}} \cdot C_p)_{\text{depo}} \cdot (T_{\text{depo}}^+ - T_{\text{depo}})$$

denkleminde,

Depodan çevreye kaybolan enerji;

$$Q_{DK} = \Delta U_{\text{depo}} - Q_{E2,s}$$

denkleminde,

Evin Δt zaman dilimindeki iç enerji değişimi;

$$\Delta U_{\text{ev}} = (M_{\text{ev}} \cdot C_p)_{\text{ev}} \cdot (T_{\text{ev}}^+ - T_{\text{ev}})$$

denkleminde hesaplanabilir.

Buna göre binaya aktarılan enerji L_s , deponun iç enerjisindeki değişme kadardır

Binanın ısı kaybı;

$$Q_{EVK} = \Delta U_{\text{depo}} - \Delta U_{\text{ev}}$$

bağıntısından ve
E2 eşanjör verimi;

$$\eta_{eq} = \frac{Q_{E2,s}}{Q_{E2,h}} \text{ hesaplanabilir.}$$

Sistem bu modda çalışırken harcanan elektrik enerjisi ise;

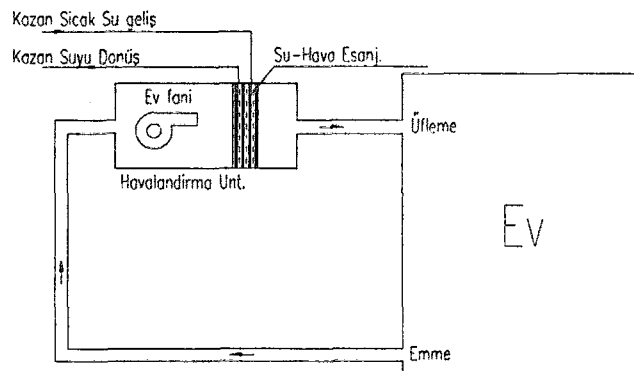
$$Q_{ELK} = (q_{Fan2} + q_{d2}) \cdot \Delta t \text{ dir.}$$

6.1.4. Yardımcı Isıtıcı ile Mahal Isıtma (mod-4)

Bu mod da (Şekil.6.5.) ise güneş ve ısı depolama tankında mahal ısıtmak için yeterli ısının temin edilmesi durumunda geleneksel ısınma yöntemleri ile mahallin ısıtılması düşünülmüştür. Kalorifer tesisatına bağlı bulunan klima ünitesi yardımcı ısıtıcı ısı eşanjörü (E3 sudan-havaya) sıcak sudan çekilen ısı enerjisi ile mahal havasını ısıtacaktır.

Sistem bu modda çalışırken depo, eşanjör ve kanallar ısıtılan mahalde olduğundan bunların kayıpları bina ısı kazancı olarak alınmasını gerektirmektedir. Buna göre ev enerji dengesi;

$$(M_{ev} C_p)_{ev} \cdot \frac{dT_{ev}}{dt} = Q_{yar} - L_s$$



Şekil.6.5. Mod-4:Yardımcı ısıtıcıdan ev ısıtma

olur. Yukarıdaki denklem Δt zaman adımı, T_{ev}^* bir önceki zamanda depo sıcaklığı olmak üzere sonlu farklar yaklaşımı ile çözülürse; Depo sıcaklığının zamana bağlı değişimi

$$T_{ev}^+ = T_{ev} + \frac{\Delta t}{(M_{ev} \cdot Cp)_{ev}} \cdot (Q_{yar} - L_s) \text{ olur.}$$

Bu durumda, E3 eşanjöründe havanın aldığı enerji;

$$Q_{E3,h} = (m_{ev} \cdot Cp) \cdot (T_{E3,hg} - T_{E3,hq})$$

denkleminde,

E3 eşanjöründe suyun attığı enerji;

$$Q_{E3,s} = (m_{E3,s} \cdot Cp) \cdot (T_{E3,sq} - T_{E3,sg})$$

denkleminde hesaplanabilir.

Evin Δt zaman dilimindeki iç enerji değişimi;

$$\Delta U_{ev} = (M_{ev} \cdot Cp)_{ev} \cdot (T_{ev}^+ - T_{ev})$$

bağıntısından hesaplanabilir.

E3 eşanjör verimi;

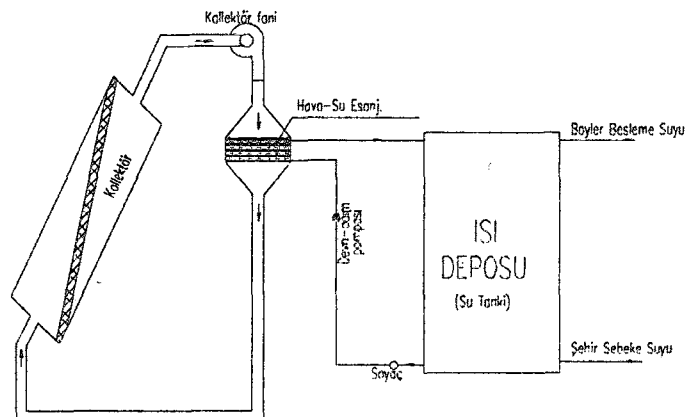
$$\eta_{eq} = \frac{Q_{E3,s}}{Q_{E3,h}} \text{ olur.}$$

Sistem bu modda çalışırken harcanan elektrik enerjisi ise;

$$Q_{ELK} = (q_{Fan2}) \cdot \Delta t \text{ dır.}$$

6.1.5. Sıcak Su Hazırlama (mod-5)

Havalı güneş kollektöründen sıcak su hazırlama (Şekil.6.6) modu mahallin ısıya ihtiyacı olmadığı (İlkbahar sonu, Yaz ve Sonbahar başı) günlerde sistemin sıcak havadan bir hava-su ısı eşanjörü (E1) yardımıyla sıcak su hazırlamasıdır. Bu tip



Şekil.6.6.Mod-5:Sıcak su hazırlama

su ısıtma işleminin verimi, düşük olmasına rağmen güneşten faydalanma periyodunu uzatacağından sistem için faydalı olacaktır. Bu modda sistem, mutfak sıcak su boylerinin besleme suyunun ön ısıtması gibi çalışmaktadır. Bu modun çalışması için gerek ve yeter şart depo ile kollektör çıkış sıcaklığı arasında 5-10° C luk sıcaklık farkının olmasıdır.

Sistem bu modda çalışırken depo enerji dengesi;

$$(M_{\text{depo}} \cdot Cp)_{\text{depo}} \cdot \frac{dT_{\text{depo}}}{dt} = Q_u - L_y - Q_{KK} - Q_{EK} - Q_{DK}$$

olur. Yukarıdaki denklem Δt zaman adımı, T_{depo}^+ bir önceki zamanda depo sıcaklığı olmak üzere sonlu farklar yaklaşımı ile çözülürse; Depo sıcaklığının zamana bağlı değişimi

$$T_{\text{depo}}^+ = T_{\text{depo}} + \frac{\Delta t}{(M_{\text{depo}} \cdot Cp)_{\text{depo}}} \cdot (Q_u - L_y - Q_{KK} - Q_{EK} - Q_{DK}) \text{ olur.}$$

Kollektörden hava ile çekilen enerji;

$$Q_u = (m_{k\text{ ol}} \cdot Cp) \cdot (T_{K,\text{çık}} - T_{K,\text{gİR}})$$

denkleminde,

E1 eşanjöründe havanın attığı enerji;

$$Q_{E1,h} = (m_{kol} \cdot Cp) \cdot (T_{E1,hg} - T_{E1,hç})$$

denkleminde,

E1 eşanjöründe suyun çektiği enerji;

$$Q_{E1,s} = (m_{E1,s} \cdot Cp) \cdot (T_{E1,sç} - T_{E1,sg})$$

denkleminde,

E1 eşanjöründe kaybolan enerji;

$$Q_{EK} = Q_{E1,h} - Q_{E1,s}$$

denkleminde,

Kanal kayıpları ise;

$$Q_{KK} = (m_{kol} \cdot Cp)_{kanal} \cdot (T_{kç} - T_{E1,hg}) \text{ olarak belirlenir.}$$

Servis suyuyla çekilen enerji;

$$L_y = m_y \cdot Cp_y \cdot (T_y - T_s)$$

bağıntısından,

Deponun Δt zaman dilimindeki iç enerji değişimi;

$$\Delta U_{depo} = (M_{depo} \cdot C_p)_{depo} \cdot (T_{depo}^+ - T_{depo})$$

bağıntısından hesaplanır ve buna göre depo kaybı;

$$Q_{DK} = Q_{E1,s} - L_y - (\Delta U_{depo})$$

olarak ifade edilir.

E1 eşanjör verimi;

$$\eta_{eq} = \frac{Q_{E1,s}}{Q_{E1,h}} \text{ olur.}$$

Sistem bu modda iken harcanan elektrik enerjisi ise aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$Q_{ELK} = (q_{Fan1} + q_{d1}) \cdot \Delta t$$

7.Bölüm

7. Sistemin otomatik kontrolü

Genelde iki tip kontrol sistemi güneş kollektörü ve güneş enerjisi ile ısıtılan uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır, bunlar; on-off ve orantılı (proportional) tiplerdir. Bir on-off tipi kontrolü ile karar; kollektörlerden elde edilebilecek faydalı çıktının olup olmayacağına bağlı olarak sirkülasyon fanının açık veya kapalı duruma getirilmesi (düğmenin çevrilmesi)dir. Orantılı (proportional) kontrol ile fanının hızı, kollektör çıkışında söz konusu belirtilmiş bir sıcaklık seviyesine bağlı olarak (atıfta bulunan sıcaklık) değişmektedir. Stratejilerin her ikisi de büyük çapta kollektördeki enerjinin faydalı kullanımına bağlı olarak avantaj ve dezavantajlara sahiptir.

En genel kontrol sistemi; biri kollektör çıkışında absorber plaka üzerinde (veya plakaya yakın boru üzerinde) ve biri de depolama ünitesinin alt kısmında iki sıcaklık sensörü gerektirir. Eğer düşük ısı kapasitesine sahip bir kollektörü ele alırsak, akışkanın aktığı esnada kollektör sıcaklık sensörü akışkan sıcaklığını hisseder, akışkan akmadığı zaman, ortalama plaka sıcaklığı T_p ölçülmektedir. Kontrol ünitesi bu sıcaklığı ve depolama ünitesinin altındaki sıcaklığı algılar. Bu depolama sıcaklığı fan açık olduğu zaman T_f olarak adlandırılacaktır. Depolama ünitesinin altındaki sıcaklık eğer boru bağlantıları kayıpsız ise akışkan giriş sıcaklığına eşit olacaktır. Bununla birlikte akışın olmadığı şartlarda, fan açık iken ΔT_{on} kadarlık fark kadar T_f geçilmekte (aşılmaktadır).

Fanın açık olduğu ve ölçülen sıcaklık farkı ΔT_{off} farkı kadar aşağı düştüğü zaman kontrol ünitesinin fanı kapatması gerekmektedir. Kontrol ünitesinin fan çevriminin açık ve kapalılık durumunda ortaya çıkacak problemleri ortadan kaldırmak için ΔT_{on} ve ΔT_{off} her ikisi de seçildiği zaman mutlaka denenmelidir.

Kollektör fanı kapalı olduğu zaman faydalı çıkış enerjisi sıfırdır ve absorber plakasının ulaşacağı denge sıcaklığı aşağıdaki şekilde verilmektedir[1];

$$I_s - U_L (T_p - T_a) = 0 \quad (7.1)$$

Bu ifadede absorber plaka sıcaklığı ise;

$$T_p = T_i + \Delta T_{on} \quad \text{'a eşit olduğu zaman S nin değeri;}$$

$$S_{on} = U_L (T_i + \Delta T_{on} - T_a) \quad (7.2)$$

ifadesi ile belirtilmektedir.

Fan açık olduğu zaman faydalı enerji kazanımı;

$$Q_u = A_k F_R (S_{on} - U_L (T_i - T_a)) \quad (7.3)$$

S_{on} 'un alt ifade olan (7.2) denklemindeki değeri yerine konulduğu zaman (7.3) denklemi aşağıdaki hale dönüşür;

$$Q_u = A_k F_R U_L \Delta T_{on} \quad (7.4)$$

Bu şartlar altında çıkış sıcaklığı aşağıdaki ifadeden bulunur;

$$Q_u = (\dot{m} c_p) (T_o - T_i) \quad (7.5)$$

Sıcaklık farkı $(T_o - T_i)$ hava akışı başladıktan sonra kontrol ünitesi tarafından ölçülen sıcaklıktır. Sonuç olarak; sistemi kapatma kriteri aşağıdaki eşitsizliğin yeterli olması veya sistemini verimli olmasıdır (güneş ışınımı S_{on} 'an karşılık gelenden daha yüksek bir yeterlilik seviyesine artıncaya kadar);

$$\Delta T_{off} \leq \frac{A_c F_R U_L}{\dot{m} c_p} \Delta T_{on} \quad (7.6)$$

Erciyes güneş evi sisteminde kullanılan kontrol sistemi basit ve ucuzluğundan dolayı on-off kontrolüdür. Sistem otomatik kontrolü için ilk mukayese kriterimiz dış sıcaklığın 18 °C nin altında veya üstünde oluşu bize mahallin ısınmaya ihtiyacı olup olmadığını bildirecektir. Dış ortam sıcaklığı 18° C un üzerinde ise (Sonbahar başı,Yaz veya ilk bahar sonu) sistem yalnızca sıcak su temin edecektir. Sıcak su hazırlama (veya suya ısı depolama) modunun haricindeki modlar on-off kontrolüdür. Sıcak su hazırlama modu ise sıcaklık farkı kontrolü ile çalışmaktadır[1].

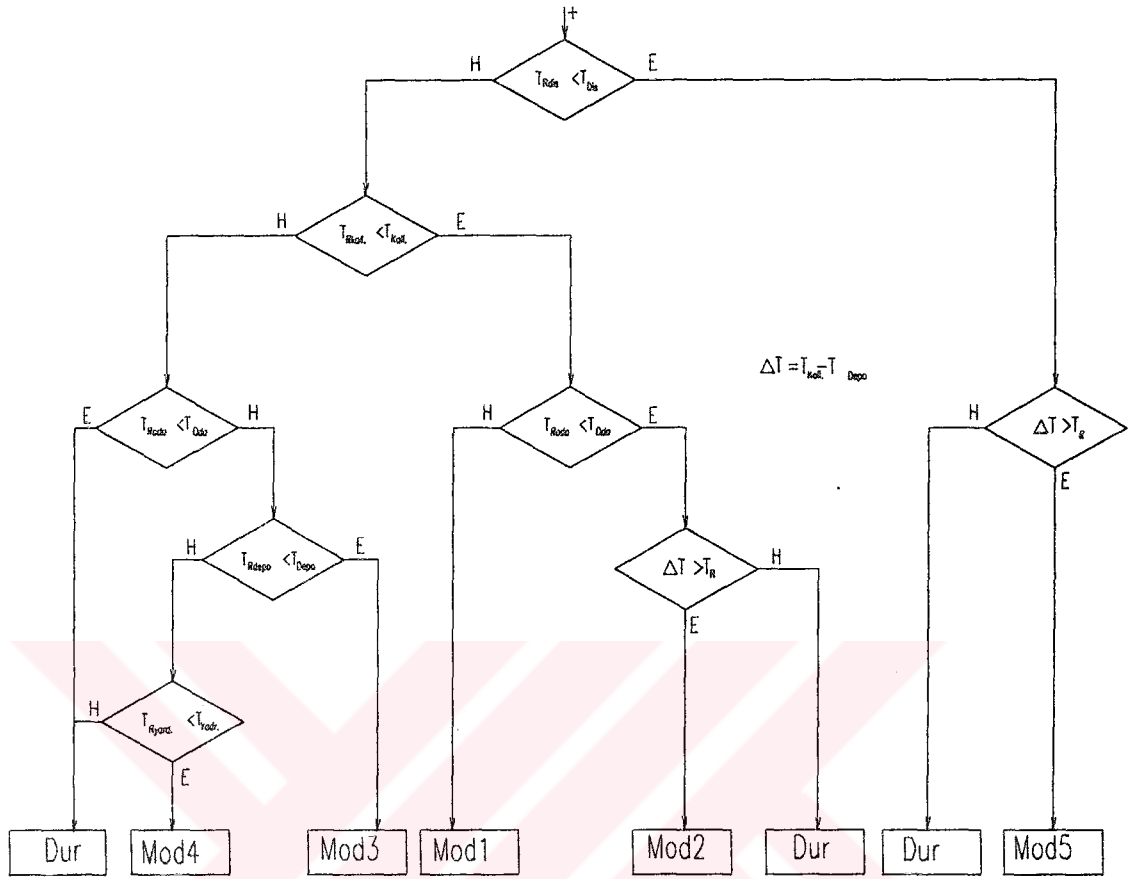
Dış sıcaklık 18°C den büyükse mahal ısıtma modların dallanacak ve mahali hangi modda ısıtacağına karar verecektir. Kontrol sisteminin mantık devresi şekil.7.1. ve tablo.7.1 de verilmiştir.

Ayrıca genel kontrol sisteminden bağımsız olarak çalışacak olan D_E (şekil.6.1) damperi kollektör sıcaklığı 120°C nin üzerine çıktığında kollektör havasını dış ortama boşaltmak için açılarak kollektörün emniyetini sağlayacaktır. Bunun yanı sıra Azimut açısının durumuna bağlı olarak duvar kollektörleri (D_B ve D_{B1} klâpeleri yardımıyla) devre dışı bırakılacak veya devreye alınacaktır. Bunun sebebi ise direk güneş ışınlarının düşey düzleme geliş açıları faydalı ısı kazanımını kış aylarında mümkün kıldığı halde yaz aylarında bunun mümkün olmayacağı düşünülmektedir.

Modlar	F ₁	F ₂	P ₁	P ₂	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄
Mod-1	1	0	0	0	1	0	0	1
Mod-2	1	0	1	0	0	0	1	0
Mod-3	0	1	0	1	0	1	0	0
Mod-4	0	1	0	0	0	1	0	0
Mod-5	1	0	1	0	0	0	1	0

(1): Açık veya çalışıyor, (0): Kapalı veya çalışmıyor

Tablo.7.1. Modlara göre devri-daim pompası, fan ve klâpelerin pozisyonları



Şekil.7.1. Kontrol devresinin işleyiş mantığı

8.Bölüm

8. DENEY DÜZENEGİ

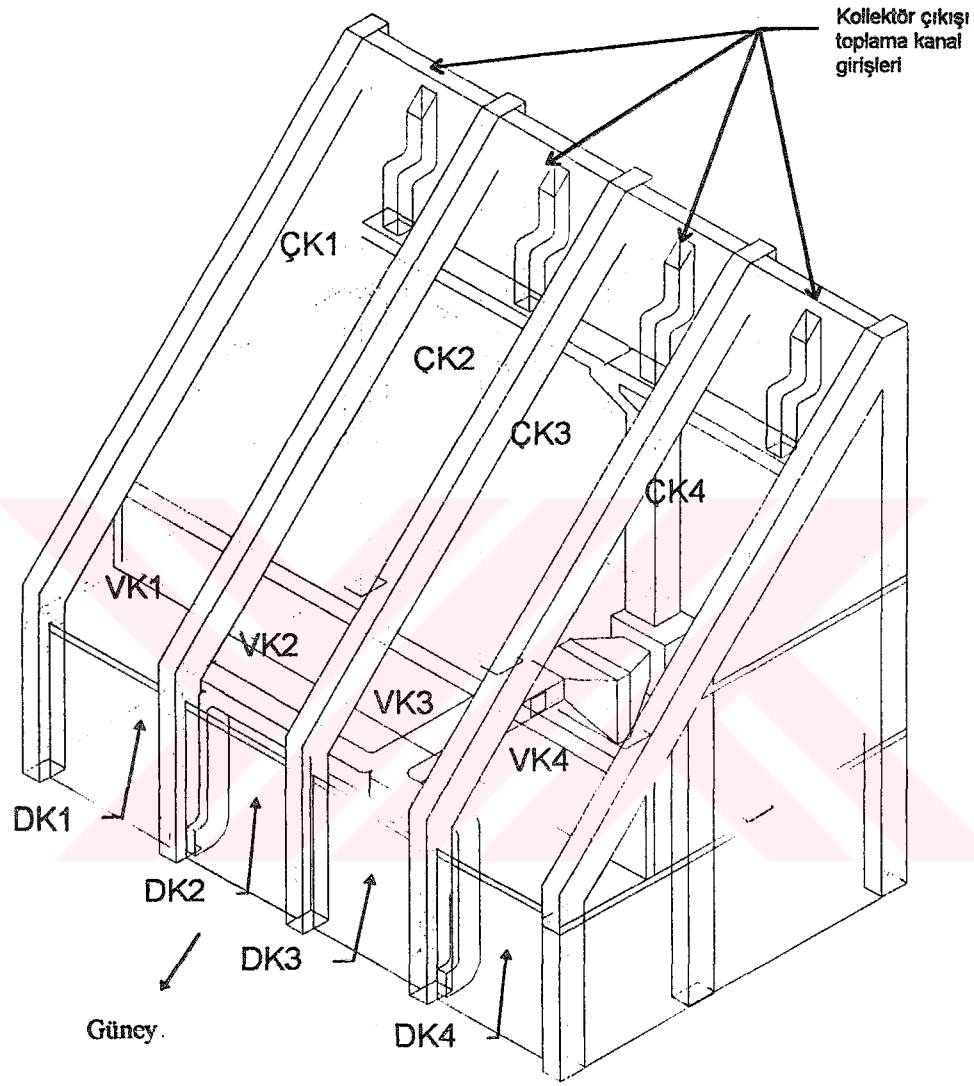
8.1. BİNANIN FİZİKİ YAPISI

Güneş evi binası tasarım amacına uygun olarak, Şekil.8.1 görüldüğü gibi betonarme olarak iki kattan oluşmaktadır. Zemin kat 82 m^2 ve birinci kat 62 m^2 olmak üzere toplam 144 m^2 net kullanım alanına sahiptir.

Zemin kat Şekil.8.2. de görüldüğü gibi ısı depolama amaçlı bir adet su tankı ve bir adet de çakıl deposuna sahiptir ayrıca içerisinde WC ve Duş bulunmaktadır. Boş alanlar laboratuvar ve atölye olarak kullanılmaktadır.

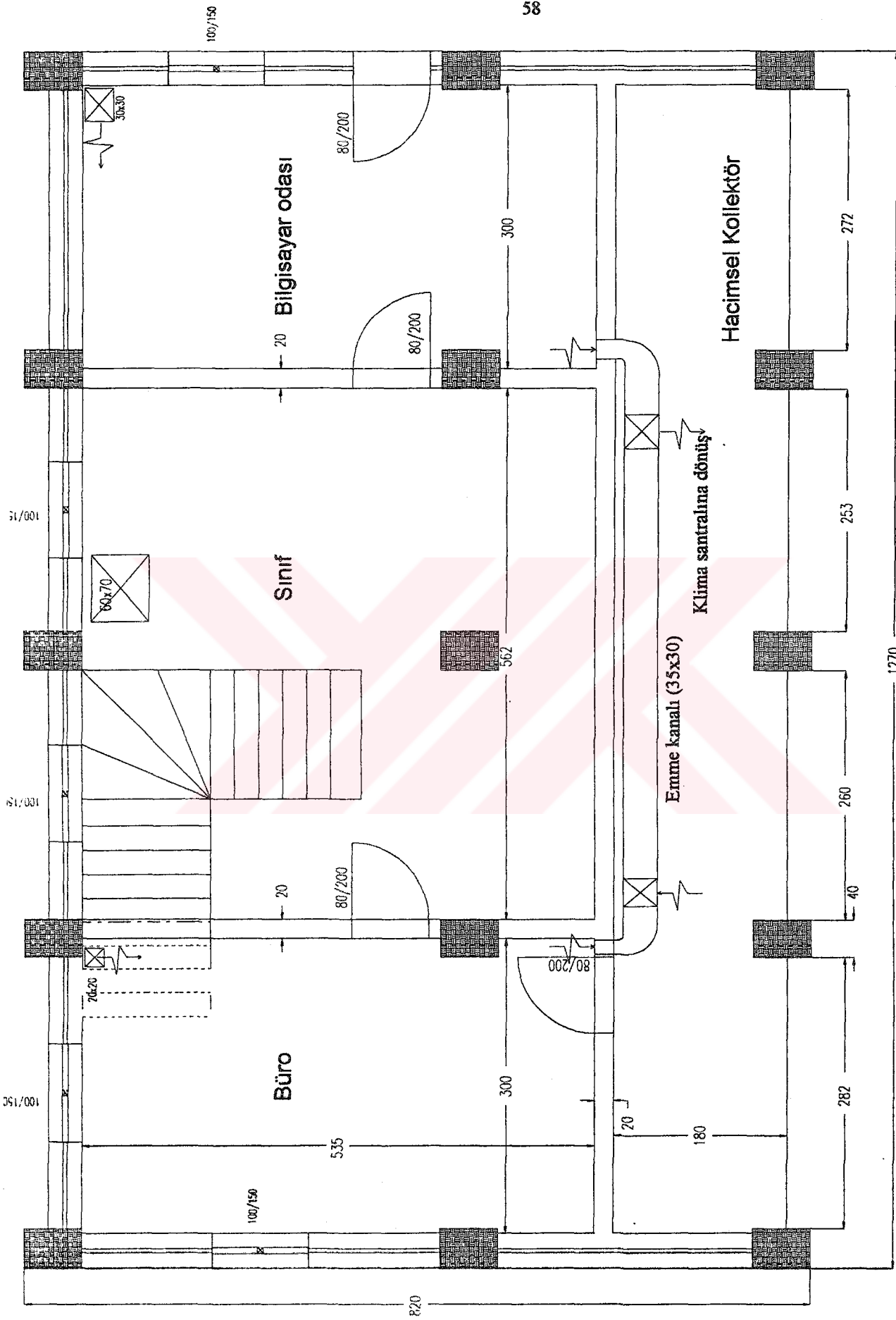
Birinci katta; Büro (16 m^2) , Sınıf (30 m^2) ve Bilgisayar odası (16 m^2) olarak kullanılan üç adet odaya sahiptir (Şekil.8.3.). Binaya ait fotoğraflar Ek-1 da, duvar, tavan ve zemin detayları Ek-2 de, verilmiştir.

Binanın ısı kaybı bakımından iyi izole edilmeye çalışılmış fakat Türkiye'deki yapı malzemelerinin özelliklerinden dolayı yurt dışındaki benzer özelliklere sahip binalardan (Kullanım alanı olarak) daha kötü bir ısı izolasyonuna sahiptir. Fakat Türkiye standartlarına göre iyi bir izolasyon yapılmıştır. Tablo.8.1. de binanın ısı kaybı aylara göre Ek-3 de verilen bir bilgisayar programıyla çıkartılmıştır.



Şekil.8.1. Güneş evinin perspektif görünüşü

Şekil.8.2. Güneş evinin zemin kat planı



Şekil.8.3. Güneş evinin birinci kat planı

Aylar	Toprak sıcaklığı (50 cm derinlikte) (°C)	Dış ortam sıcaklığı (C)	Bina ısı kayıp katsayısı (UA) (w/C)	Bina ısı kaybı (Q),(w)
Ocak	3.1	-2.1	431.93	9545.75
Şubat	2.9	0.0	444.34	8886.87
Mart	5.5	4.5	455.40	7058.76
Nisan	10.8	10.5	459.93	4369.34
Mayıs	15.6	15.1	450.25	2206.21
Haziran	20.1	19.1	-	-
Temmuz	24.2	22.4	-	-
Ağustos	24.8	21.8	-	-
Eylül	21.8	17.0	244.39	733.16
Ekim	16.3	11.4	385.97	3319.33
Kasım	10.4	5.2	415.98	6156.58
Aralık	5.7	0.5	427.62	8338.65

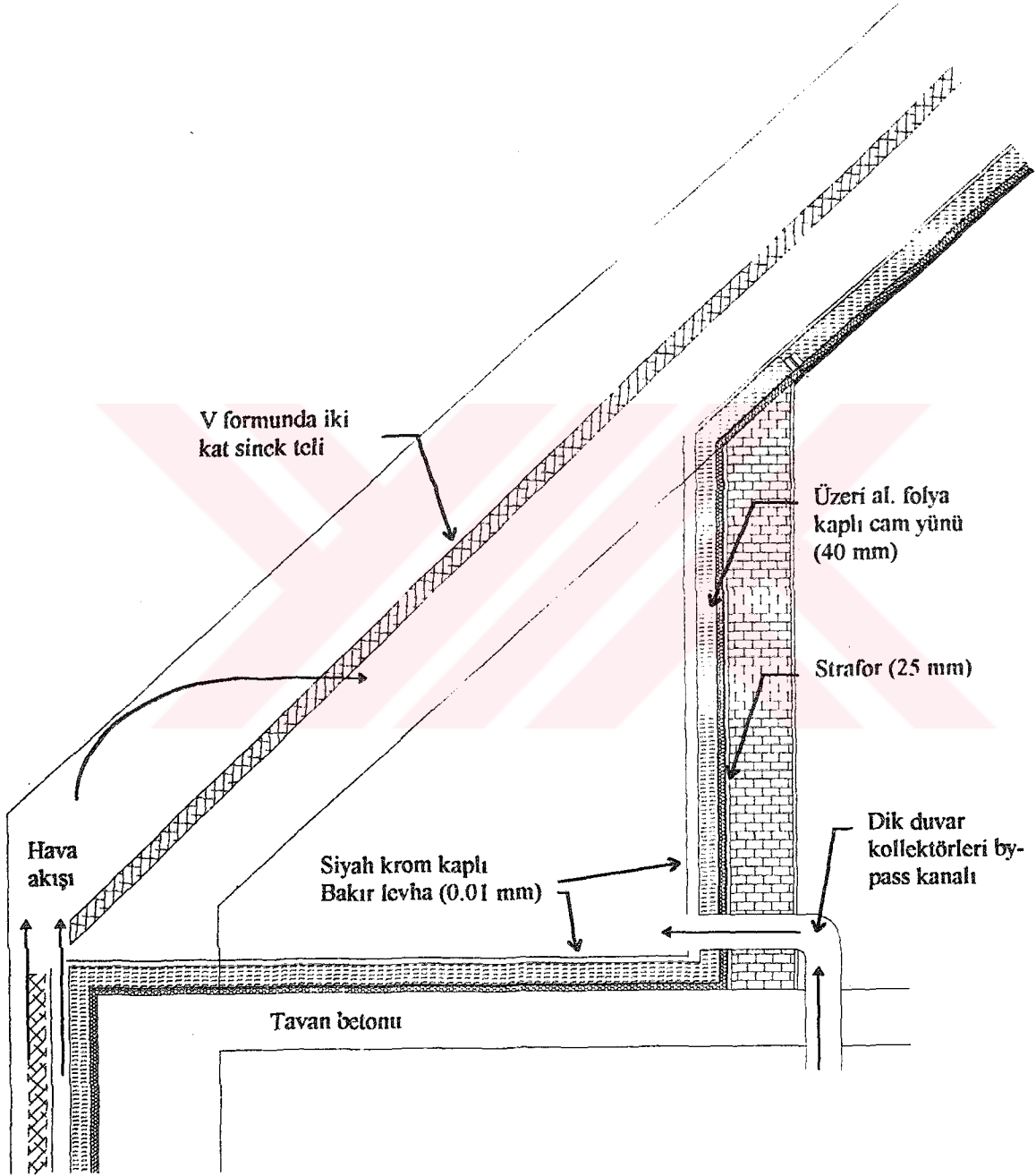
Tablo.8.1. Güneş evi binasının ısı kaybı (Ek-3 deki bilgisayar programından)

8.2. Kollektör ve kanallar

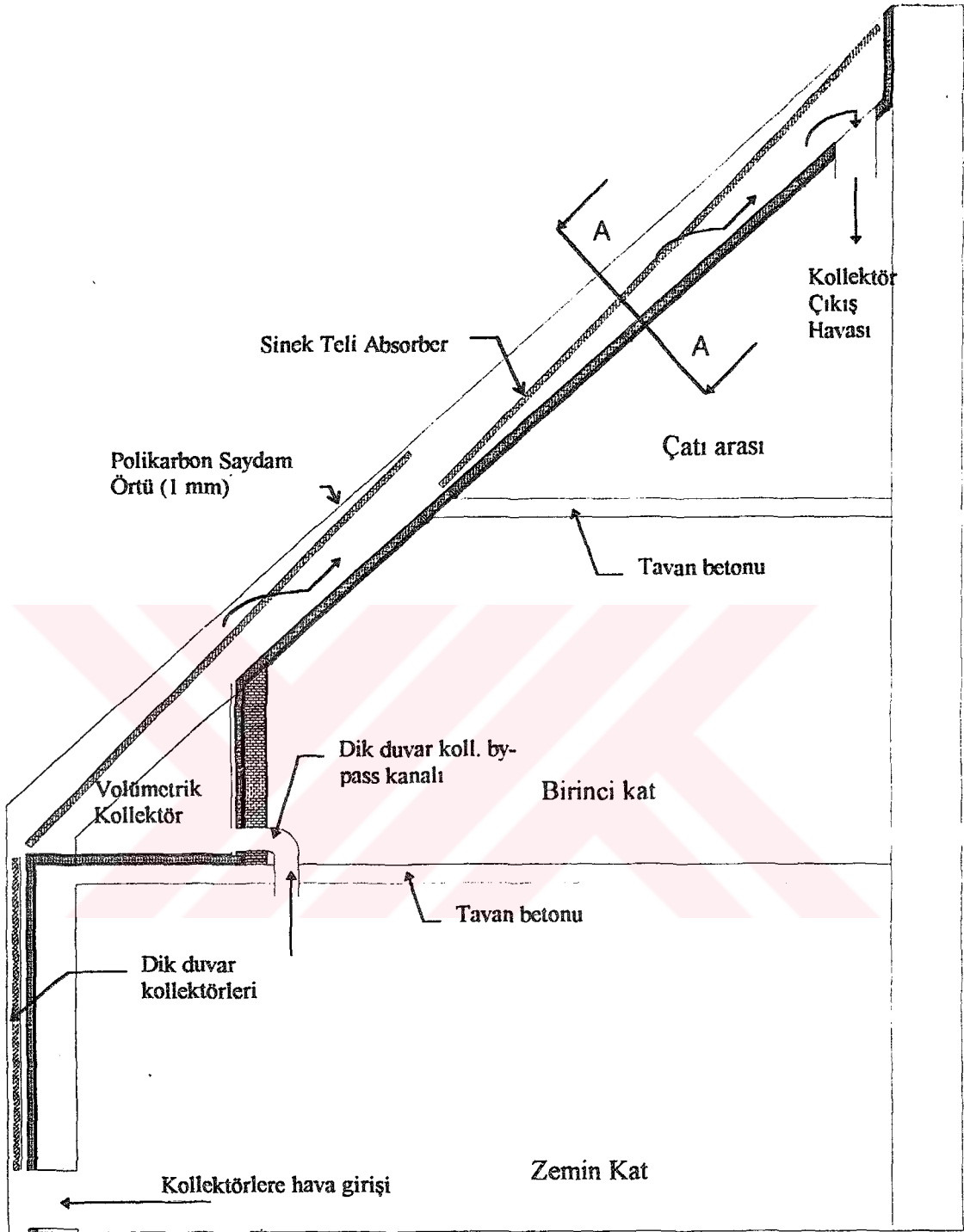
Şekil.8.1 de perspektif görüntüsü verilen güneş evi binasında üç değişik tipte kollektör uygulaması denenmektedir. Bunlar güneye bakan ön duvarlara yerleştirilen dört adet dik (90°) duvar (DK1, DK2, DK3, DK4) kollektörü, çatıya yerleştirilen dört adet şekil.8.4 de detayları görülen hacimsel (VK1, VK2, VK3 ve VK4) kollektörler ve yine çatıda bulunan 42° eğimli dört adet (ÇK1, ÇK2, ÇK3 ve ÇK4) düzlemsel hava kollektörleridir. Duvar kollektörlerinden bir tanesi diğer duvar kollektörlerinden farklı (DK1) olarak trombol tipi duvar iç kısmı izolasyonsuz olarak yapılmıştır. Kollektörlere ait şekiller şekil.8.5 ve bunların detayları A-A kesitinde verilmiştir.

Kollektörlerde saydam örtü olarak çatı kollektörlerinde 1 mm kalınlığında polikarbonat ($\tau_n = 0.91$) levhalar ve duvar kollektörlerinde ise 4 mm kalınlığında pencere camı kullanıldı. Kollektörlerin tümünde iki kat V (60°) geometrili siyah mat boyalı sinek teli ($\tau_n = 0.38$) ve bunun altına ise 0.1 mm kalınlıkta siyah krom kaplı bakır levhalar emici yüzeyler olarak kullanıldı. Sistemde kullanılan kollektörler; duvar kollektörleri $A_{k,dv} = 32.85 \text{ m}^2$ ve çatı kollektörleri ise $A_{k,\text{ç}} = 95.78 \text{ m}^2$ olmak üzere toplam $A_k = 128.26 \text{ m}^2$ net kollektör alanına sahiptirler. Duvar kollektörleri direk güneş ışınımının kollektör yüzeyine düşüş açılarının faydalı

enerji kazanımına müsait olmadığı zaman periyotlarında bir by-pass devresi yardımıyla devre dışı bırakılarak yalnızca çatı kollektörlerinin çalıştırılması mümkün olmaktadır.

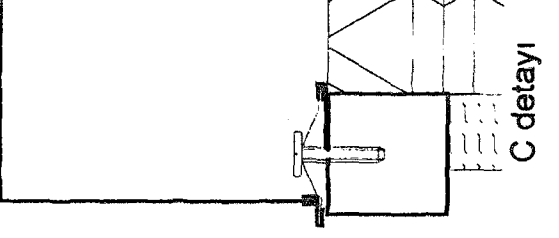
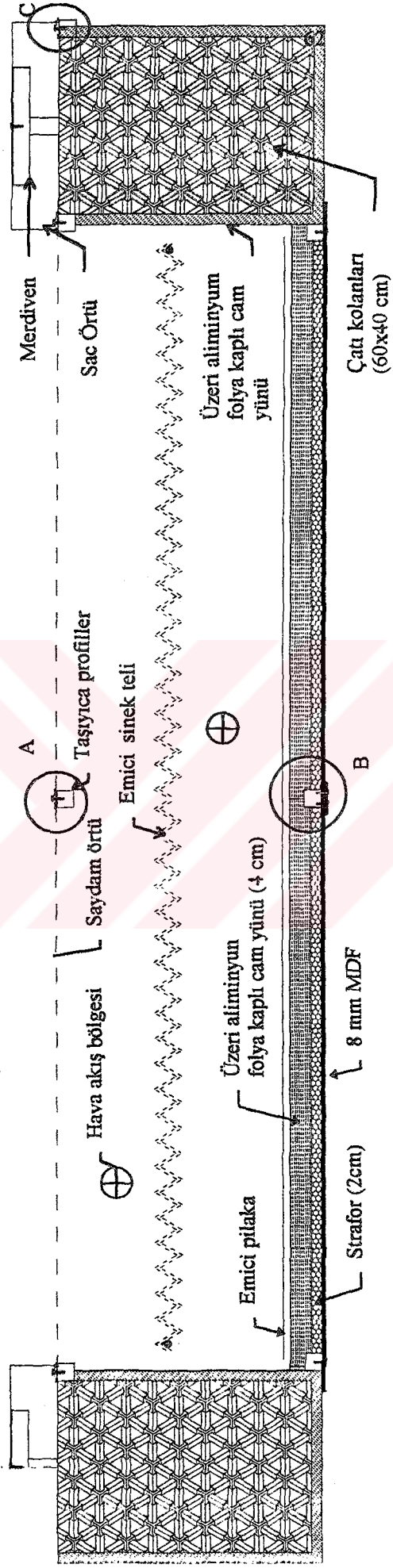


Şekil.8.4. Hacimsel kollektör detayı

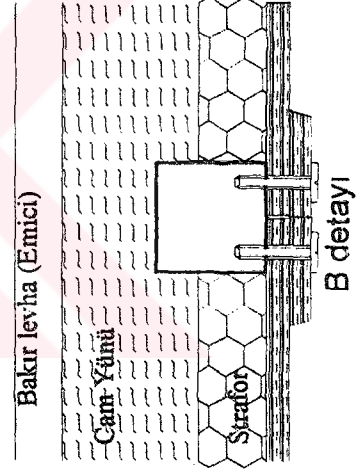
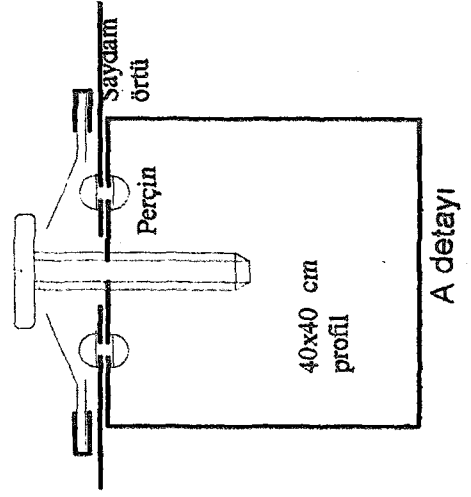


Şekil.8.5. Güneş evi kolektörlerinin yandan görünüşü

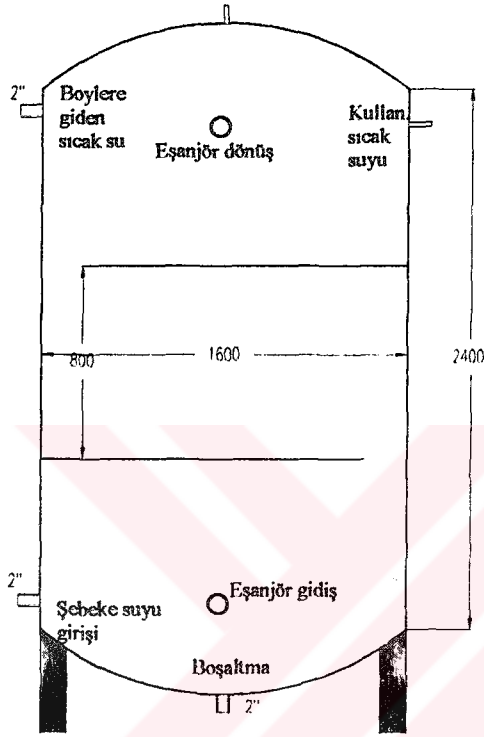
Şekil.8.6 da görülen kolektör hava kanalları bir fan (3 KW motor gücü ve 2 m³/sn max hava debisinde) yardımıyla çatı kolektörlerinden aldığı havayı hava-su ısı eşanjörüne üflemeaktadır. Hava -su ısı eşanjörü bakır borulu alüminyum



Şekil.8.5 A-A Kesiti



Sistemde kullanılan klima santrali hem ısı deposu (su tankı) hem de üniversite enerji santralinden alınan sıcak suyu alarak güneş evi binasını ısıtmak amacıyla iki adet (20 000x2 kcal/h) su-hava ısı eşanjörünü bünyesinde bulunmaktadır. Klima santralinin fan debisi 25000 m³/h ve fan motor gücü 1.1 kW dır.



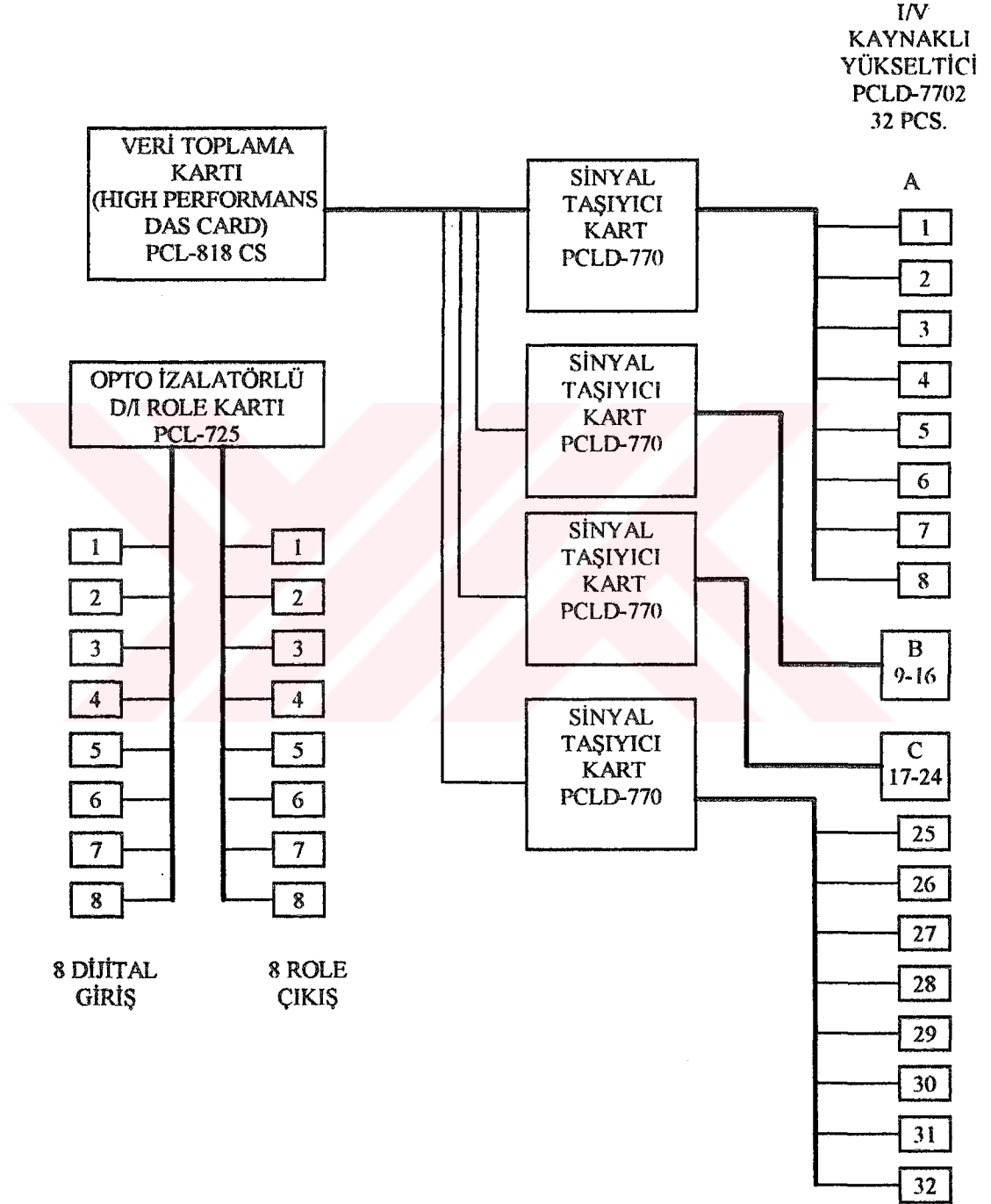
Kurulan güneş evi sisteminde ısı deposu olarak 5 m³ hacminde su tankı ve 12 m³ hacminde çakıl taşı deposu düşünülmesine rağmen şu anda yalnızca su deposu bu fonksiyonu yerine getirmektedir. İlerde çakıl deposu sisteme dahil edilecektir. Isı deposu olarak kullanılan su tankı şekil.8.7. de görüldüğü gibi üç eşit bölmeye ayrılmıştır

Şekil.8.7. Sıcak su tankı

8.3. Güneş evi veri toplama ve ölçme sistemleri

Güneş evi sistemi (Advantech firmasının) 32 kanallı bir adet veri toplama sistemine ve buna ait bir software 'e sahiptir. Bu kart yardımıyla sistemin belirli yerlerinden sıcaklık, ışınlam ve basınç değerleri okunmakta ve bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Veri toplama sisteminin bağlantı şeması ve veri aktarım şekli aşağıda verildi.

Buradan elde edilen veriler isteğe bağlı olarak arşivlenmektedir. Veri toplama kartı ve bağlantılarının blok diyagramı şekil.8.8 de verilmiştir.



Şekil.8.8 Veri toplama sisteminin blok diyagramı

Veri toplama kartının kanal numaraları ve sensör konumları aşağıda verilmiştir;

Kanal No:	Bulunduğu Yer
1	:Çatı kollektörü çıkış sıcaklık sensörü
2	:Mod-2 (Isı depolama) sinyali sensörü
3	:Mod-5 (Sıcak su hazırlama) sinyali sensörü
4	:Mod-4 (Yardımcı ısıtıcıdan ev ısıtma) sinyali sensörü
5	:Dış ortam sıcaklık sensörü
6	:Mod-1 (Kollektörden direkt ev ısıtma) sinyali sensörü
7	:Mod-3 (Depodan ev ısıtma) sinyali sensörü
8	:Duvar kollektörü çıkış sıcaklık sensörü
9	:Duvar kollektörü çıkış sıcaklık sensörü
10	:Yardımcı ısıtıcı eşanjörü (E3) su giriş sıcaklık sensörü
11	:Isı deposu eşanjörü (E2) su giriş sıcaklık sensörü
12	:Duvar kollektörü giriş sıcaklık sensörü
13	:Klima santralına hava giriş sıcaklık sensörü
14	:Yardımcı ısıtıcı eşanjöründen su çıkış sıcaklık sensörü
15	: Klima santralinden hava çıkış sıcaklık sensörü
16	:Hava- su eşanjörüne (E1) havanın giriş sıcaklık sensörü
17	:Hava- su eşanjörüne (E1) havanın çıkış sıcaklık sensörü
18	:Hava- su eşanjörüne (E1) suyun çıkış sıcaklık sensörü
18	:Hava- su eşanjörüne (E1) suyun giriş sıcaklık sensörü
20	:Servis suyu çıkış sıcaklık sensörü
21	:Servis suyu giriş sıcaklık sensörü
22	:Depo suyu sıcaklık sensörü-1
23	:Depo suyu sıcaklık sensörü-2
24	:Oda sıcaklık sensörü-1
25	:Depo suyu sıcaklık sensörü-3
26	:Depo suyu sıcaklık sensörü-4
27	:Oda sıcaklık sensörü-2
28	:Isı deposu eşanjörüne (E2) su giriş sıcaklık sensörü
29	:Seyyar ışı nım sensörü
30	:42°'lik çatı kollektör düzlemine gelen güneş ışı nım sensörü
31	:Dik düzleme gelen güneş ışı nım sensörü
32	:Yatay düzleme gelen güneş ışı nım sensörü

Sıcaklık ölçümleri : Standart tip PT100 resinstans termo elemanlarla yapılmakta olup kalibrasyonları çeşitli sıcaklıklarda (buz, kaynayan su ve ara sıcaklıklar) termos yardımıyla sağlanarak doğru denkleminin katsayılarının tespiti şeklinde yapılmaya çalışılmıştır. Resinstans termo elemanlardan elde edilen sinyaller $T=a+bx$ gibi bir doğru denklemi şeklinde olduğu kalibrasyon sırasında gözlenmiştir. Bu doğru denklemi veri toplama kartının paket programına girilerek sıcaklık düzeltmeleri yapıldı.

Kollektör sıcaklıklarının tespiti için sıcaklık sensörleri duvar ve çatı kollektörlerinin her bir bölümünün giriş ve çıkışlarına yerleştirilerek her biri için bu dört bölümün sıcaklıklarının ortalamaları kollektörlerin giriş ve çıkış sıcaklıkları olarak alındı.

Eşanjör bölgesinde sıcaklıklar; hava devresi için eşanjörlerin giriş ve çıkış kanallarına, su devresi için ise su boru bağlantılarının üzerine yerleştirilen sıcaklık sensörleri yardımı ile tespit edilmeye çalışıldı.

Depo sıcaklıkları ; depo yüzeyine yerleştirilen dört adet sıcaklık sensörü yardımıyla tespit edilmeye çalışıldı. Sensörler depo suyuna temas etmediği için ölçüm hassasiyeti çok kaba olmakla birlikte sensörlerin depo suyuna daldırılması mevcut sistemde mümkün olmadı. Depo sıcaklığı olarak depo yüzeyine yerleştirilen dört adet sensörün ortalaması alınmak suretiyle tespit edildi çalışıldı. Ayrıca şehir şebeke suyu girişi ve servis sıcak suyu çıkış borularına yerleştirilen sensörler ile sıcaklıkları tespit edildi.

Dış hava ve bina içi sıcaklıklarını ise çeşitli bölgelere yerleştirilen sensörler yardımı ile belirlendi.

Yukarıda açıklanan sıcaklık sensörlerinin sinyallerinin hepsi veri toplama kartı yardımıyla bilgisayar ortamına istenilen zaman periyotları ile kayıtları gerçekleştirildi.

Işınım ölçümleri: Işınım için iki farklı sensör kullanılmıştır.

1. LI-COR firmasına ait LI-200SA Pyranometer sensor'ü. Bu sensörler çatı ve duvar düzlemlerine yerleştirilerek düzlem ışınlamaları belirlendi. Bunun teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

Kalibrasyon; Tabii gün ışığı şartları altında bir Eppley Precision Spectral Pyranometer (PSP) ye karşı kalibre edildi. Bu şartlar altında mutlak hata maksimum. % ± 5 'dir

Duyarlılık; Tipik olarak her 1000 w/m^2 de $80 \mu\text{A}$

Linerlik; 3000 w/m^2 nin üzerinde % 1 lik maksimum sapma

Kararlılık; 1 yıllık periyodu aşan kullanımda % ± 2 'den daha küçük bir değişme

Duyarlılık; $10 \mu\text{s}$

Sıcaklık bağımlılığı; Her 1°C de maksimum % ± 0.15

Kosünüs düzeltmesi; Eğim açısı 80° 'nin üzerinde olması durumunda kosünüs , düzeltmesi

Azimet;

Eğim; Mevcut durumdan yönelmeler hataya sebep olmaz

Dedektör; Silikon fotovoitaik dedektör yüksek kararlılıktadır

Sensör odası; Paslanmaz çelik malzeme ve akrilik difizörlü su geçirmez anodize edilmiş alüminyum kutu

Ebat; $2.38 \text{ çap} \times 2.54 \text{ cm}$ yükseklik

Ağırlık; 28 g

Ek elemanlar; 2222SB uzatma kablosu 2003S bağlantı elemanı

Kablo uzunluğu; 3 m

2.KIPP&ZONEN Firmasına ait CM21 Pyranometer; bu sensör yatay düzlem ışınlamalarını ölçmek ve LI-200sa pyranometre sensörlerinin kalibrasyonunda kullanıldı. Bu sensörlerin teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

Algılama zamanı; : < 5 s

%95 cevaplama için

Sıfıra ayarlama;

a) 200 w/m^2 net ışınlam için cevaplama : $+7 \text{ w/m}^2$

(vantile edilmiş ortam);

b) 5 K/h çevre sıcaklığındaki değişme için : $\pm 2 \text{ w/m}^2$

cevaplama

Kararsızlık; : $\pm \%0.5$

Her yıl algılamada değişim yüzdesi

Dogrusal olmama;

100w/m² den 1000 w/m² aralığında ışınlım
değişimden dolayı 500 w/m² de algılamadan türe- : $\pm \%0.25$
yen hata

Işık hüzmeleri için yönelme algılaması; : $\pm 10 \text{ w/m}^2$

Normal olarak gelen 1000w/m² ışınlımda herhangi
bir yönde bir ışık hüzmelerinden ölçüldüğü zaman
bütün yönleri için gerekli olan ve farzedilen ışınlım
algılamasının sebep olduğu hata aralığı

Spektral seçiciliği; : $\pm \%2$

Ortalama 0.35 μm ve 1.5 μm aralığından spektral
geçirgenlik ve spektral emiciliğin üretilmesinin tü-
retildiği yüzde oranı

Sıcaklık algılaması; : $\pm \%1$

İzafi olarak 20° C civarında olmakla birlikte -20,
+50° C civarındaki çevre sıcaklığındaki değişmeden
dolayı yüzde olarak türetilen sıcaklık algılaması

Eğim algılaması; : $\pm \%0$

Görüş açısı; : $2\pi \text{ sr}$

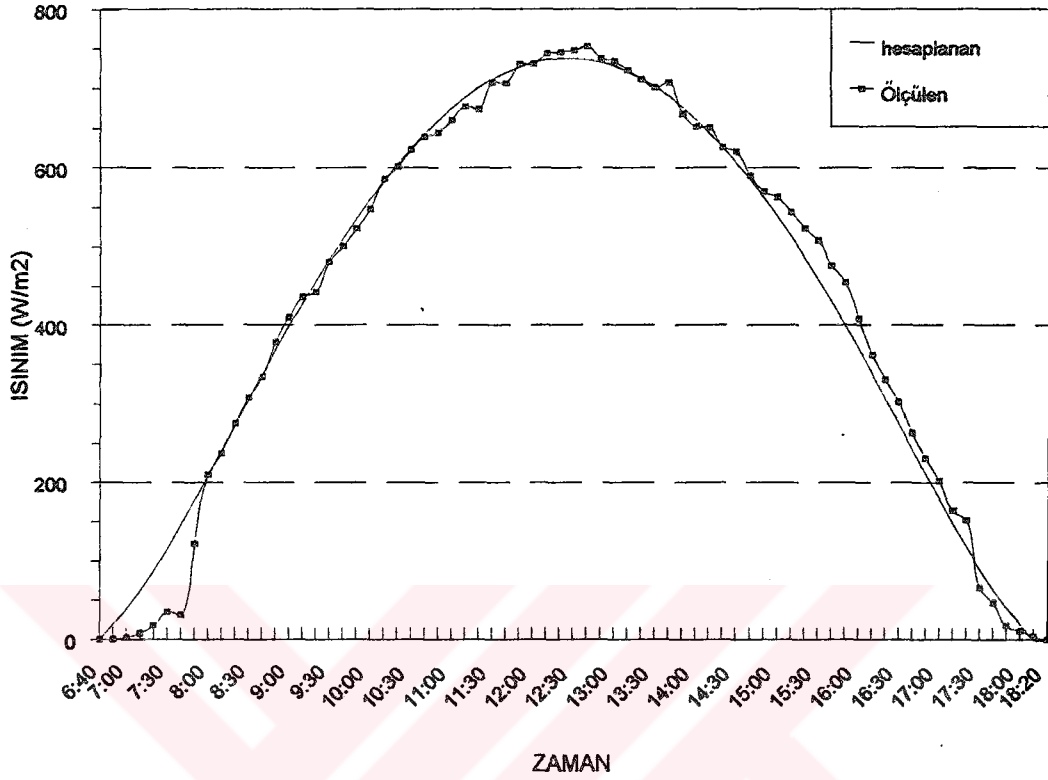
Ölçme aralığı; : 0-1400 w/m² (max. 4000 w/m²)

Spektral aralık; : 305-2800 nm (%50 noktalar)

: 335-2200 nm (%95 noktalar)

Duyarlılık; : 4 ve 6 $\mu\text{v/wm}^{-2}$

Empedans; : 700-1500 ohm



Şekil.8.9. 2.10.1996 günü yatay düzleme gelen güneş ışınımının pyranometre ile ölçülen ve hesaplanan değerlerinin karşılaştırılması

Yukarıda yatay düzlem için Şekil.8.9. daki grafikte verilen Işınım ölçümleri KIPP&ZONEN'nin CM21 tip pyranometresi ve hesaplamalar ise ek-4 de verilen bilgisayar programı yardımıyla hesaplandı.

Debi ve hız ölçümleri:

Sistemde dolaşan havanın debisinin ölçümü için üç ayrı ölçüm noktası ve üç ayrı ölçme aleti kullanılarak debi tespit edilmeye çalışıldı.

1.Kollektör çıkış bölgesinde hava debisi ölçümü için Alnor Balometer Jr. debi ölçer. Teknik özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

Hassasiyet

: Tüm skalalar için $\pm \%5$

İşletme Bölgesi	: 0' dan 200'e (1. skala) 100'den 600'e (2. skala) 400'den 1400'e (3. skala)
Birim	: Standart CFM Standart birimler atmosferik basınç ve sıcaklık şartlarında mevcut olan hacim için tanımlanmıştır. Bu sıcaklık 21°C atmosferik basınç ise 760 mmHg dir.
Skalaların Düzenlenmesi	: 0'dan 200 CFM'e kadar 10 CFM adım 100'den 600 CFM'e kadar 20 CFM adım 800'den 1400 CFM'e kadar 50 CFM adım

Not: 1 CFM = 0.472 lt/sn. Ölçümlerde Kayseri (700 mmHg) için basınç ve kollektör sıcaklığına göre havanın p_h düzeltilmesi yapıldı.

2. Büyük hava-su (E1) eşanjörü çıkışında ise bir fark sensör yardımıyla bizim imalatımız olan bir sensör kullanılarak hava hızı tespit edilmeye çalışıldı. Fark sensörünün özellikleri ;

Çalışma aralığı : -20 ila +120 cmH₂O

Çalışma gerilimi: 8 Vdc

Çalışma sıcaklığı : -40 ila +85°C

Çıkış gerilimi : 1- 6 Vdc

Hassasiyet : $\pm$ %0.25

Doğru denklemi : $\Delta P(\text{ mb}) = -7.6186 + 2.183V$, (V:çıkış sinyali volt)

3. Kollektörlere hava giriş bölgesinde her bir kanal istasyonlara bölünerek pitot tüpüyle statik ve toplam basınçların taraması yapılarak hava debisi ölçülmeye çalışıldı.

Eşanjörler ve kullanma suyunun devrelerinde akan su debileri ise her bir hatta birer adet sıcak su sayacı bağlantısıyla (kümülatif olarak) belirli zaman (10 dakika da bir) aralığında okumak suretiyle tespit edilmeye çalışıldı.

Dış ortam ölçümleri:

Dış hava şartlarının tespiti için Davis Instruments firmasına ait Weather Wizard III meteorolojik set kullanılmıştır. Bu cihaz aşağıdaki fonksiyonları ihtiva etmektedir.

- 1.1 °C den 60°C'a iç sıcaklıklar,
- 45.5°C'dan +60°C'a kadar dış sıcaklıklar,
- Tarih ve 12 veya 24 saatlik zaman aralıklar,
- Yüksek ve düşük sıcaklıklar,
- Rüzgar yönündeki 1° veya 10° 'lik artışlar,
- Rüzgar hızı 125 mil/h 'a kadar,
- Rüzgar sıcaklığı (wind chill) -92.2°C,
- Düşük rüzgar sıcaklığı,
- Bütün yükselme ve düşmelerde zaman ve tarih kaydı,
- Rüzgar hızı, rüzgar sıcaklığı, zaman ve sıcaklıklar için alarmlar,

Bu özellikleri haricinde topladığı verileri bir paket program (7862 Weatherlink IBM versiyonu) yardımıyla PC bilgisayar ortamına kaydetme imkanı sağlamaktadır. Cihaz nem ve yağmur miktarının tespitine imkan vermesine karşın bu sensörler bizim sistemimizde kullanılmamıştır.

9.Bölüm

9.DENEYLER

Veri toplama sistemi istenilen zaman adımlarıyla bilgisayar ortamına sıcaklık ve ışıınım değerlerini kaydetmektedir. Kaydedilen bu veriler ek-5'deki bilgisayar programı yardımıyla çalışmakta olan moda ait enerji dengelerini çıkarmaktadır. Bunun dışında bilgisayar ortamına otomatik olarak kaydedilemeyen veriler (su, hava debileri, rüzgar hızı ve sıcaklık) sonradan veri dosyalarına elle yüklenerek deneyler gerçekleştirilmektedir. Yapılan deneyler ; Düzlemsel kollektör deneyi, Parlak güne aıt (10.9.1996 ve 11.9.1996) suya ısı depolama deneyi, bulutlu (kısmi güneşli gün) güne aıt (29.9.1996) suya ısı depolama deneyi ve parlak bir günde (2.10.1996) sıcak su hazırlama deneyi olmak üzere günlük sistem performanslarının tespitine çalışılmıştır.

9.1. Düzlemsel kollektörlerin verim deneyleri;

Düzlemsel kollektörlerin verim deneyleri TS4801 ve ASHRAE 93-77 standartlarına göre yapılması önerilmektedir[18,26]. Bu standart şartları;

1. Deneylerden önce Kollektörler güneye yönelik olarak, yatayla yaptığı açı (deney yerinin enlem derecesi ± 10 derece) olacak şekilde bulunan mevsime bağılı olarak yerleştirilir. Deneylere başlamadan önce, Kollektörler üzerine 51 kJ/m^2 güneş enerjisi gelinceye kadar açık havada bırakılmalıdır.
2. Deneyler süresince çevre sıcaklığı 5°C - 32°C arasında olmalıdır.

3. Deneylerin başında ve deneyler süresince ani ısıma şiddeti 630 W/m^2 'den küçük olmamalıdır. Deney sırasında ısıma şiddeti düzgün değişmelidir.
4. Deney süresince kollektörlere ışıının gelme açısı 40 dereceden küçük olmalıdır.
5. Çevre sıcaklığı ölçümünde kullanılan sensörler Kollektör arka tarafına ve Kollektör yarı yüksekliğinde, aralarındaki mesafe ise 0.5 m olmalıdır.
6. Deney süresince rüzgâr ölçümü kollektörlerin üst kenarından 1 m den daha yükseğe yerleştirilmelidir.
7. Deneyler süresince rüzgar hızı 5.4 m/sn 'den büyük olmamalıdır.
8. Sistemde dolaşan akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki farkları ölçmek için kullanılan sıcaklık ölçerlerde en çok $\pm 1^\circ\text{C}$, çevre ve ısı transfer akışkanı sıcaklıkları arasındaki farkları ölçmek için kullanılan sıcaklık ölçerlerde ise $\pm 0.5^\circ\text{C}$ hata kabul edilebilir.
9. Debi ölçümlerinde kabul edilebilir hata sınırları sıvılı kollektörlerde $0.72 \text{ kg/m}^2\text{saat}$, gazlı kollektörlerde en çok $0.36 \text{ kg/m}^2\text{saat}$ olarak önerilmektedir.
10. Eğer rüzgar hızı ölçme aleti kullanılıyorsa, bu en az 1 m/sn hızındaki rüzgar hızına hassas ve ortalama en fazla $\pm 0.5 \text{ m/sn}$ hata ile ölçebilir tipte olmalıdır.

Mevcut sistemde kullanılan kollektörler 8.bölümde şekli ve geometrisi verildiği gibi iki şekilde yerleştirilmiştir. Bunlar 42° eğimli çatı ve 90° eğimli duvar kollektörleridir. Duvar ve çatı kollektörleri bir birilerine seri bağlı olduğundan duvar kollektörlerinin çıkış sıcaklıkları çatı kollektörlerinin giriş sıcaklığı olmaktadır ve kollektör sisteminde hava debisi sabit (kollektörlerden herhangi bir hava sızıntısının olmadığı) kabul edilerek (hava debisi çatı kollektörleri çıkışından ve duvar kollektörlerinin girişinden ölçüldü) verim testleri buna göre yapıldı. Duvar kollektörüne hava giriş sıcaklığı sistemde bağlı bulunan havadan suya ısı eşanjörünün su devresinde dolaşan debi değiştirilerek kontrol edildi. Sistemin verileri 10 dakikalık zaman adımlarıyla kaydedildi. Sistem sürekli çalıştığından verim hesaplamalarında güneş ışıınının düzenli ve ışıının şiddetinin 600 w/m^2 den büyük değerlerde olduğu anların verileri kullanıldı. Kollektör sisteminde dolaşan hava debisi deney boyunca sabit ve $1.73 \text{ m}^3/\text{sn}$ olduğu (kollektör çıkış ve girişinde ölçülerek ortalaması alındı) ölçüldü. Kollektör

deneyleri yapıldığı sürece rüzgâr hızı 5 m/sn'nin altında olduğu ölçülerek tespit edildi.

Kollektör yüzeyine gelen toplam enerji;

$Q_g = A_k \cdot I$ bağıntısından,

Kollektörden hava ile çekilen yararlı ısı

$Q_u = (m_k \cdot C_p)_k \cdot (T_{kg} - T_{kg})$ bağıntısından hesaplanabilir.

Bunları sonucunda kollektörün anlık verimi ise;

$\eta_{kol} = Q_u / Q_g$ olarak belirlendi.

Sayısal verileri Ek-6'de verilen bilgisayar programıyla değerlendirildi.

9.2. Sıcak Su Hazırlama modunun günlük performansı

Sıcak su hazırlama deneyi daha önceki bölümlerde açıklandığı gibi yaz şartlarında yani dış ortam sıcaklığı 20°C den büyük olduğu durumlarda kurulu bulunan otomatik kontrol devresi yardımıyla devreye girer. Sıcak su hazırlama modunda kollektörlerden fan yardımı ile çekilen sıcak hava devrede bulunan hava-su (E1) ısı eşanjörü üzerine üflenerek su ısıtılmakta ve hava kollektörlere geri dönmektedir. Bu modun çalışması için gerekli ve yeter şart dış ortam sıcaklığının 20°C den büyük ve kollektör çıkış sıcaklığı ile eşanjöre su giriş sıcaklığı arasındaki farkın $\Delta T > 10^\circ\text{C}$ olmasıdır. Bu deneyde Sıcaklıklar; kollektör giriş ve çıkış sıcaklıkları, eşanjöre havanın ve suyun giriş ve çıkış sıcaklıkları, deponun ortalama sıcaklığı ve kullanım için verilen servis suyunun sistemimize giriş ve çıkış sıcaklıkları PT100 sensörleri ile, ışınlamalar eğik ve dik duvar kollektörleri düzlemine yerleştirilen ışınlam ölçerler ile ölçülerek bilgisayar ortamına 10 dakikalık zaman aralıklarıyla kaydedildi. Kullanım servis suyu debisi deney süresince devrede bulunan sıcak su sayacından yarım saatlik adımlarla okunarak sonradan bilgisayar ortamına elle girildi. Deneyler esnasında rüzgar hızı 5 m/sn'nin altında olduğu gözlemlendi. Ek-5 de verilen bilgisayar programı yardımıyla kollektör, ısı eşanjörü, depolama tankı, servis suyunun enerji bilançoları çıkarıldı.

9.3. Suya ısı depolama modunun günlük performansı;

Suya ısı depolama modu daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi kollektörlerden çekilen sıcak hava devrede bulunan hava-su (E1) ısı eşanjörü üzerinden geçirilmek suretiyle 5 m³ hacmine sahip tanktaki suyu ısıtmaktadır. Bu modu çalışması için gerekli ve yeter şart dış ortam sıcaklığının 20°C dan büyük, evin ısınmaya ihtiyacı ($T_{ev} > 18^{\circ}\text{C}$) yok ve kollektör çıkış sıcaklığı ile eşanjöre su giriş sıcaklığı arasındaki farkın 10°C'dan büyük olması halidir. Tank eşanjör arasındaki kademeli devridaim pompası maksimum (2.224 m³/saat) debide çalıştırılarak deneyler gerçekleştirildi. Bu deneyler üç farklı günde tekrarlanarak sonuçlar elde edildi. Birinci gün 10.9.1996 tarihli parlak bir günde, ikinci deney 11.9.1996 tarihli parlak günde fakat ısı depolamanın ikinci günü yani depodan hiç ısı çekilmeden iki gün süreyle depodaki su ısıtılmaya çalışıldı. Daha sonra 29.9.1996 tarihinde kısmi güneşli bir günde deney tekrarlandı

9.4. Güneş evinin aylık performansları;

Sistemin günlük performanslarının incelenmesinden sonra güneş evi sisteminin bir haftalık çalışması gözlenerek binanın ısınmaya ihtiyacı olduğu günler için otomatik kontrol sisteminin davranışı hakkında fikir sahibi olunmaya çalışıldı. Sistem kasım ve aralık (1996) aylarında çalışmasının ısı dengeleri çıkartıldı. Bahsedilen aylarda binanın ısınmaya ihtiyaç duyduğu yani dış ortamın günlük sıcaklık ortalamaları 18°C'dan daha küçük değerlerde olduğu gözlenmiştir.

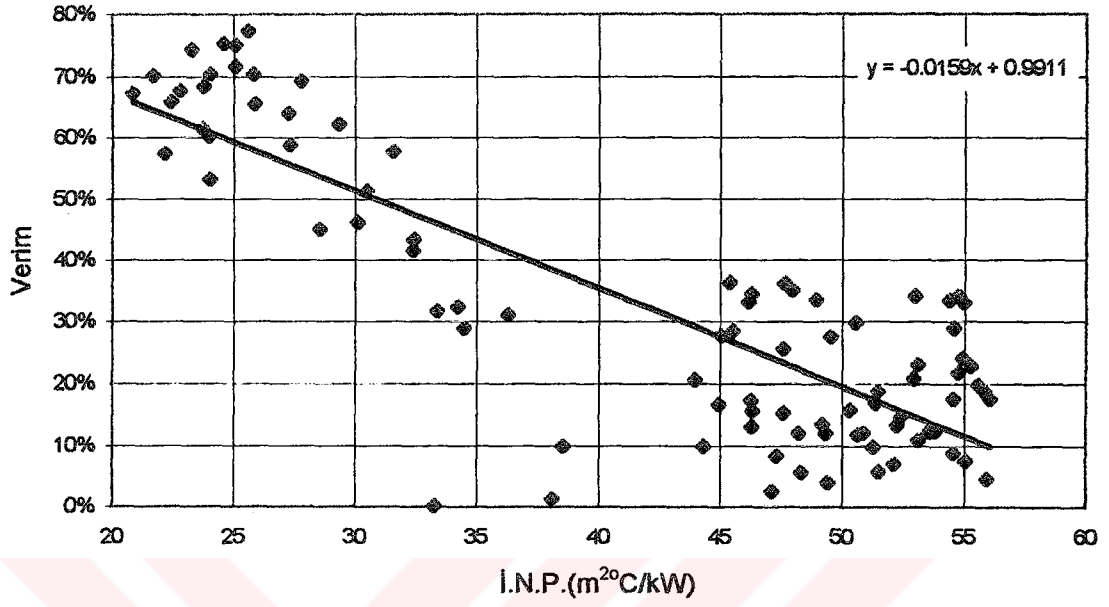
Güneş evi sisteminin kontrol devresindeki oda termostatları 20°C, kollektör termostatu 45°C, ısı depolama termostatu 45°C, Yardımcı ısıtıcı termostatu 45°C ve (kollektör çıkış ve ısı depolama tankı arasındaki sıcaklık farkını ölçen) fark termostatu ise 10°C'a ayarlanarak sistemin ısı performansını incelendi.

10.Bölüm

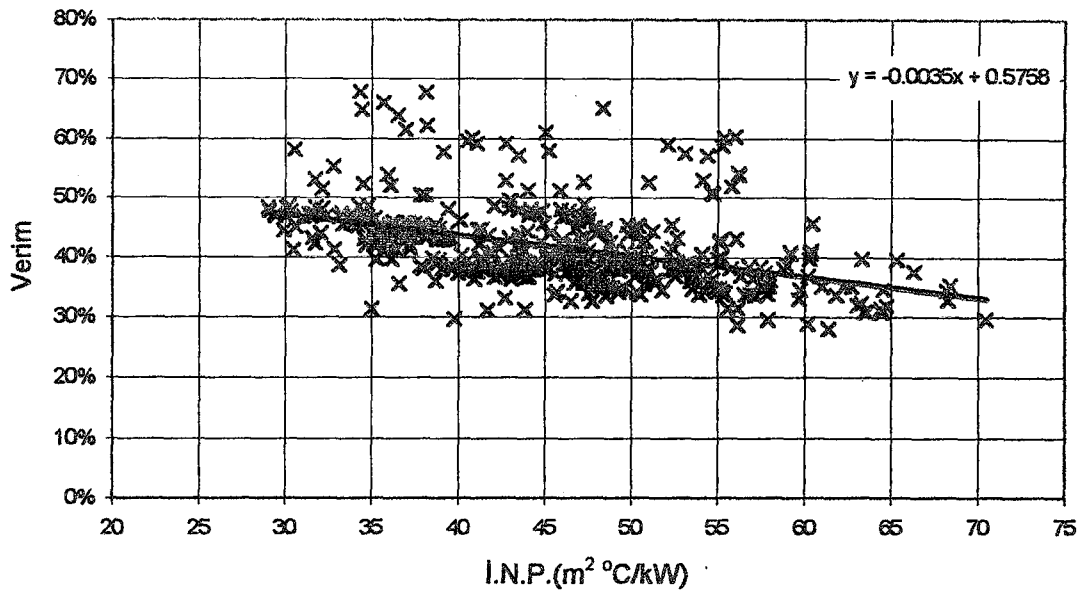
10.Deney Sonuçları ve Analitik Modelle karşılaştırılması;

10.1. Duvar ve çatı kollektörleri verim deney sonuçları;

Kollektörün fiziki yapısı değişmediği için kollektör verimini etkileyen en önemli faktör, işletme noktası parametresidir. Şekil.10.1'deki duvar kollektörü verim eğrisinden de anlaşılacağı gibi duvar kollektörlerinin işletme noktası parametresi (INP) $50\text{ }^{\circ}\text{Cm}^2/\text{kw}$ değerlerinde kollektör verimi sıfır olmaktadır. INP'nin $50\text{ }^{\circ}\text{Cm}^2/\text{kw}$ değerinden büyük olduğu durumlarda ise kollektör ısı kazancının olmadığı aynı zamanda kollektör giriş sıcaklığının kollektör çıkış sıcaklığından daha büyük olduğu yani; havanın kollektörde soğuduğu anlamını taşımaktadır. Bu sebeplerden dolayı duvar ve çatı kollektörleri bir birlerine seri bağlı olduğundan çatı kollektörlerinin giriş sıcaklıkları (duvar kollektörlerinin çıkış sıcaklığı) yeterli dereceye kadar yükseltilememektedir. Yani şekil.10.2'de görülen çatı kollektörü verim eğrisindeki INP değerine $55\text{ }^{\circ}\text{Cm}^2/\text{kw}$ den büyük değerlere deney süresince ulaşamadı. Bunun sonucu olarak çatı kollektörleri verim eğrisi bize kollektörler hakkında çok kaba bir bilgi vermektedir. Buradan da görüleceği gibi duvar kollektörleri (90° dik düzlem) işletme noktası parametresinin $50\text{ }^{\circ}\text{Cm}^2/\text{kw}$ den büyük olduğu dönemlerde (yılın belirli dönemlerinde muhtemelen sonbahar ve ilkbahar dönemlerinde) kullanılması uygun görülmemektedir.



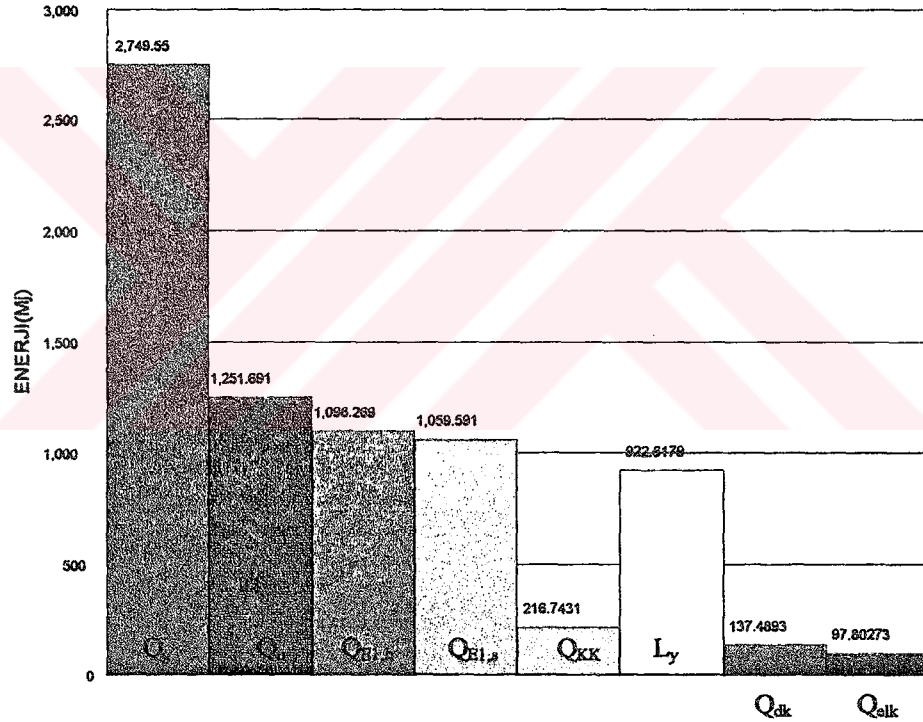
Şekil.10.1 Dik duvar kollektörü verimi
(I.N.P. İşletme noktası parametresi)



Şekil.10.2. Çatı kollektörü verimi
(I.N.P. İşletme noktası parametresi)

10.2. Sıcak su hazırlama modunun günlük performans deneyleri;

Bu deneyde sistem sıcak su hazırlama modunda sabah saat 8:50'de devreye girdi bu esnada kollektörden hava çıkış sıcaklığı $T_{kç}=33.7^{\circ}\text{C}$, eşanjöre su giriş sıcaklığı $T_{E1,sg} = 20^{\circ}\text{C}$ ve akşam saat 17:10'da devreden çıktı devreden çıkış anında kollektör çıkış sıcaklığı $T_{kç} = 42.5^{\circ}\text{C}$, eşanjöre su giriş sıcaklığı $T_{E1,sg} = 33^{\circ}\text{C}$ olduğu tespit edildi. Sistemdeki sıcaklık farkı fark termostatu 10°C 'a ayarlamamıza rağmen $\pm 4^{\circ}\text{C}$ lik hatayla sistemi devreye sokmakta olduğu gözlenmektedir.

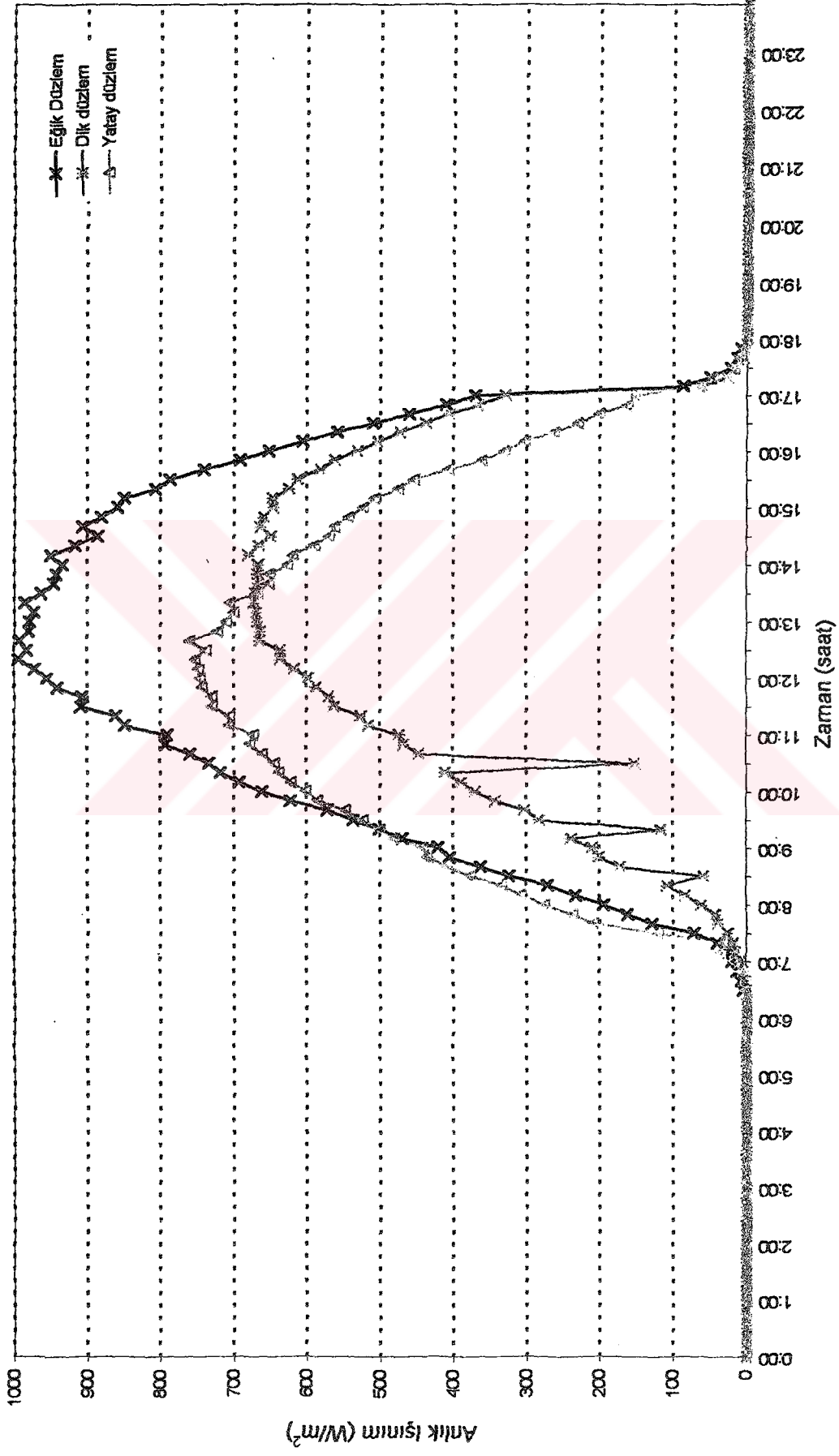


Şekil.10.3. Sıcak su hazırlama deneyi enerji dengesi (2.10.1996 Parlak gün)

Sistem çalıştığı zaman zarfında, yani 8:50-17:10 saatleri arasındaki enerjiler Şekil.10.3'deki grafikte, Tablo.10.1 de ise deneye ait veriler ve enerji bilançosunda sunuldu. Deney gününde elde edilen enerjinin % 8.6'sı elektrik enerjisi olarak sistemde harcanmıştır.

Tablo.10.1. Günlük sıcak su hazırlama deney verileri ve enerji dengesi
(2.10.1996 Parlak gün ve rüzgar hızı 5 m/sn'nin altında)

Deney Tarihi: 2.10.1996					
Deney Adı : Sıcak su hazırlama					
Den.Başlama	Den.Bitiş	M _{ev} (Ev hacmi)	M _{depo} (Depo hacmi)	A _{k,c} (Çatı koll. Alanı)	A _{k,d} (Duvar koll. Alanı)
0:00	0:00	432 m ³	5 m ³	95.78 m ²	32.48 m ²
Hava ve su debileri:					
m _k (koll. hava debisi)	m _{ev} (Ev hava debisi)	m _{s1} (E1 su debisi)	m _{s2} (E2 su debisi)		m _{s3} (E3 su debisi)
1.73 m ³ /sn	0.7 m ³ /sn	2.224 m ³ /saat	1 m ³ /saat		1 m ³ /saat
Sonuçlar:					
Q _G (Güneşten gelen Enerji)		2 749 530 kJ/gün			
Q _u (Kollektörden hava ile çekilen enerji)		1 251 691 kJ/gün			
Q _{E1,h} (E1 eşanjöründe havanın verdiği enerji)		1 098 269 kJ/gün			
Q _{E1,s} (E1 eşanjöründe suyun aldığı enerji)		1 059 591 kJ/gün			
ΔU _d (Deponun enerjisindeki değişme)		-516.28 kJ/gün			
Q _{KK} (Kollektör kanal ve eşanjörde kaybolan enerji)		216 743.1 kJ/gün			
L _y , M _{ss} (Depodan çekilen sıcak su ısı yükü ve su miktarı)		922 617.9 kJ/gün - 13.149 m ³ /gün			
L _s (Evin ısı kaybı veya ısı ihtiyacı)		-			
ΔU _{ev} (Evin iç enerjisindeki değişme)		-			
Q _{E2,h} (E2 eşanjöründe havanın verdiği enerji)		-			
Q _{E2,s} (E2 eşanjöründe suyun aldığı enerji)		-			
Q _{E3,h} (E3 eşanjöründe havanın verdiği enerji)		-			
Q _{E3,s} (E3 eşanjöründe suyun aldığı enerji)		-			
Q _{DK} (Depodan çevreye olan enerji kaybı)		137 489.3 kJ/gün			
Q _{ELK} (Bu deney esnasında harcanan elektrik enerjisi)		79 802.73 kJ/gün			
η _{kol} (Kollektör verimi)		% 45.5			
η _{E1} (E1 eşanjörü verimi)		% 96			
η _{sis} (Sistem verimi)		% 33.5			



Şekil.10.4. Kollektör düzlemlerine gelen anlık ışıma'nın günlük değişimi (2.10.1996 Parlak gün)

Şekil.10.4'de çatı, duvar ve yatay düzleme deney süresince gelen anlık güneş radyasyonunu göstermektedir. Bu grafikten de görüldüğü gibi deney günü parlak bir gün olup ışınım da ani dalgalanmalar olmamaktadır.

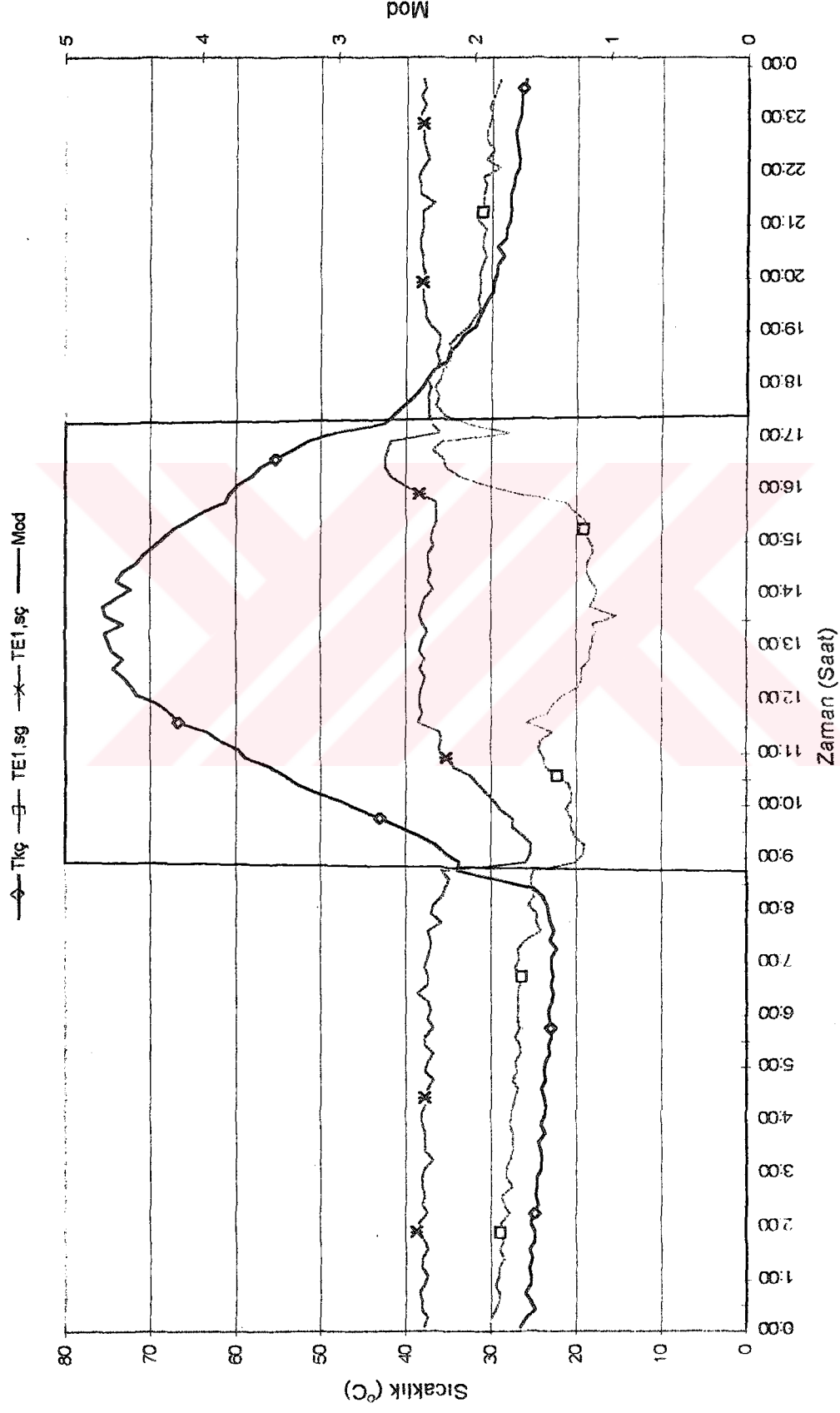
Otomatik kontrol devresinde sıcak su hazırlama modu için referans sıcaklıklar olan kollektör çıkış ve eşanjöre su giriş sıcaklıkları fonksiyon olarak tanımlanan sistemin devreye giriş ve çıkış noktalarını belirten grafik Şekil.10.5'de verildi.

Sisteme enerji sağlayan çatı ve duvar kollektörlerinin enerji girdileri ile çekilen enerjiler Şekil.10.6.'de verildi. Bu grafikten de görüldüğü gibi çekilen enerjinin büyük kısmı çatı kollektörlerinden çekilmektedir. Bu grafiğin çiziminde, modun devrede olduğu zamanlar dikkate alınmıştır. Şekil.10.7'de ise kollektörlere gelen , kollektörlerden çekilen ve suya aktarılan toplam enerjiler zamana bağlı olarak verildi. Bu grafikten de görüldüğü gibi gün ortasında kollektörden maksimum enerji çekilmektedir.

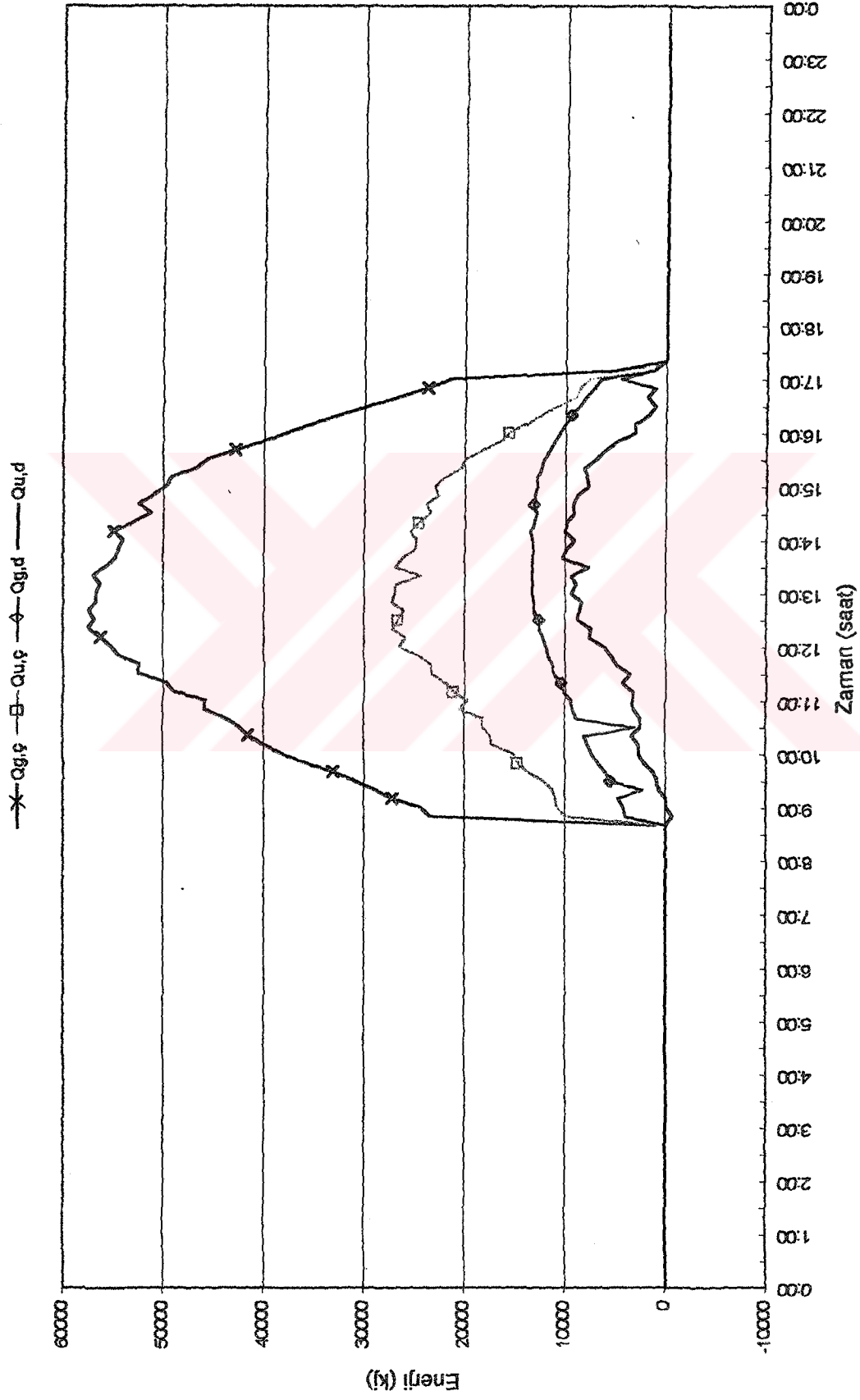
Şekil.10.8'de sistemdeki su sıcaklıkları ve hastane mutfağına verilen sıcak su debisi zamana bağlı olarak verildi. Burada sistemden çekilen sıcak su yarım saatlik zaman adımlarıyla devrede bulunan sıcak su sayaçlarından toplam değerleri okunmuş sonra okuma periyoduna bölünmek suretiyle okuma zaman periyoduna ait ortalama debi olarak sabit kabul edilmiştir. Şekil.10.8 de verilen grafikte de görüldüğü gibi mutfağın sıcak su ihtiyacı günün belli saatlerinde artmaktadır. Gün ortasında kollektör düzlemlerine gelen güneş ışıını maksimum olmaktadır buna karşın kollektör sıcaklıkları (gün ortasında maksimum su sarfiyatı olduğundan) bu anlarda sistemden fazla enerji çekildiğinden fazla yükselememektedir, bu ise kollektör veriminin düşmesini engellemektedir. Sistemden çekilen sıcak suyun maksimum değeri günün öğle (12:00-13:00) saatlerinde olmaktadır. Aynı zaman da bu saatlerde sisteme enerji girdisi de maksimumdur ve bu nedenle mutfağına verilen sıcak suyun sıcaklığında fazla bir değişme olmamaktadır. Deney yapıldığı gün boyunca sitemimizden 13.149 m^3 su çekildiğine göre ortalama olarak servis suyu yaklaşık $16^\circ \pm 17^\circ\text{C}$ kadar sistemimizde ısıtıldığı görülmektedir.

Şekil.10.9'de ise sistemde bulunan havadan suya ısı eşanjörünün su ve hava giriş-çıkış sıcaklıkları verilmiştir. Bu grafikte fonksiyon diye tanımlanan eğri ise sıcak su hazırlama modunun faal olup olmadığını göstermektedir. Bu grafikte görülen başka bir nokta ise gün ortasında E1 eşanjörüne suyun giriş sıcaklığı düştüğünden eşanjöre havanın giriş sıcaklığı ile suyun eşanjöre giriş sıcaklığı arasındaki farkın büyüklüğü eşanjör verimini olumlu yönde etkilemektedir. Ayrıca Şekil.10.10'deki grafikte ise sistemdeki hava sıcaklıkları verildi. Bu grafikte ise havanın kollektörden çıkış sıcaklığı ile eşanjöre giriş sıcaklığı arasındaki farkın günün saatlerine göre değişme göstermesi (bu aynı zamanda kanal kayıplarını göstermektedir) gün ortasında bu farkın büyümesi, kanaldaki hava sıcaklığının yükselmesiyle kanal kayıplarının arttığının göstermektedir.

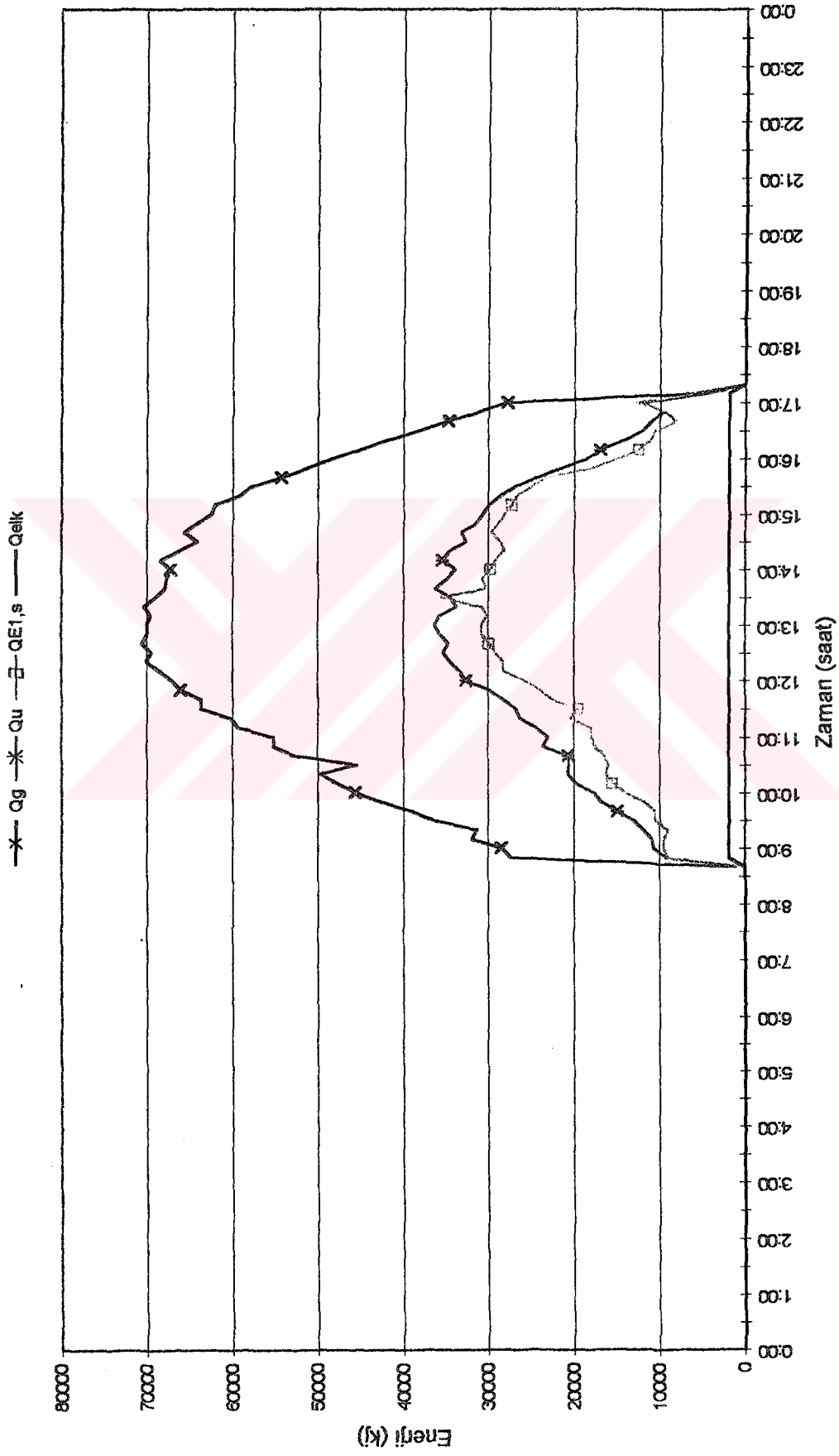




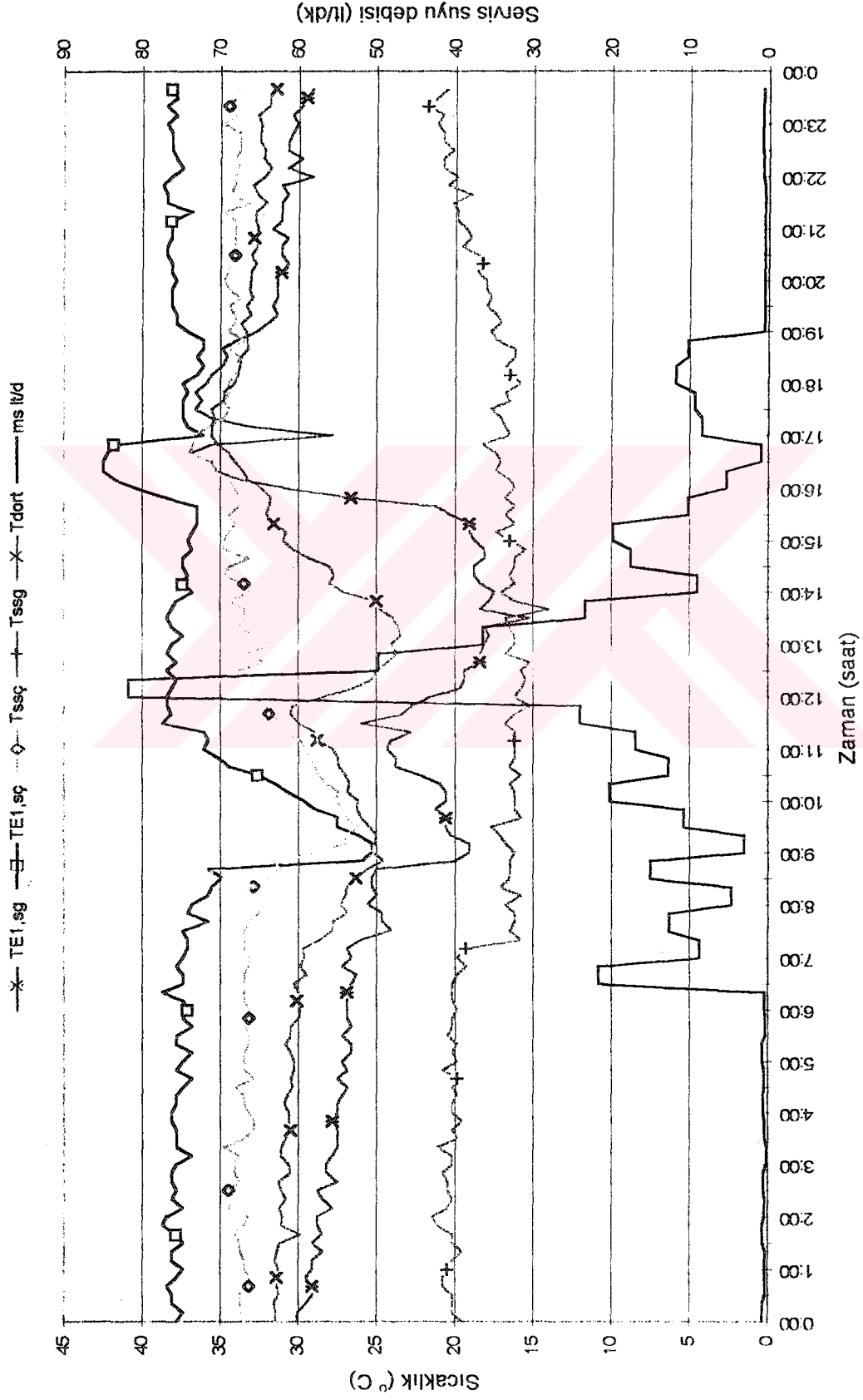
Şekil.10.5. Sıcak su hazırlama deneyi için devreye girme fonksiyonu (2.10.1996 parlak gün)
(Referans sıcaklıklar kollektör çıkış ve eşanjöre su giriş sıcaklığı)



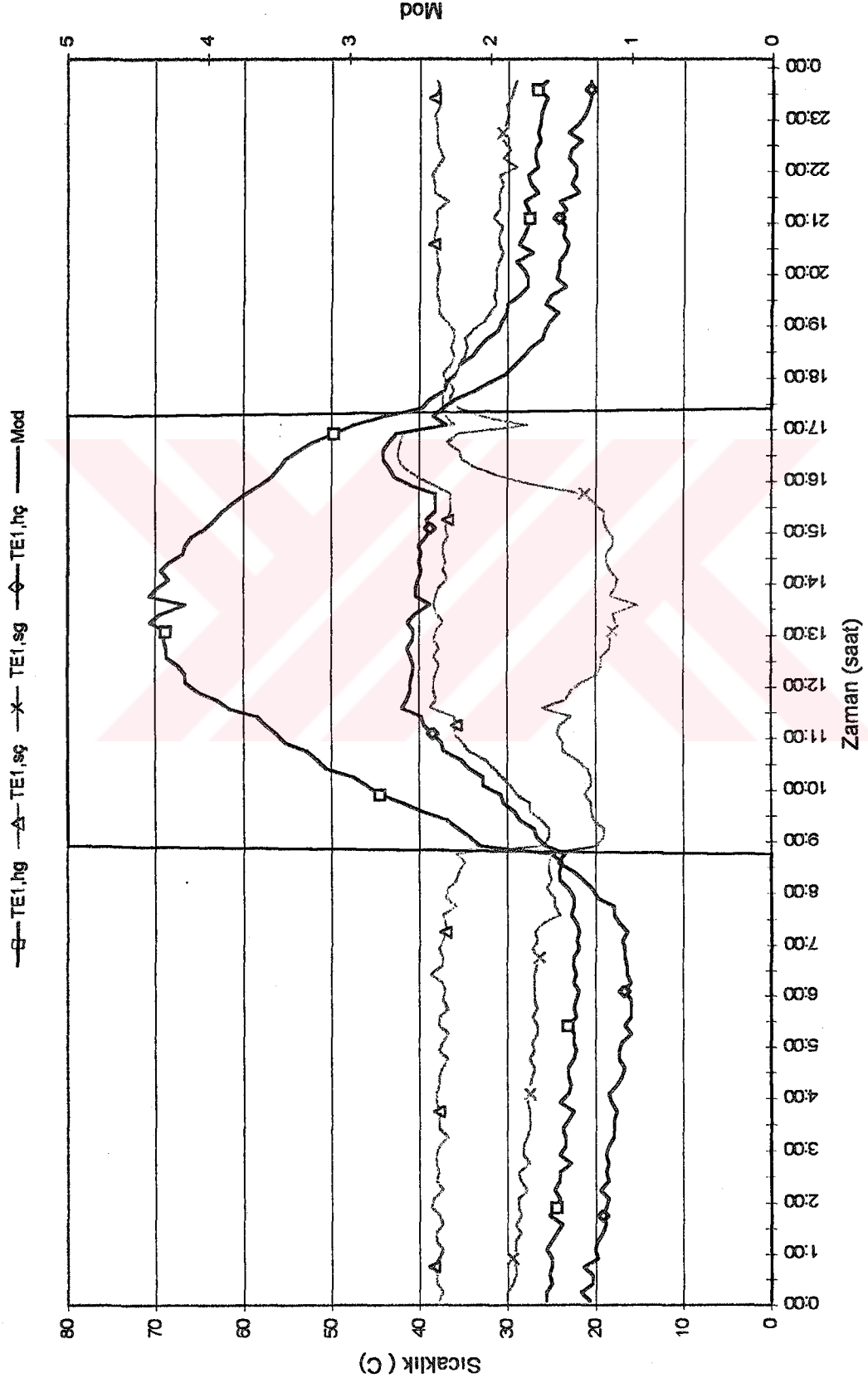
Şekil.10.6. Sıcak su hazırlama deneyinde kollektör düzlemlerine gelen ve çekilen enerjiler (2.10.1996 parlak gün)



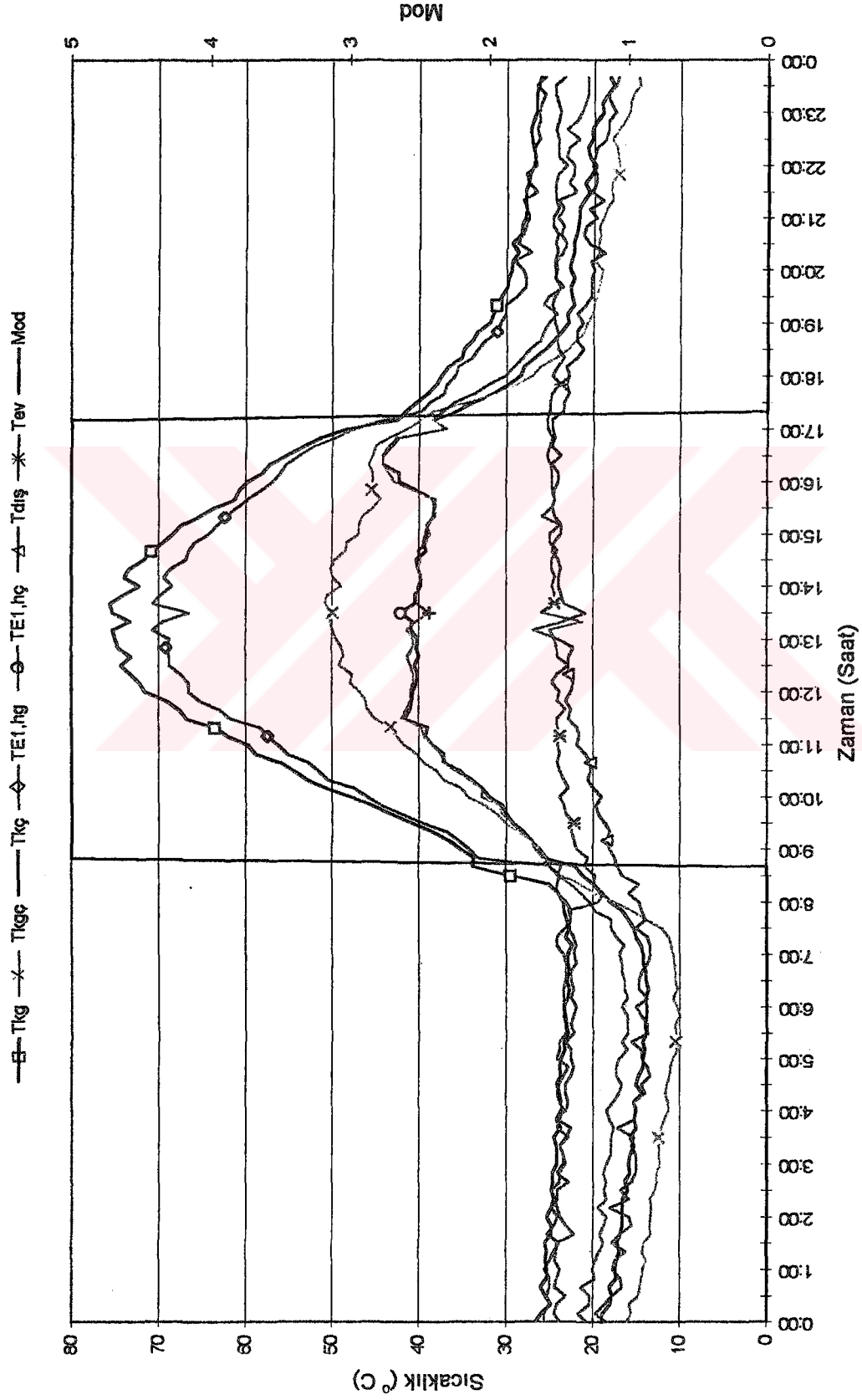
Şekil. 10.7. Sıcak su hazırlama deneyinde enerjilerin zamana göre değişimi (2.10.1996 parlak gün)



Şekil.10.8. Sıcak su hazırlama deneyi sistemdeki su sıcaklıkları (2.10.1996 parlak gün)



Şekil.10.9.Sıcak su hazırlama deneyi eşanjör akışkanları giriş-çıkış sıcaklıkları (2.10.1996 parlak gün)

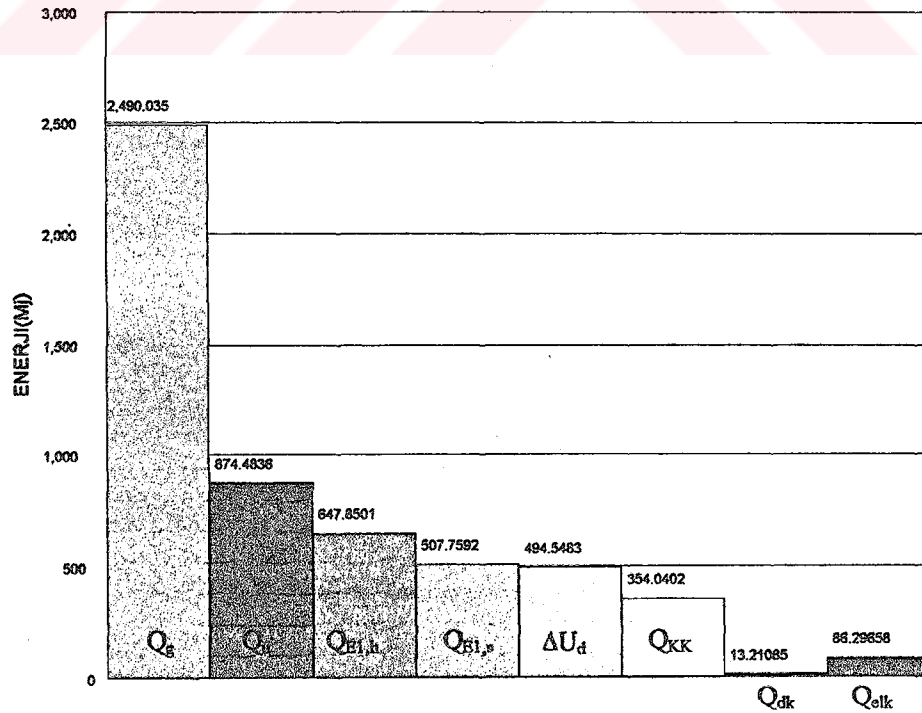


Şekil.10.10. Sıcak su hazırlama deneyi sistemdeki hava sıcaklıkları (2.10.1996 parlak gün)

10.3. Suya ısı depolama modunun günlük performans deneyleri;

a) Parlak gün

10.9.1996 tarihli suya ısı depolama deneyi saat sabah 9:10 da deponun ortalama sıcaklığı 25.1°C ,kollektör çıkış sıcaklığı 32.7°C ve eşanjöre su giriş sıcaklığı 21.0°C iken mod devreye girdi ve akşam saat 16:45 de deponun ortalama sıcaklığı 50.9°C ,kollektör çıkış sıcaklığı 67.2°C ve eşanjöre su giriş sıcaklığı 55.6°C iken mod devreden çıkmıştır. Burada ise sıcaklık farkı termostatinin $\pm 1.7^{\circ}\text{C}$ lik bir hata ile modu devreye sokmuştur. 10.9.1996 tarihinde yapılan suya ısı depolama deneyi enerji dengesi şekil.10.11'de verildi. Tablo.10.2 de bu deneye ait deney verileri ve enerjiler verilmektedir. Deney süresince alınan ısı enerjisinin %17.4'ü elektrik enerjisi olarak harcanmıştır. Şekil.10.12'de bu günün düzlemlere gelen anlık ışınlımları görülmektedir. Buradan da görüldüğü gibi deney süresince ışınlımda ani değişimler olmamaktadır parlak bir gündür.



Şekil.10.11. Suya ısı depolama deneyinin günlük enerji bilançoları (10.9.1996 parlak gün)

Tablo.10.2. Suya ısı depolama deneyi deney verileri ve ısı dengesi
(10.9.1996 parlak gün, rüzgar hızı 5 m/sn'den küçük)

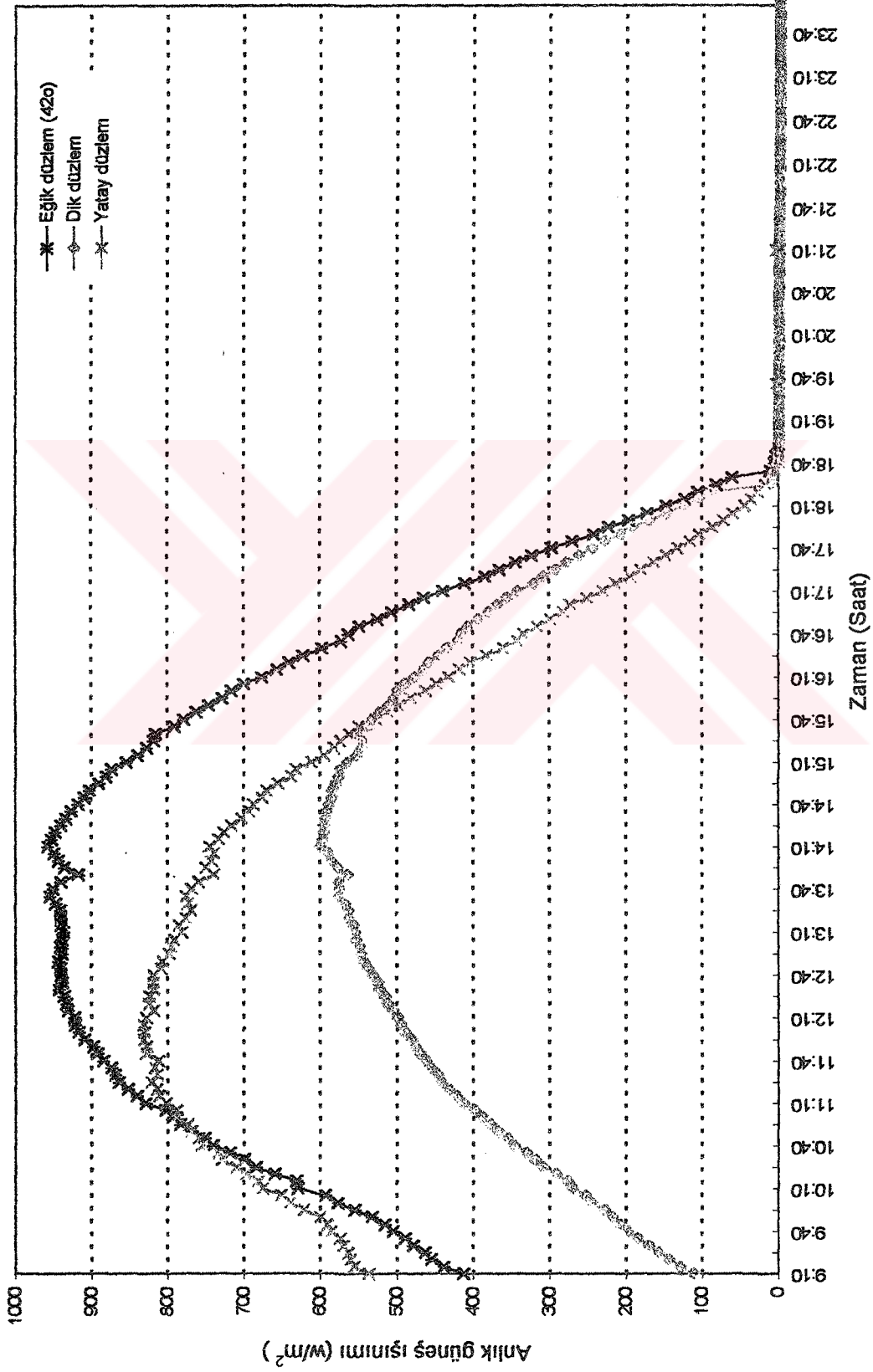
Deney Tarihi: 10.9.1996					
Deney Adı : Suya ısı depolama					
Den.Başlama	Den.Bitiş	M _{ev} (Ev hacmi)	M _{depo} (Depo hacmi)	A _{k,c} (Çatı koll. Alanı)	A _{k,d} (Duvar koll. Alanı)
9:10	24:00	432 m ³	5 m ³	95.78 m ²	32.48 m ²
Hava ve su debileri:					
m _k (koll. hava debisi)	m _{ev} (Ev hava debisi)	m _{s1} (E1 su debisi)	m _{s2} (E2 su debisi)		m _{s3} (E3 su debisi)
1.73 m ³ /sn	0.7 m ³ /sn	2.224 m ³ /saat	1 m ³ /saat		1 m ³ /saat
Sonuçlar:					
Q _G (Güneşten gelen Enerji kJ)		2490035 kJ/gün			
Q _u (Kollektörden hava ile çekilen enerji kJ)		874483.6 kJ/gün			
Q _{E1,h} (E1 eşanjöründe havanın verdiği enerji kJ)		647850.1 kJ/gün			
Q _{E1,s} (E1 eşanjöründe suyun aldığı enerji kJ)		507759.2 kJ/gün			
ΔU _d (Deponun enerjisindeki değişme kJ)		494548.3 kJ			
Q _{KK} (Kollektör kanal ve eşanjörde kaybolan enerji kJ)		354040.2 kJ/gün			
L _y (Depodan çekilen sıcak su yükü kJ)		-			
L _s (Evin ısı kaybı veya ısı ihtiyacı kJ)		365397 kJ/gün			
ΔU _{ev} (Evin iç enerjisindeki değişme kJ)		1853.8 kJ/gün			
Q _{E2,h} (E2 eşanjöründe havanın verdiği enerji kJ)		-			
Q _{E2,s} (E2 eşanjöründe suyun aldığı enerji kJ)		-			
Q _{E3,h} (E3 eşanjöründe havanın verdiği enerji kJ)		-			
Q _{E3,s} (E3 eşanjöründe suyun aldığı enerji kJ)		-			
Q _{DK} (Depodan çevreye olan enerji kaybı kJ)		13210.85 kJ/gün			
Q _{ELK} (Bu deney esnasında harcanan elektrik enerjisi)		86296.58 kJ/gün			
η _{kol} (Kollektör verimi)		% 35.1			
η _{E1} (E1 eşanjörü verimi)		% 78.3			
η _{sis} (Sistem verimi)		% 35.1 (Kanal kayıpları evin ısıtılmasında faydalı enerji olarak kullanılmaktadır)			

Şekil.10.13'de ise kollektörlere gelen ve çekilen enerjilerin zamana göre değişimi görülmektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi suya ısı depolama modunda çalışan bir sistemde depodan herhangi bir ısı çekilmediği takdirde sistemdeki bütün sıcaklıklar zamana bağlı olarak yükselmektedir bunun sonucu

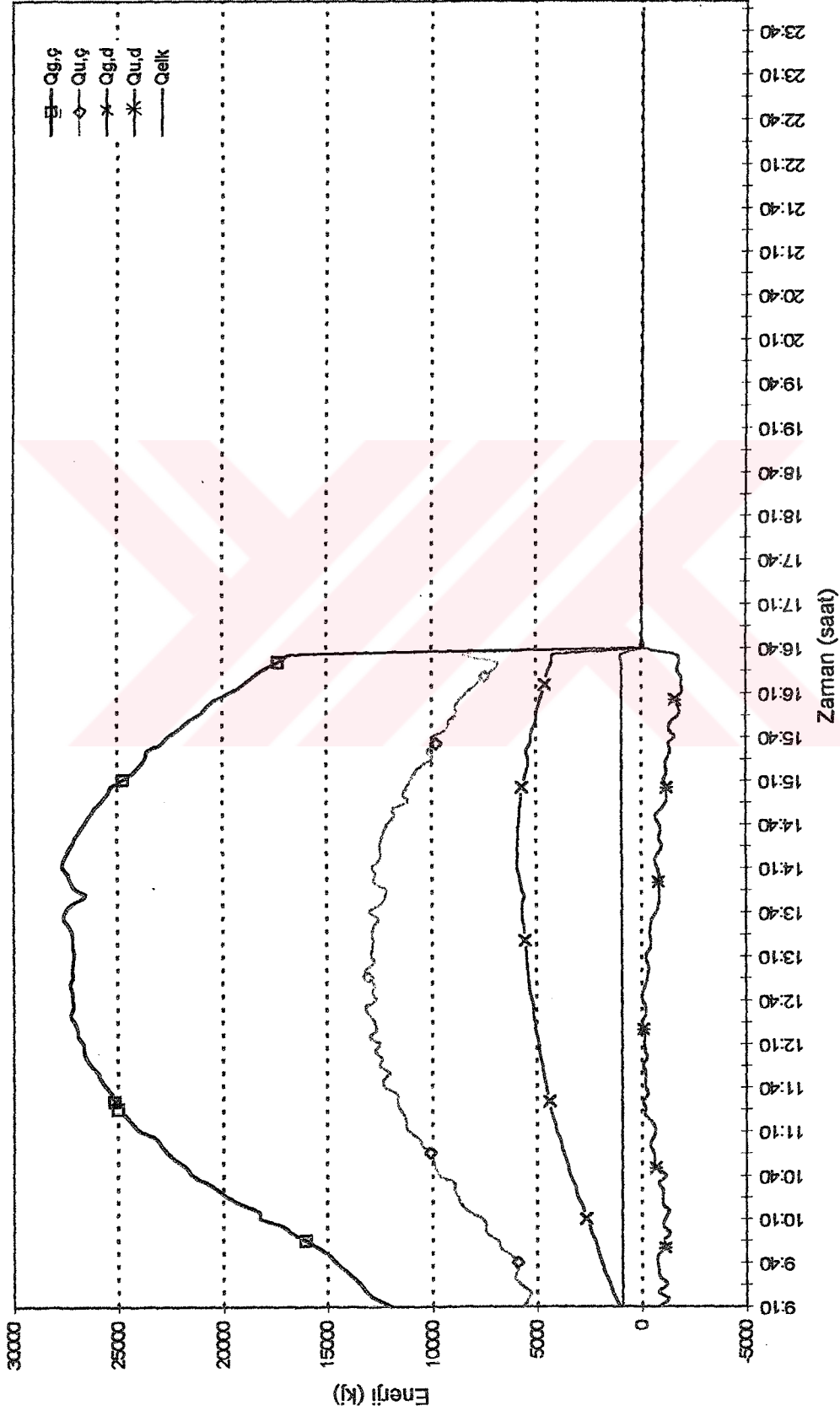
olarak ilk belirtiler duvar kollektöründen çekilen enerjinin negatif değer alması ile ortaya çıkar yani duvar kollektörlerinde hava ısınacağı yerde soğumaktadır. Bu ise sistem verimine olumsuz yönde etkide bulunmaktadır. Şekil.10.14'de kollektöre gelen, çekilen ve suya aktarılan toplam enerjilerin zamana göre değişimi görülmektedir buradan da görüldüğü gibi kollektöre gelen ve kollektörden çekilen enerjilerin farkı kollektör sıcaklığı yükseldikçe artmaktadır. Bu grafikte görülen başka bir değer ise suya aktarılan enerjinin harcanan elektrik enerjisini kestiği noktanın modun devre dışı kaldığı ana tekabül etmesi kontrol sistemindeki sıcaklık farkı termostatının 10°C'lik sıcaklığa ayarlanmasının doğruluğunu göstermektedir.

Şekil.10.15'de sistemde hava giriş-çıkış sıcaklıkları, Şekil.10.16'da sistemde su giriş-çıkış sıcaklıklarının zamana göre değişimi verilmektedir. Bu grafiklerde verilen fonksiyon eğrisi modun devrede olup olmadığını göstermektedir. Fonksiyon eğrisi sıfırken sistem çalışmamaktadır. Modun devrede ($T_{kç} - T_{E1,sg} > 10$ °C'iken sistem çalışmaktadır) olup olmadığını belirleyen referans sıcaklıklar ve fonksiyon eğrisi zamanın fonksiyonu olarak şekil.10.17'de verildi. Şekil.10.18'de ise hava-su ısı eşanjör sıcaklıkları zamanın fonksiyonu olarak verilmiştir. Deney süresince sistem sıcaklıkları modun devrede olduğu anlarda düzenlilik gösterirken, modun devre dışı kalması halinde ise sistem sıcaklıklarının bazılarının sensörlerin bulundukları yerlerden dolayı düzensizlik göstermesidir.

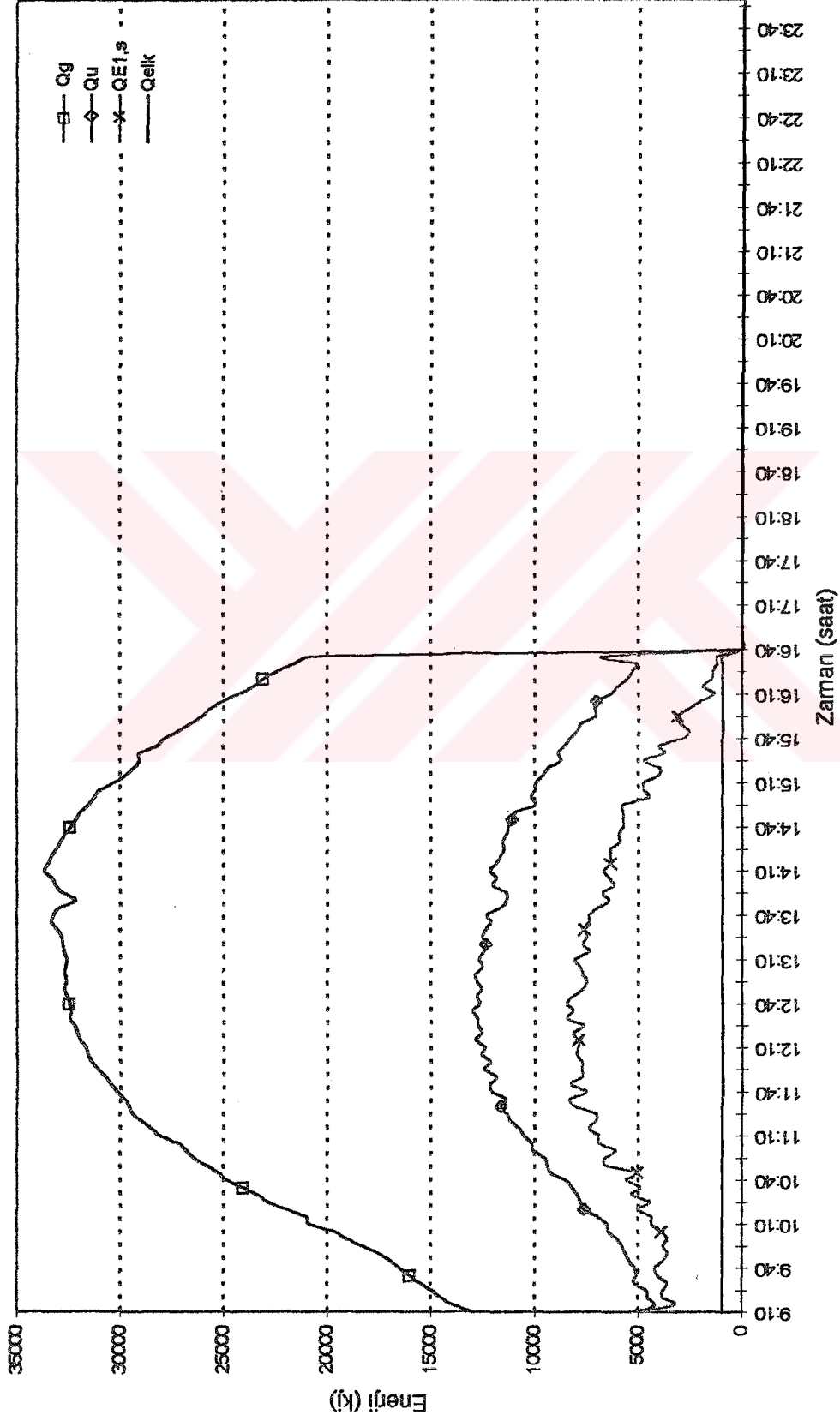
10.9.1996 günü yapılan suya ısı depolama deneyinin ardından 11.9.1996 günü hiç ara verilmeden deneye devam edildi. 11.9.1996 tarihli suya ısı depolama deneyi saat sabah 9:50 de deponun ortalama sıcaklığı 45.6°C ,kollektör çıkış sıcaklığı 47.2°C ve eşanjöre su giriş sıcaklığı 37.2°C iken mod devreye girdi ve akşam saat 16:10 da deponun ortalama sıcaklığı 58.3 °C ,kollektör çıkış sıcaklığı 75.9 °C ve eşanjöre su giriş sıcaklığı 63.3 °C iken mod devreden çıkmıştır. 10.9.1996 tarihinde yapılan suya ısı depolamanın ikinci günü



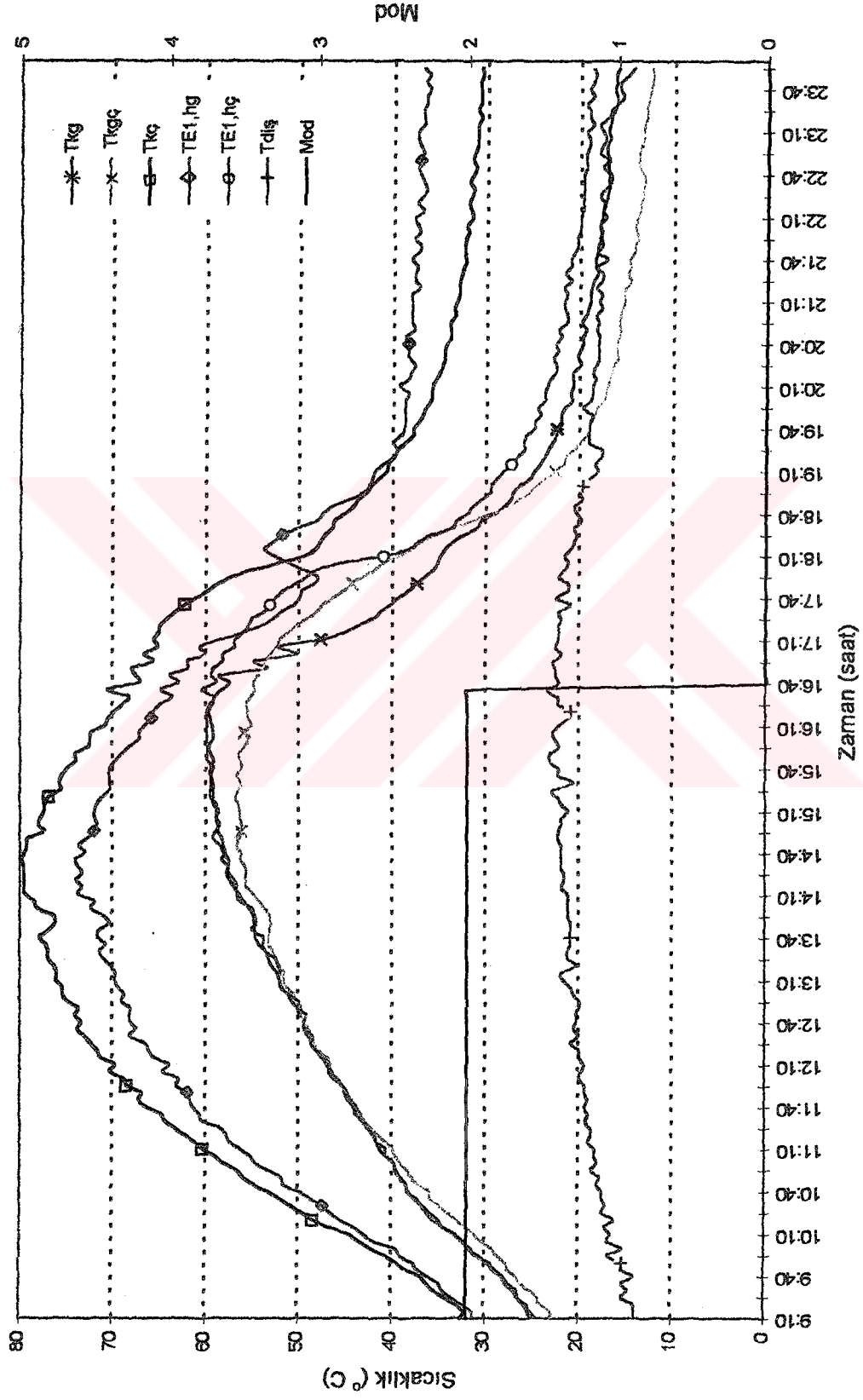
Şekil.10.12.Kollektör düzlemlerine gelen anlık güneş ışımlarının günlük değişimi (10.9.1996 parlak gün)



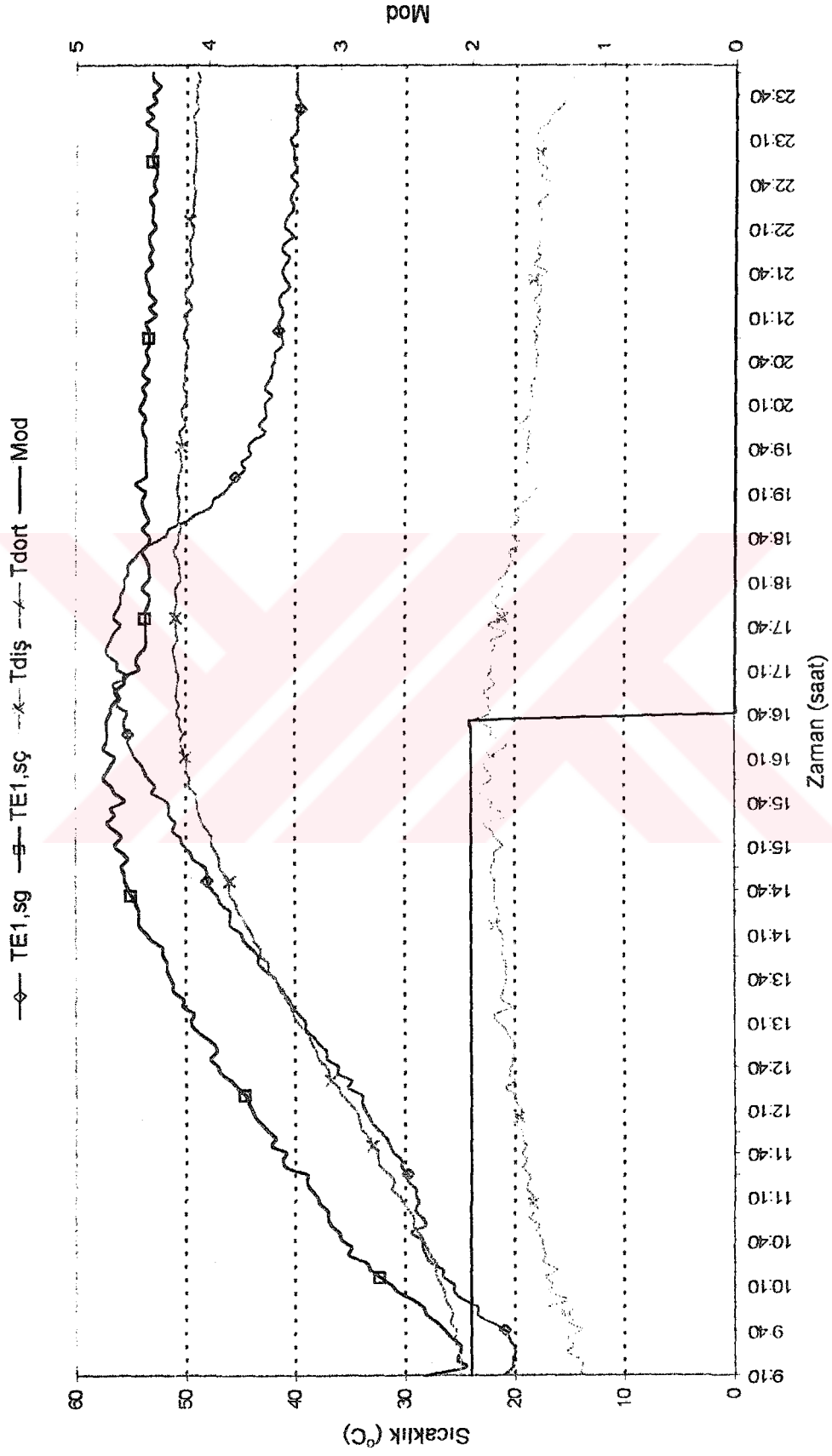
Şekil.10.13. Suya ısı depolama deneyi kolektörlere gelen ve çekilen enerjiler (10.9.1996 parlak gün)



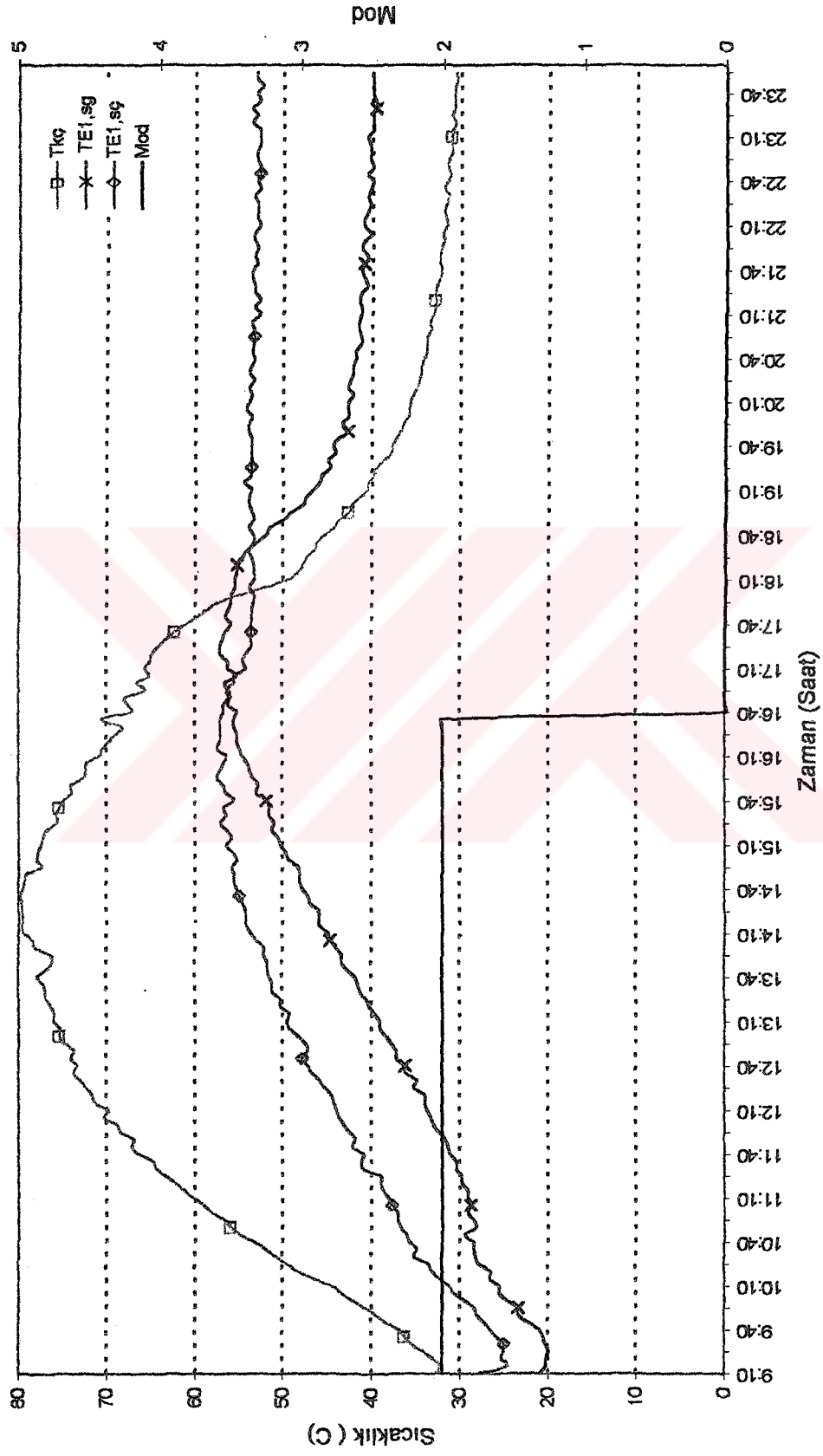
Şekil.10.14. Suya ısı depolama deneyi sisteme gelen çekilen ve suya aktarılan enerjiler (10.9.1996 parlak gün)



Şekil.10.15. Suya ısı depolama deneyi sistemdeki hava sıcaklıkları (10.9.1996 parlak gün)

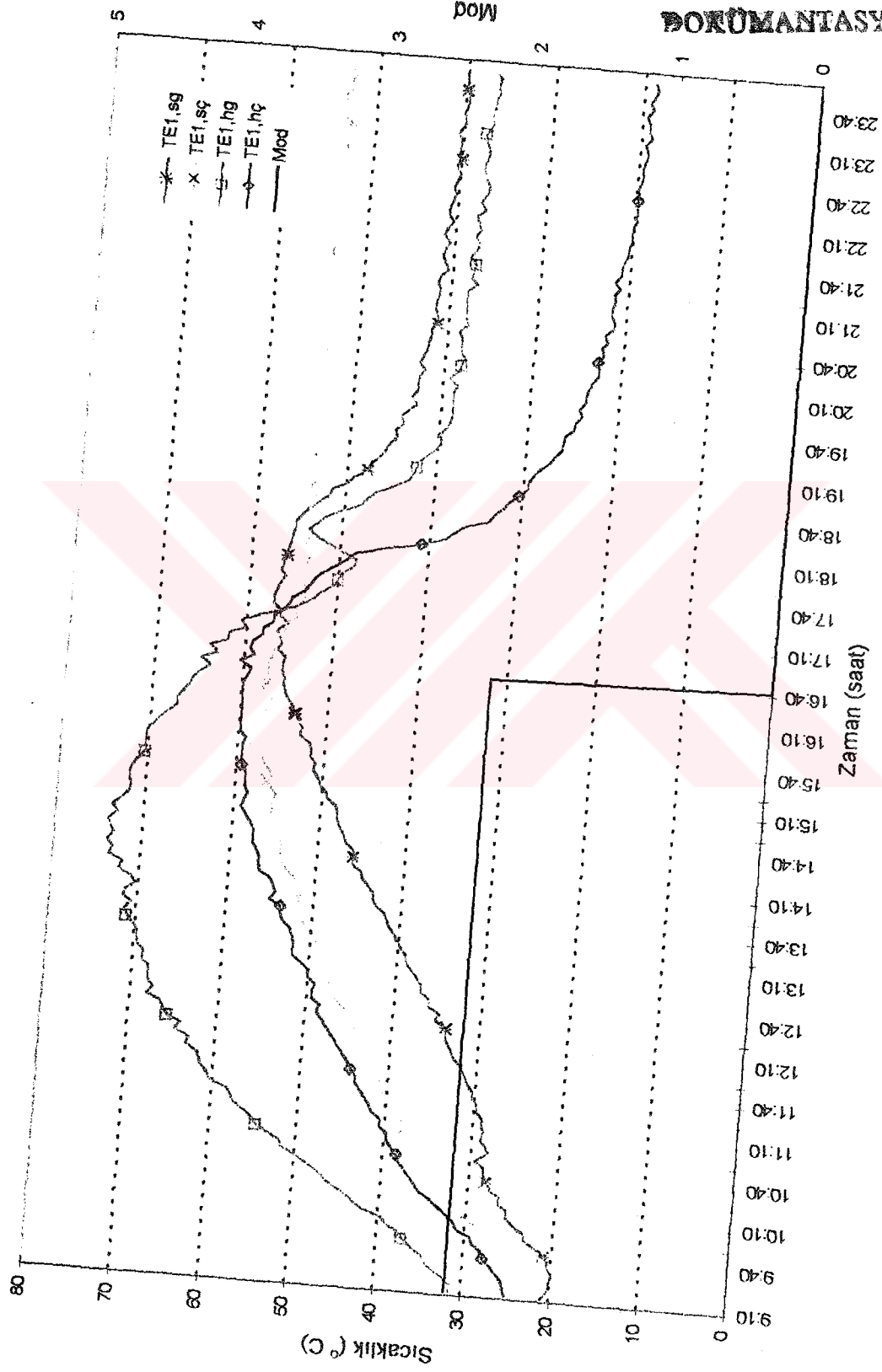


Şekil.10.16. Suyu ısı depolama deneyi sistemdeki su sıcaklıkları (10.9.1996 parlak gün)



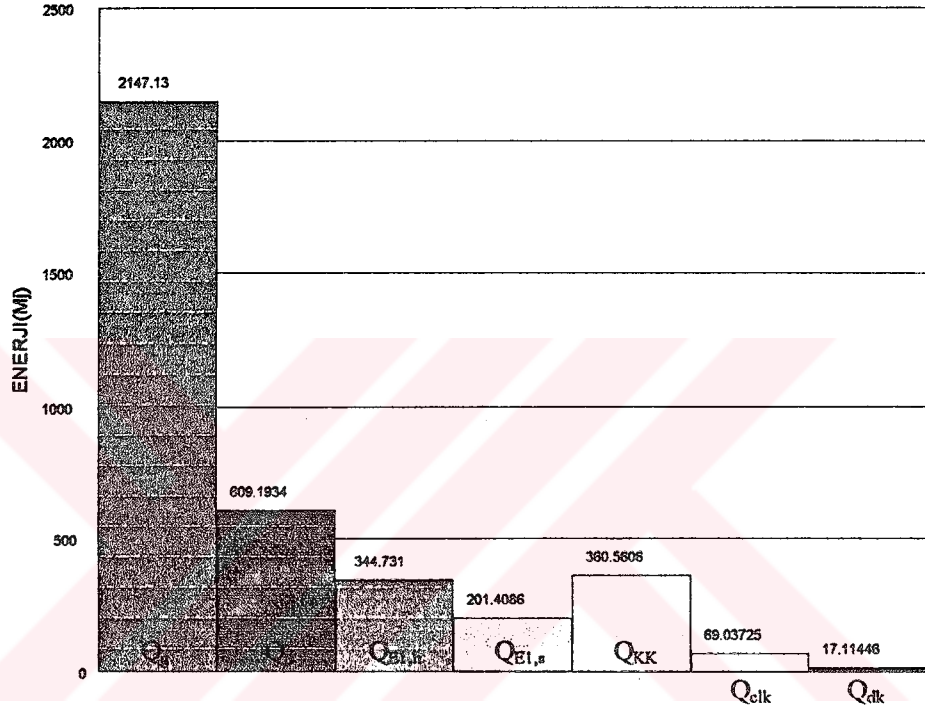
Şekil.10.17.Suya ısı depolama deneyi mod çalışma fonksiyonu ve referans sıcaklıkları (10.9.1996 parlak gün)

**V.C. YORSEKÖĞRAN KÜLTÜREL
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**



Şekil. 10.18. Suya ısı depolama deneyi eşanjör akışkanları giriş-çıkış sıcaklıkları (10.9.1996 parlak gün)

(11.9.1996) depo sıcaklığı birinci güne göre daha sıcak olduğundan sistemin bütün sıcaklıkları yüksek değerlere çıktı, bu ise sistemin verimini olumsuz yönde etkiledi. Bu deneye ait enerji verileri ve sonuçlar Tablo.10.3 ve Şekil.10.19'da verilmektedir.



Şekil.10.19.Suya ısı depolama ısı dengesi (11.9.1996' Parlak bir gün)

Buradan da görüldüğü gibi sistem sıcaklıklarının yüksek olması kolektör verimini birinci gün %35.1 iken ikinci gün %28.3'e düşmesine sebep oldu. Bunun dışında diğer bir kayıp olarak kanal kayıplarının yükseldiği görülmektedir. Kanallar ve depolama tankı ısıtılan mahal içerisinde ve suya ısı depolama modu binanın ısınmaya ihtiyacı olduğu günlerde çalıştırıldığı düşünülürse kanal ve depo kayıpları eve enerji girdisi olarak alınabilir.

b) Kısmi güneşli gün

Suya ısı depolama deneyinin bulutlu bir günde tekrarı yapılarak bulutlu güne ait suya ısı depolamanın performansı incelendi. Bulutlu güne ait örnek 29.9.1996 günü alındı. Bu güne ait yatay düzleme gelen anlık güneş radyasyonunun

zamana göre değişimi Şekil.10.20.'de görüldüğü gibi günün saatlerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Şekil.10.21'de kollektör düzlemlerine gelen ve çekilen toplam enerjilerin zamana göre değişimleri verildi. Buradan görülen tipik değerler duvar kollektörlerinin (90° dik) ısı kazancının olmamasıdır. Bu grafikte

Tablo.10.3. Suya ısı depolama deneyi deney verileri ve ısı dengesi (11.9.1996 parlak gün, rüzgar hızı 5 m/sn'den küçük)

Deney Tarihi: 11.9.1996					
Deney Adı : Suya ısı depolama					
Den.Başlama	Den.Bitiş	M _{ev} (Ev hacmi)	M _{depo} (Depo hacmi)	A _{k,c} (Çatı koll. Alanı)	A _{k,d} (Duvar koll. Alanı)
00:00	16:20	432 m ³	5 m ³	95.78 m ²	32.48 m ²
Hava ve su debileri:					
m _k (koll. hava debisi)	m _{ev} (Ev hava debisi)	m _{s1} (E1 su debisi)	m _{s2} (E2 su debisi)		m _{s3} (E3 su debisi)
1.63 m ³ /sn	0.7 m ³ /sn	2.154 m ³ /saat	1 m ³ /saat		1 m ³ /saat
Sonuçlar:					
Q _G (Güneşten gelen Enerji kj)		2 147 130.00 kj/gün			
Q _u (Kollektörden hava ile çekilen enerji kj)		609 193.40 kj/gün			
Q _{E1,h} (E1 eşanjöründe havanın verdiği enerji kj)		344 731.00 kj/gün			
Q _{E1,s} (E1 eşanjöründe suyun aldığı enerji kj)		201 408.60 kj/gün			
ΔU _d (Deponun enerjisindeki değişme kj)		184 294.2 kj/gün			
Q _{KK} (Kollektör kanal ve eşanjörde kaybolan enerji kj)		360 560.60 kj/gün			
L _y (Depodan çekilen sıcak su y _c 'dki kj)		-			
L _s (Evin ısı kaybı veya ısı ihtiyacı kj)		-			
ΔU _{ev} (Evin iç enerjisindeki değişme kj)		-			
Q _{E2,h} (E2 eşanjöründe havanın verdiği enerji kj)		-			
Q _{E2,s} (E2 eşanjöründe suyun aldığı enerji kj)		-			
Q _{E3,h} (E3 eşanjöründe havanın verdiği enerji kj)		-			
Q _{E3,s} (E3 eşanjöründe suyun aldığı enerji kj)		-			
Q _{DK} (Depodan çevreye olan enerji kaybı kj)		17 114.46 kj/gün			
Q _{ELK} (Bu deney esnasında harcanan elektrik enerjisi)		69 037.25 kj/gün			
η _{kol} (Kollektör verimi)		% 28.3			
η _{E1} (E1 eşanjörü verimi)		% 58.4			
η _{sis} (Sistem verimi)		% 28.3 (Kanal kayıpları evin ısıtılmasında faydalı enerji olarak kullanılmaktadır)			

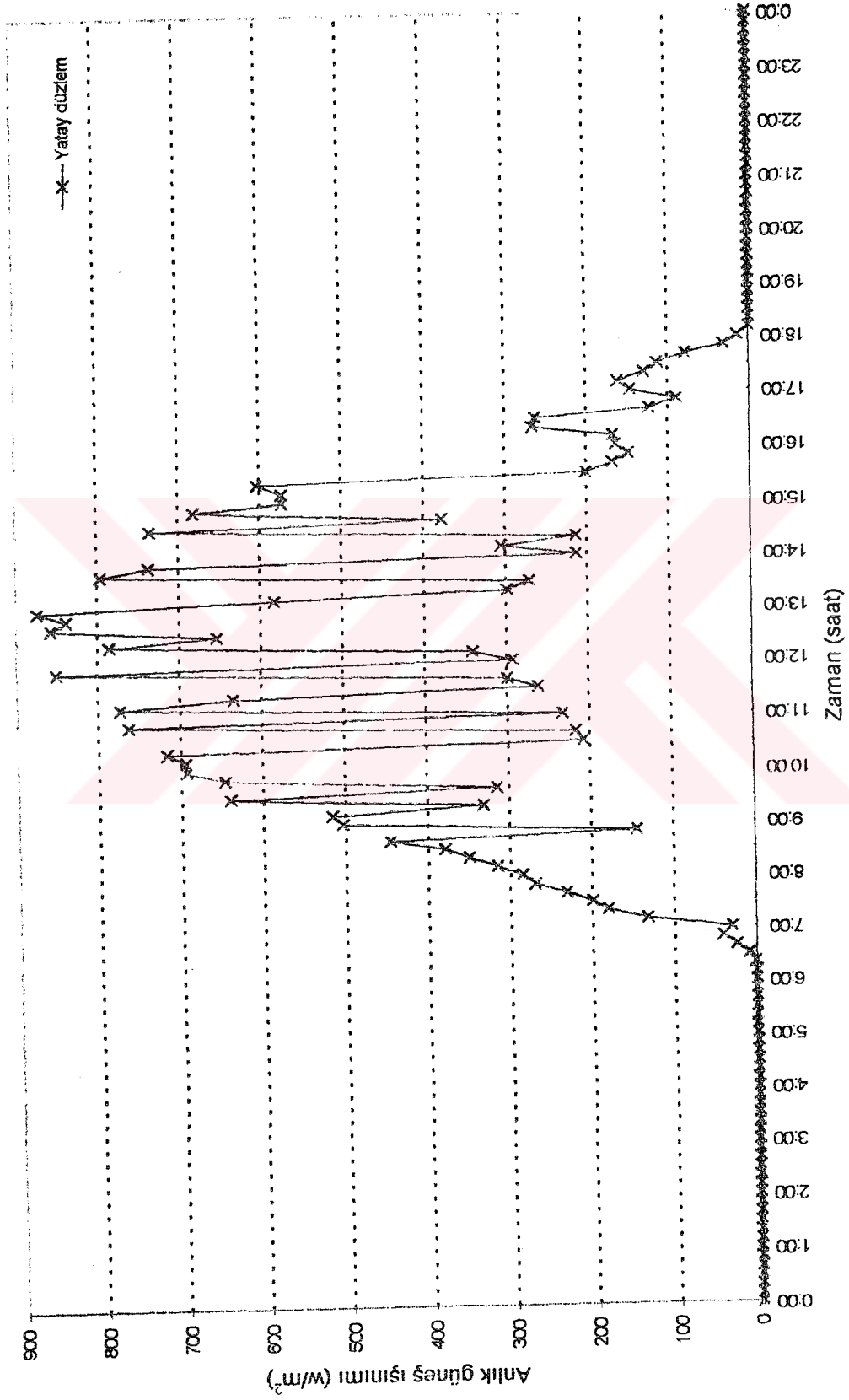
görülen duvar kollektörüne gelen ve çekilen enerji eğrilerinin arasında kalan bölge duvar kollektör kayıpları olarak değerlendirilebilir.

Şekil.10.22'deki grafikte kollektörlere gelen, kollektörlerden çekilen ve suya aktarılan toplam enerjilerin zamana göre değişimi verilmektedir. Burada enerji dengesine uymayan bir sonuç saat 13:30 sularında suya aktarılan enerjinin kollektörden çekilen enerjiden büyük değerler almasıdır. Bunun nedeni suya enerji aktaran hava-su ısı (E1) eşanjörü su çıkış sıcaklığını ölçen termo elemanın algılama hızının değişimi hissedememesinden kaynaklanmaktadır.

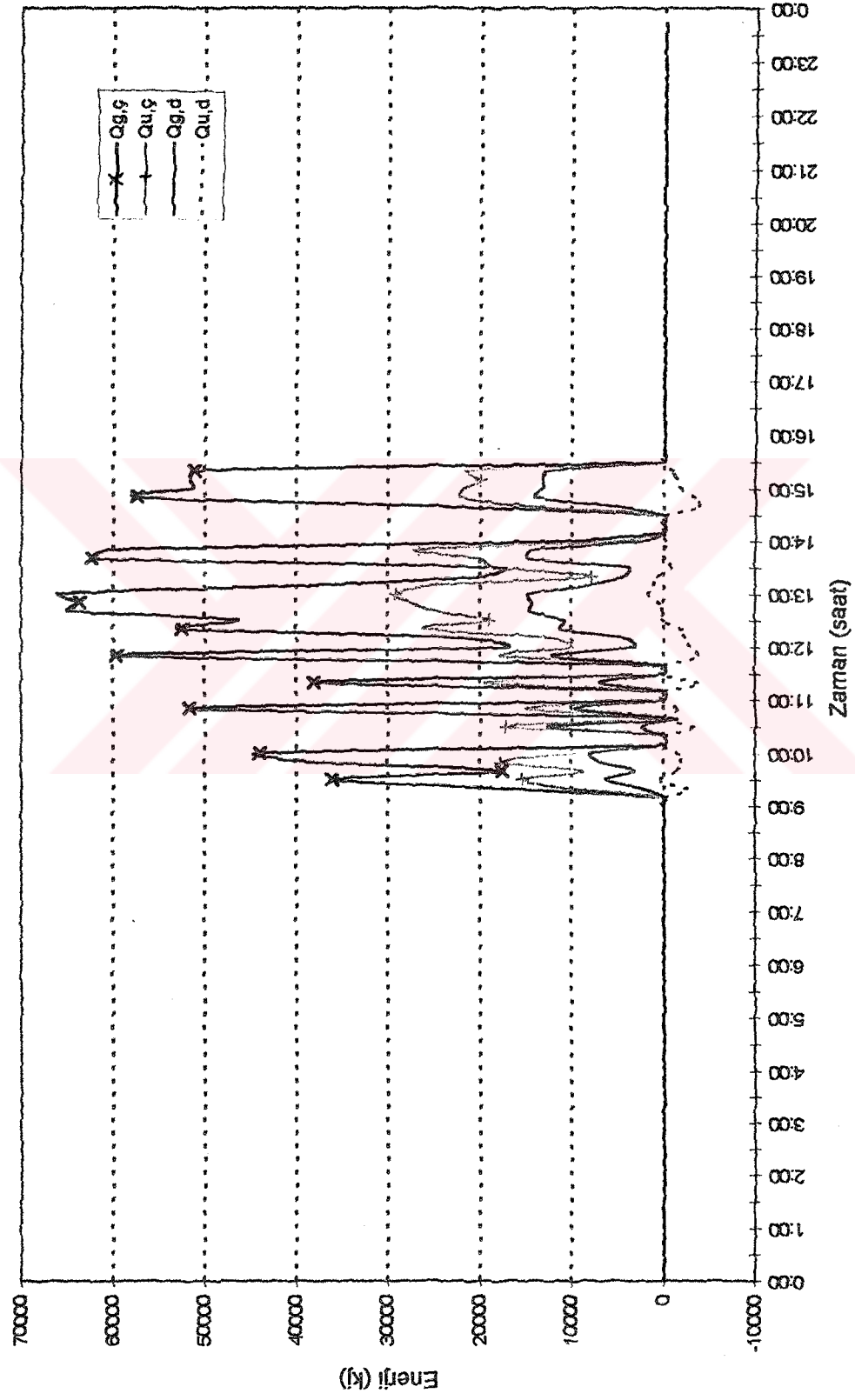
Şekil.10.23'deki grafikte modun çalışma aralığını belirleyen fonksiyon eğrisinin değişimi ve bunu etkileyen referans sıcaklıklar olan $T_{kç}$ (kollektör çıkış), $T_{E1,sg}$ (E1 eşanjörüne su giriş) sıcaklıkları zamanın fonksiyonu olarak verilmiştir. Sistemde suya ısı depolama modu $\Delta T = T_{kç} - T_{E1,sg} > 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu anlarda otomatik olarak çalışmaktadır. Suya ısı depolama modu deneyi gün boyunca altı defa devreye girmiş çıkmıştır. Bu grafikte modun devrede olmadığı zamanlardaki sıcaklıklar hava ve su akışının olmadığı durumlardan dolayı bize yanlış ifadeler verebilir bu sebeple o an ki değerler dikkate alınmamalıdır.

Şekil.10.24'de kısmi güneşli günde (29.9.1996) suya ısı depolama modunda çalıştırılan sistemin hava sıcaklıkları, şekil.10.25'de ise su sıcaklıkları verilmiştir. Şekil.10.26 da eşanjör sıcaklıklarının zamanın fonksiyonu olarak verilmektedir.

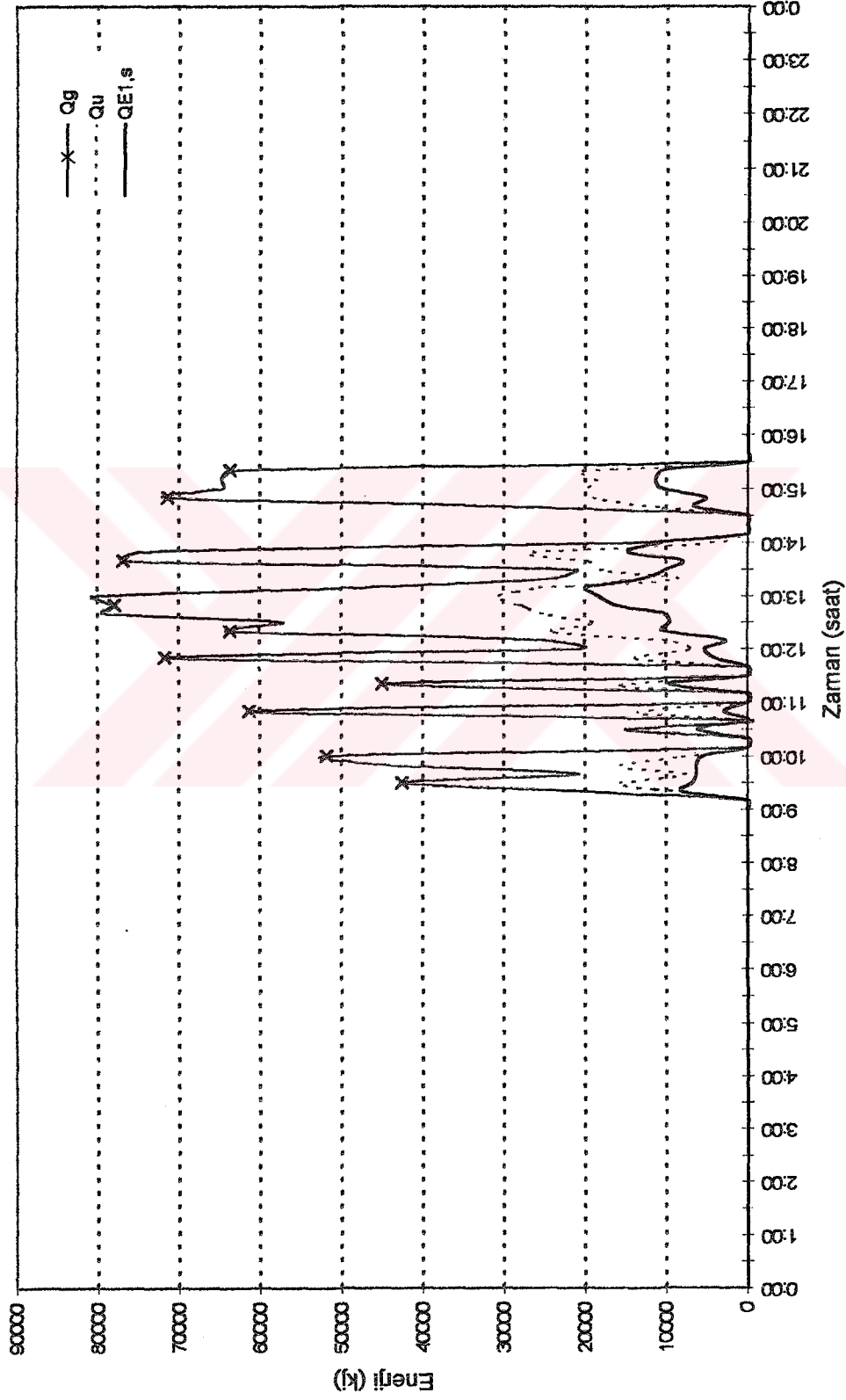
Şekil.10.27 ve Tablo.10.4'de kısmi güneşli güne ait sistemin verileri ve günlük enerji dengeleri verilmiştir.



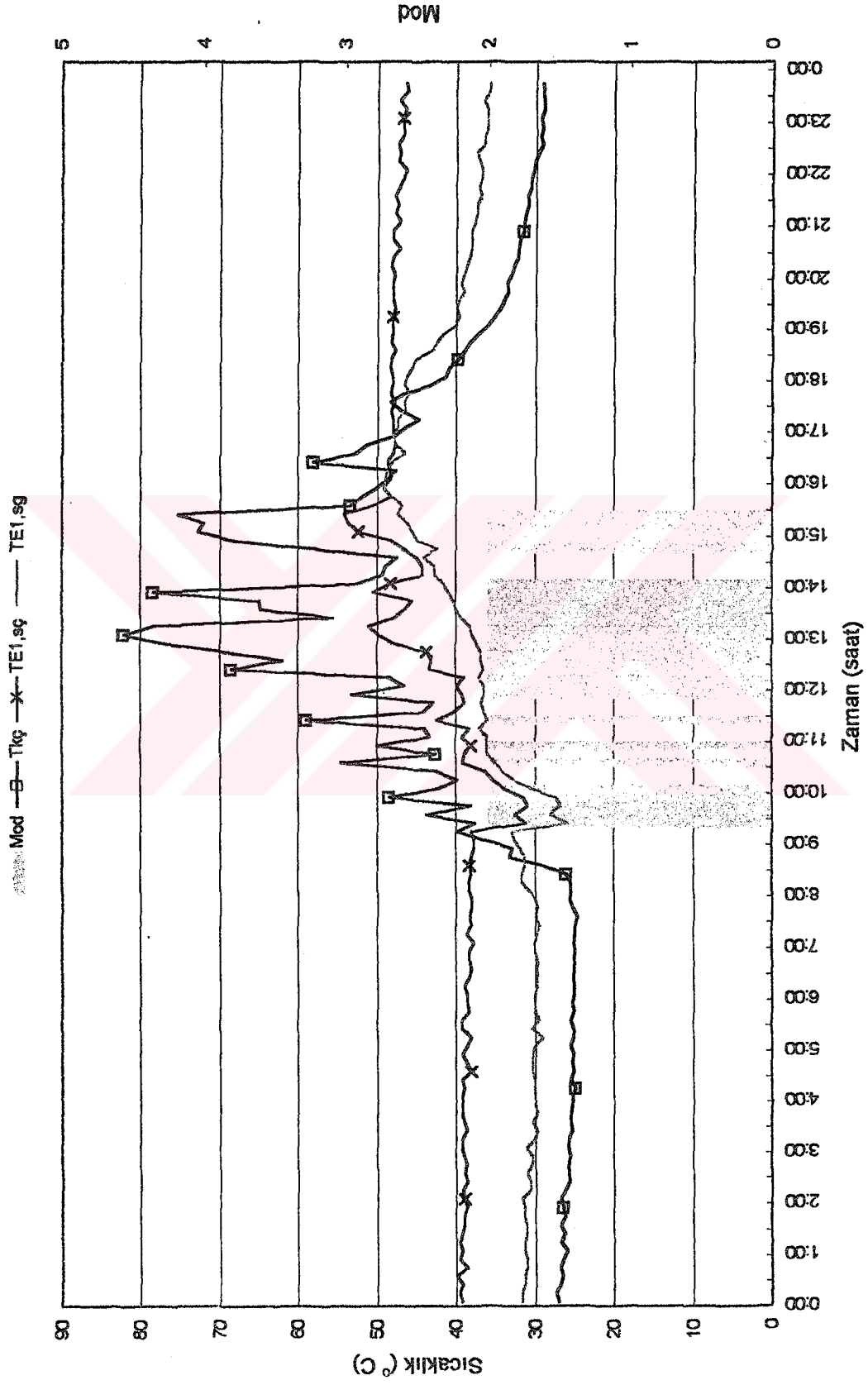
Şekil. 10.20. Yatay düzleme gelen anlık güneş ışınlamının günlük değişimi (29.9.1996 kısmi güneşli gün)



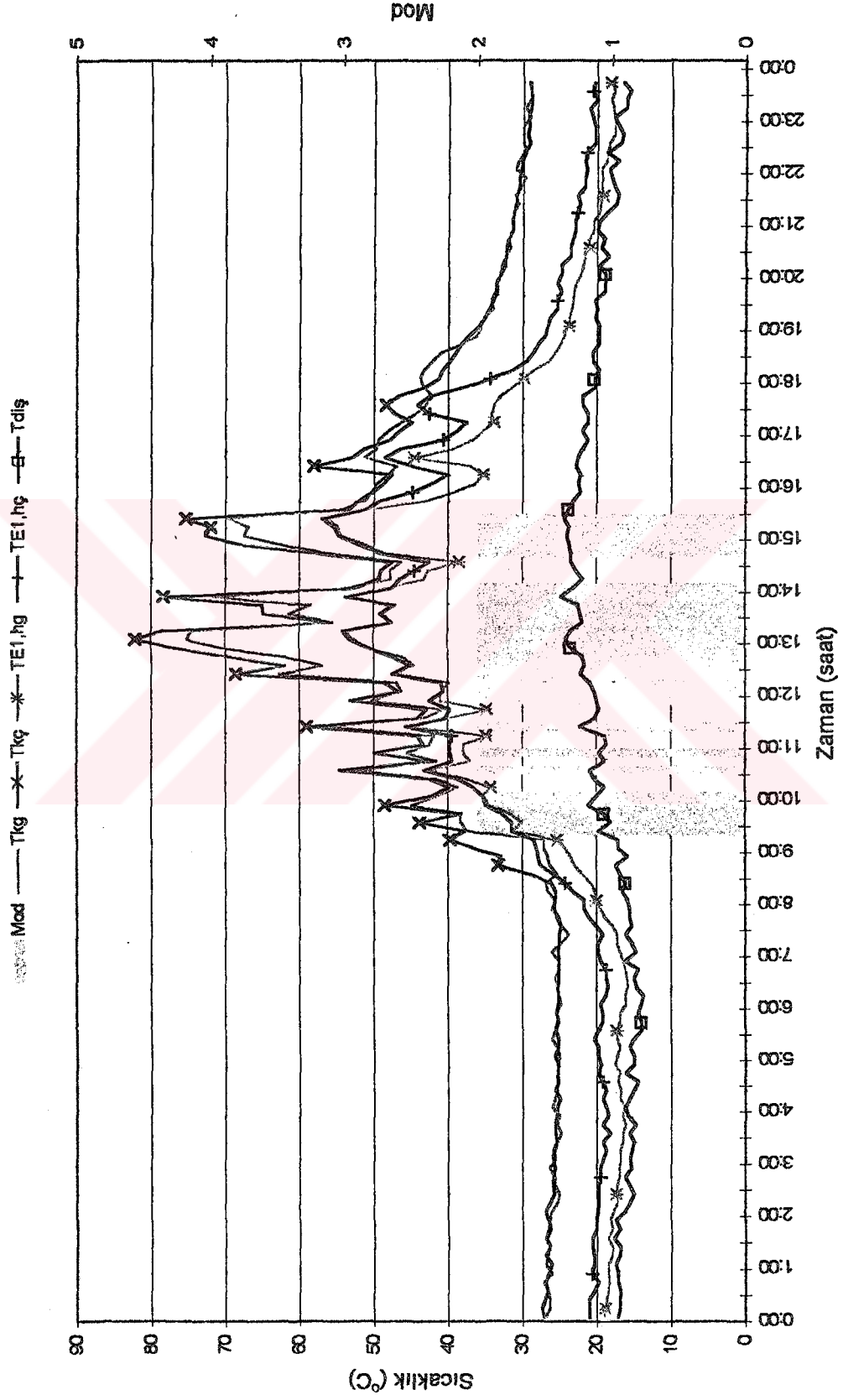
Şekil.10.21. Suya ısı depolama deneyinde kollektörlere gelen ve çekilen enerjiler (29.9.1996 kısmi güneşli gün)



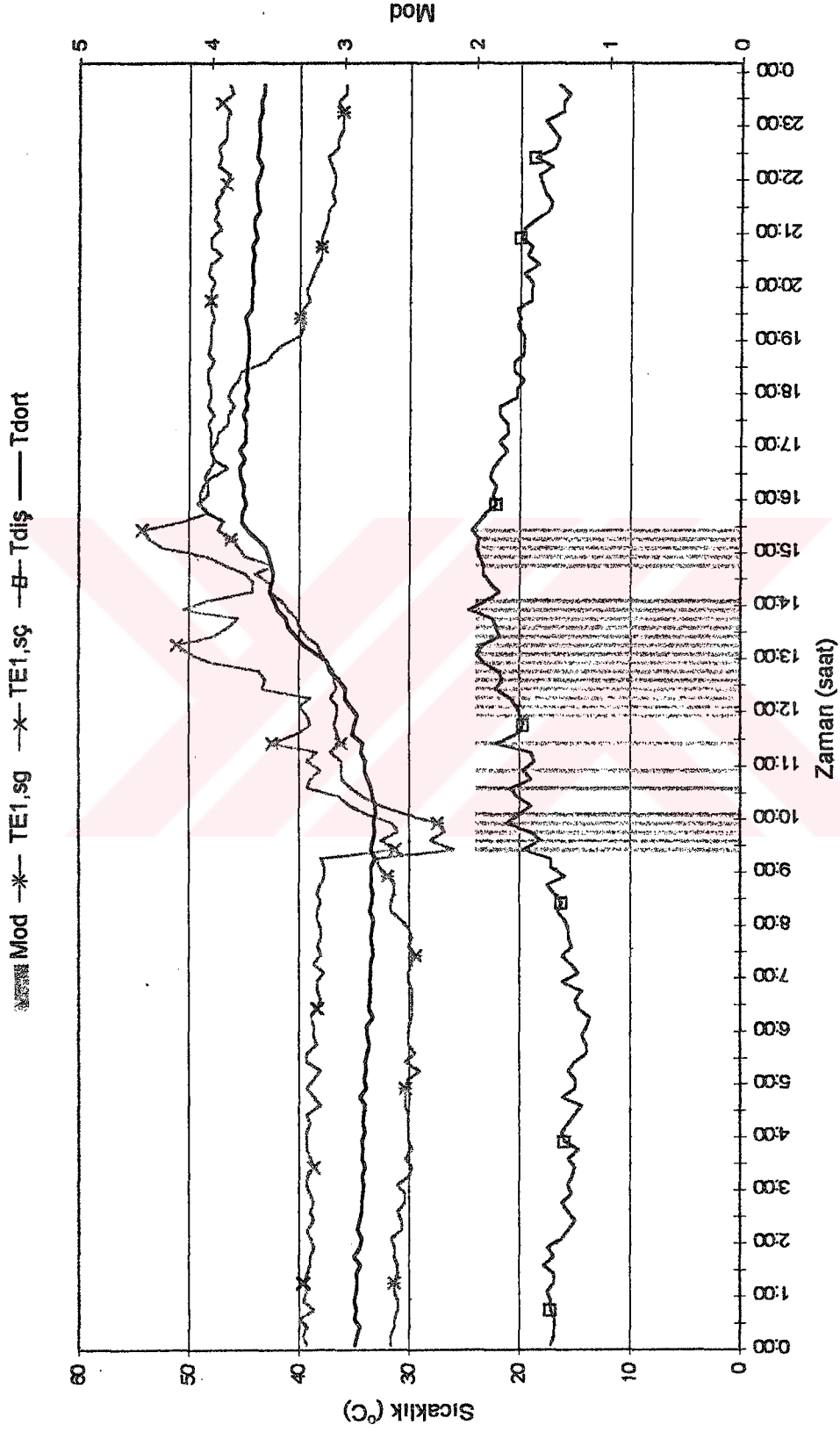
Şekil.10.22. Suya enerji depolama deneyinde sisteme gelen, çekilen ve suya aktarılan enerjiler (29.9.1996 kısmi güneşli gün)



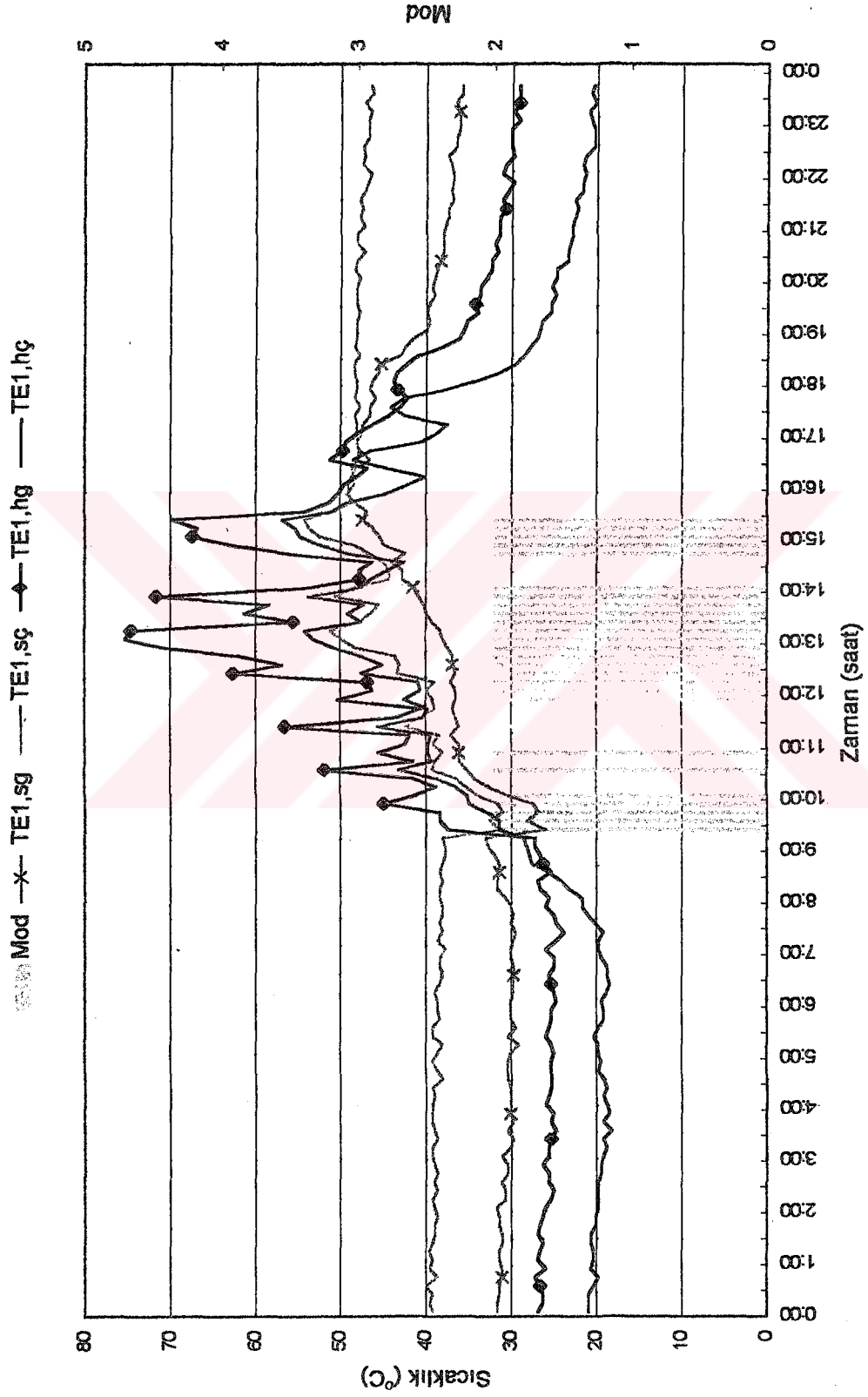
Şekil.10.23. Suya ısı depolama deneyi mod çalışma fonksiyonu ve referans sıcaklıkları (29.9.1996 kısmi güneşli gün)



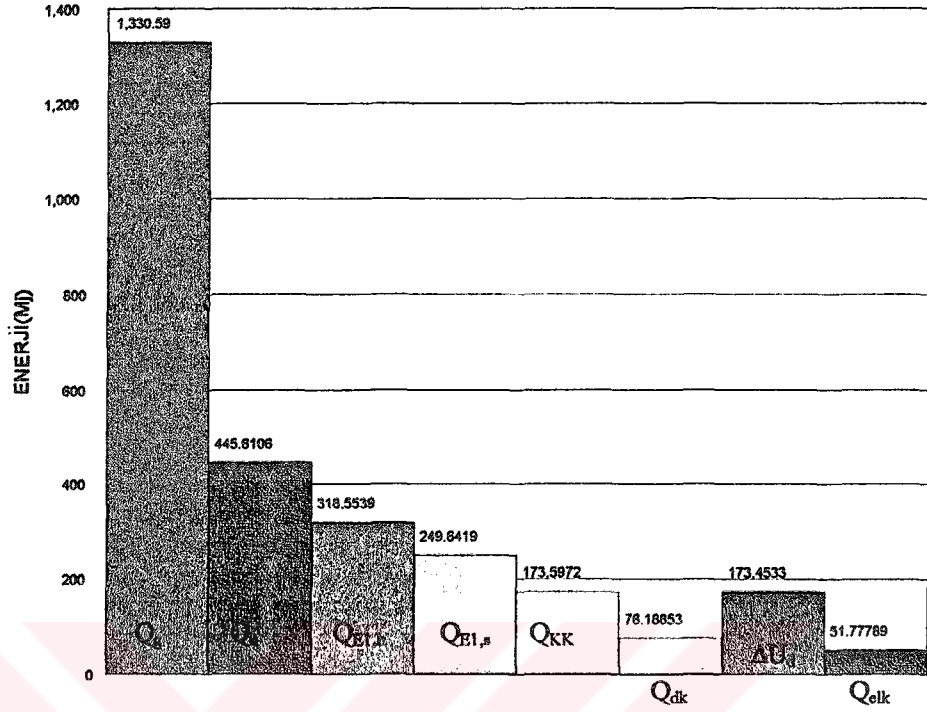
Şekil. 10.24. Suya ısı depolama deneyi sistemdeki hava sıcaklıkları (29.9.1996 kısmi güneşli gün)



Şekil.10.25. Suya ısı depolama deneyi sistemdeki su sıcaklıkları (29.9.1996 kısmi güneşli gün)



Şekil.10.26. Suya ısı depolama deneyi eşanjör akışkanları giriş-çıkış sıcaklıkları (29.9.1996 kısmi güneşli gün)



Şekil.10.27. Suya ısı depolama deneyi enerji dengesi
(29.9.1996 Bulutlu gün)

10.4. Güneş evi sisteminin aylık performans deney sonuçları;

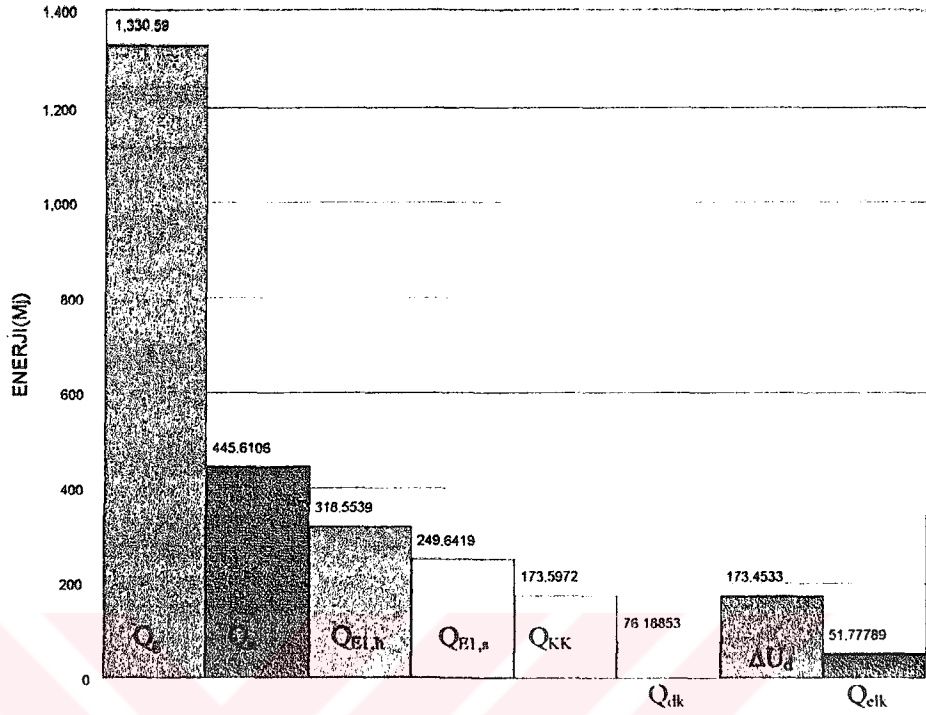
Sistemin günlük performansların incelenmesinden sonra güneş evi sisteminin 96 yılı kasım ayı 19 gün ve aralık ayı 20 için günlük veriler değerlendirilmiştir. Sistemin uzun dönemlik çalışması gözlenerek binanın ısınmaya ihtiyacı olduğu günler için otomatik kontrol sisteminin davranışı hakkında fikir sahibi olmaya çalışılmıştır.

1996 Kasım ayı performansı:

1996 kasım ayı dış ortam sıcaklık ortalaması 18°C küçük olması binanın ısınmaya ihtiyaç duyduğu yani sistemde kış modlarının aktif olduğu anlamını taşımaktadır. Şekil.10.28'de binanın kasım ayı ısı ihtiyacının güneş enerjisinden karşılanma oranı verilmiştir. Bu aya ait sistemin enerji bilançosu şekil.10.29'de verilmiştir. Şekil.10.30'da kasım ayında kollektör düzlemlerine gelen anlık güneş ışınımları görülmektedir. Buradan da görüleceği gibi Kayseri için kasım ayı yatay düzleme gelen günlük güneş ışınımı aylık ortalaması meteorolojik verilerden 7.2

Tablo.10.4. Suya ısı depolama deneyi deney verileri ve ısı dengesi
(29.9.1996 bulutlu gün, rüzgar hızı 5 m/sn'den küçük)

Deney Tarihi: 29.9.1996					
Deney Adı : Suya ısı depolama					
Den.Başlama	Den.Bitiş	M _{ev} (Ev hacmi)	M _{depo} (Depo hacmi)	A _{k,c} (Çatı koll. Alanı)	A _{k,d} (Duvar koll. Alanı)
0:00	0:00	432 m ³	5 m ³	95.78 m ²	32.48 m ²
Hava ve su debileri:					
m _k (koll. hava debisi)	m _{ev} (Ev hava debisi)	m _{s1} (E1 su debisi)	m _{s2} (E2 su debisi)		m _{s3} (E3 su debisi)
1.73 m ³ /sn	0.7 m ³ /sn	2.224 m ³ /saat	1 m ³ /saat		1 m ³ /saat
Sonuçlar:					
Q _G (Güneşten gelen Enerji kj)		1 330 590 kj/gün			
Q _u (Kollektörden hava ile çekilen enerji kj)		445610.6 kj/gün			
Q _{E1,h} (E1 eşanjöründe havanın verdiği enerji kj)		318553.9 kj/gün			
Q _{E1,s} (E1 eşanjöründe suyun aldığı enerji kj)		249641.9 kj/gün			
ΔU _d (Deponun enerjisindeki değişme kj)		173453.3 kj/gün			
Q _{KK} (Kollektör kanal ve eşanjörde kaybolan enerji kj)		173597.2 kj/gün			
L _y (Depodan çekilen sıcak su yükü kj)		-			
L _s (Evin ısı kaybı veya ısı ihtiyacı kj)		-			
ΔU _{ev} (Evin iç enerjisindeki değişme kj)		-			
Q _{E2,h} (E2 eşanjöründe havanın verdiği enerji kj)		-			
Q _{E2,s} (E2 eşanjöründe suyun aldığı enerji kj)		-			
Q _{E3,h} (E3 eşanjöründe havanın verdiği enerji kj)		-			
Q _{E3,s} (E3 eşanjöründe suyun aldığı enerji kj)		-			
Q _{DK} (Depodan çevreye olan enerji kaybı kj)		76188.53 kj/gün			
Q _{ELK} (Bu deney esnasında harcanan elektrik enerjisi)		51777.89 kj/gün			
η _{kol} (Kollektör verimi)		% 33.4			
η _{E1} (E1 eşanjörü verimi)		% 78.3			
η _{sis} (Sistem verimi)		% 33.4 (Kanal kayıpları evin ısıtılmasında faydalı enerji olarak kullanılmaktadır)			



Şekil.10.27. Suya ısı depolama deneyi enerji dengesi
(29.9.1996 Bulutlu gün)

10.4. Güneş evi sisteminin aylık performans deney sonuçları;

Sistemin günlük performansların incelenmesinden sonra güneş evi sisteminin 96 yılı kasım ayı 19 gün ve aralık ayı 20 için günlük veriler değerlendirilmiştir. Sistemin uzun dönemlik çalışması gözlenerek binanın ısınmaya ihtiyacı olduğu günler için otomatik kontrol sisteminin davranışı hakkında fikir sahibi olmaya çalışılmıştır.

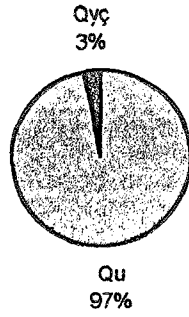
1996 Kasım ayı performansı:

1996 kasım ayı dış ortam sıcaklık ortalaması 18°C küçük olması binanın ısınmaya ihtiyaç duyduğu yani sistemde kış modlarının aktif olduğu anlamını taşımaktadır. Şekil.10.28'de binanın kasım ayı ısı ihtiyacının güneş enerjisinden karşılanma oranı verilmiştir. Bu aya ait sistemin enerji bilançosu şekil.10.29'de verilmiştir. Şekil.10.30'da kasım ayında kollektör düzlemlerine gelen anlık güneş ışınlamaları görülmektedir. Buradan da görüleceği gibi Kayseri için kasım ayı yatay düzleme gelen günlük güneş ışınlamı aylık ortalaması meteorolojik verilerden 7.2

Mj/m^2 gün olduğu düşünülürse Kayseri için bu değerler mevsim normallerinin üzerinde bir güneş ışıını anlamına gelmektedir. 1996 kasım aya ait kollektör düzlemlerine gelen aylık güneş ışıınının günlük ortalamaları; 42° 'lik çatı kollektörleri için $16776.6 (kj/m^2 \text{ gün})$, 90° 'lik duvar kollektörleri için $13273.3 (kj/m^2 \text{ gün})$ ve yatay düzleme için ise $9497 (kj/m^2 \text{ gün})$ olmaktadır. Buradan da görüldüğü gibi aylık ortalama deklinasyon açısının kasım ayı ortalaması -18.37 derece olması güneye dönük dik düzleme gelen günlük toplam güneş ışıınının yatay düzlemden daha fazla olmasını sağlamaktadır.

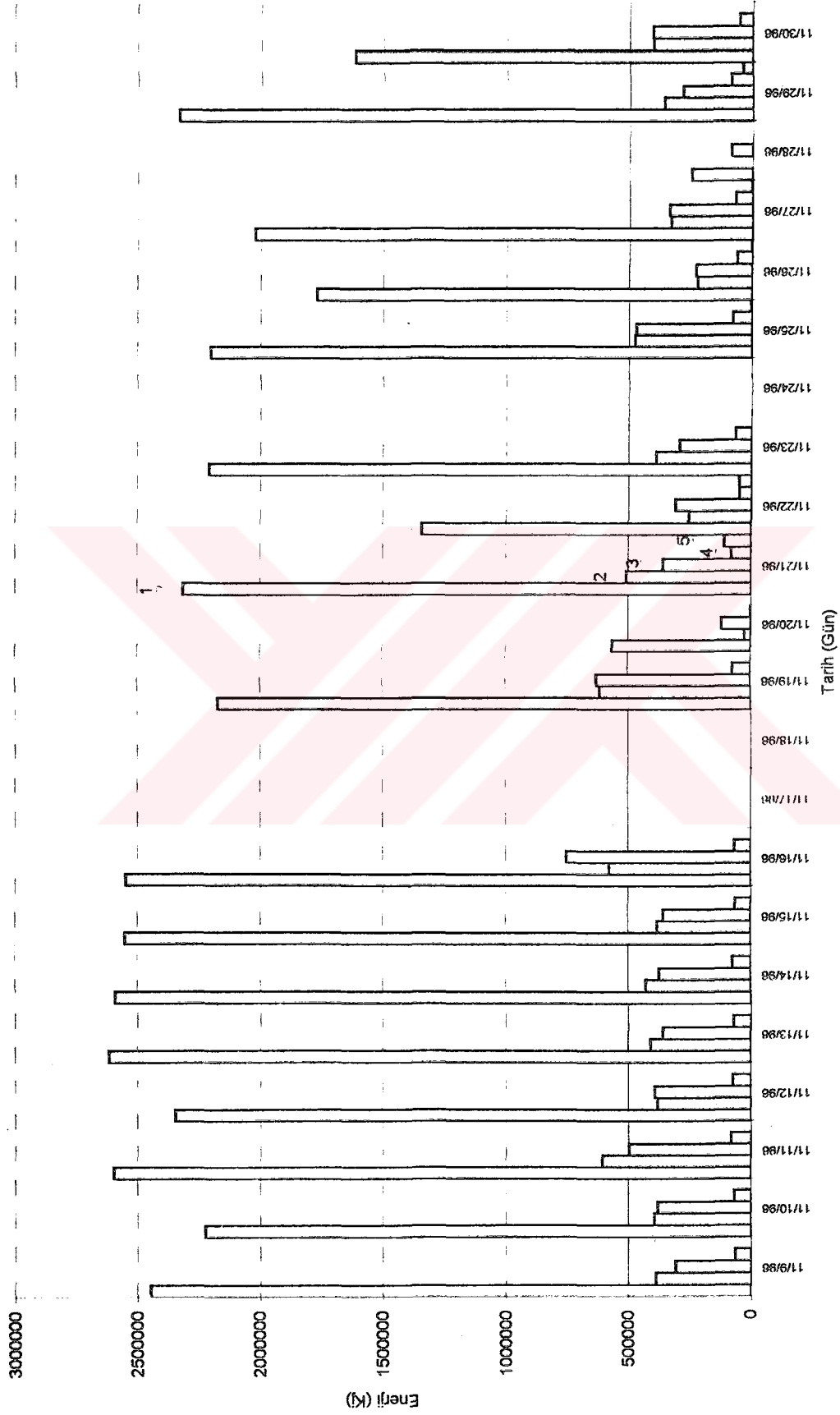
Şekil.10.31'de dik duvar kollektörlerine gelen güneş enerjisi ve bu kollektörlerden havayla çekilen enerjilerin aylık değişimi görülmektedir. Burada kasım ayına ait 19 günlük periyotta çatı kollektörlerine gelen toplam güneş ışıını 30530409 kj , çekilen 8097030 kj olurken dik duvar kollektörlerine gelen güneş ışıını 8191224 kj , çekilen ise -910166 kj olmaktadır. Bu ise dik duvar kollektörlerinin sistemin verimini olumsuz yönde etkilediğini görülmektedir. Bunun nedeni deney yapıldığı bir aylık zaman periyodunda sistem çoğunlukla ısı depolama modunda çalışmasından dolayı duvar kollektörleri giriş sıcaklıklarının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. 1996 kasım ayında evin ısı ihtiyacı şekil.10.32 grafiğinde de görüldüğü gibi çoğunlukla kanal ve depo kayıplarıyla karşılanmıştır bu ise sistemin ısı depolama dışındaki modlarda fazla çalışmaması demektir. Şekil.10.33'de çatı kollektörlerine aylık gelen ve çekilen enerjilerin değişimi verilmiştir. Ayrıca şekil.10.34'de kollektör havası giriş çıkış sıcaklıklarının aylık değişimi görülmektedir. Şekil.10.35'de görüleceği gibi dış ortam sıcaklığının aylık ortalaması 9.21°C , depo sıcaklığının aylık ortalaması 46.65°C ve ev sıcaklığının aylık ortalaması ise 20.8°C olmuştur. Şekil.10.36'da kollektörden çekilen faydalı enerji için sistemde harcanan elektrik enerjisinin aylık değişimi verilmektedir.

1996 kasım ayında kollektör düzlemlerine gelen toplam güneş enerjisi 2037980 kj/gün , kollektörlerden çekilen toplam enerji 378256 kj/gün , eve verilen toplam enerji 366226 kj/gün olup eve verilen enerjinin 11319 kj/gün lük kısmı yardımcı enerji kaynağından karşılanmıştır. Bu çevrim için harcana elektrik enerjisi ise 63389 kj/gün olup kollektörlerden çekilen enerjinin %16'sı ise elektrik enerjisi

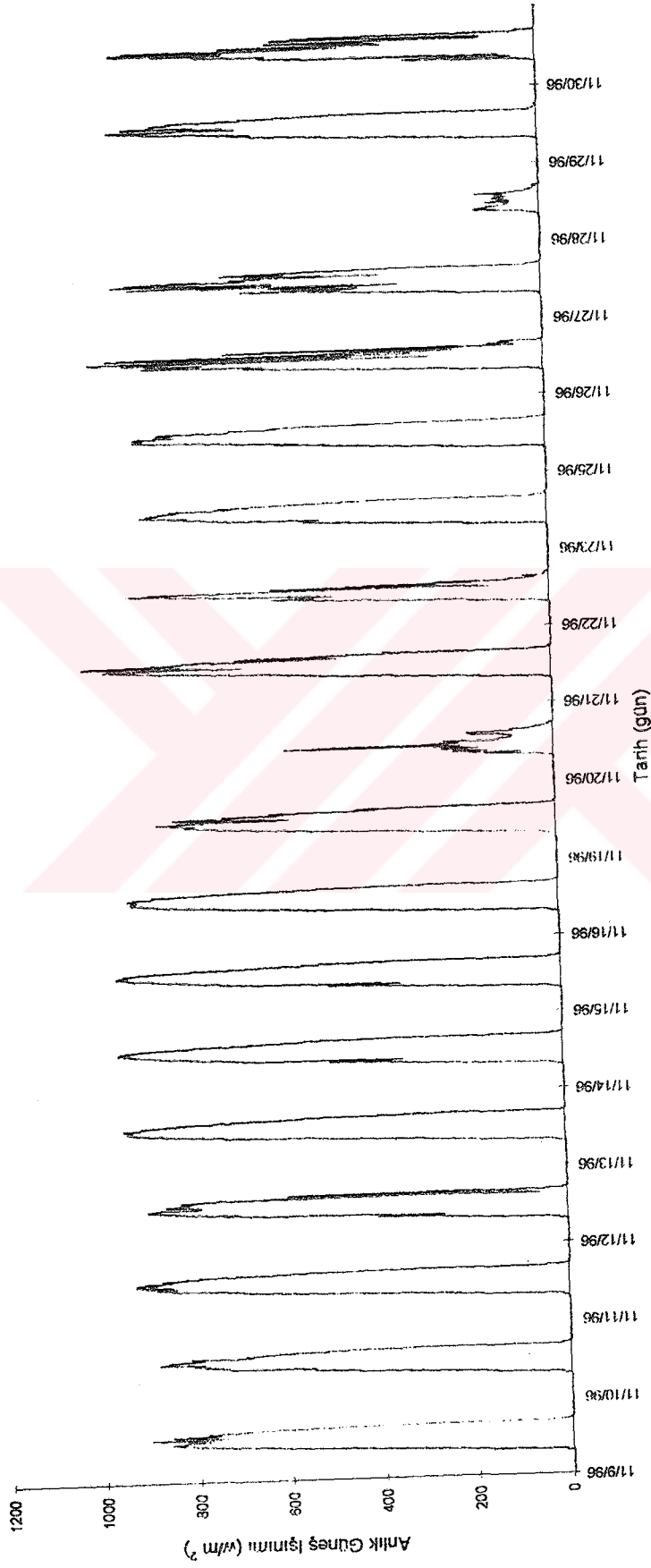


Şekil.10.28. Kasım ayında bina ısı ihtiyacının güneşten karşılanma oranı (Güneş ve yardımcı)

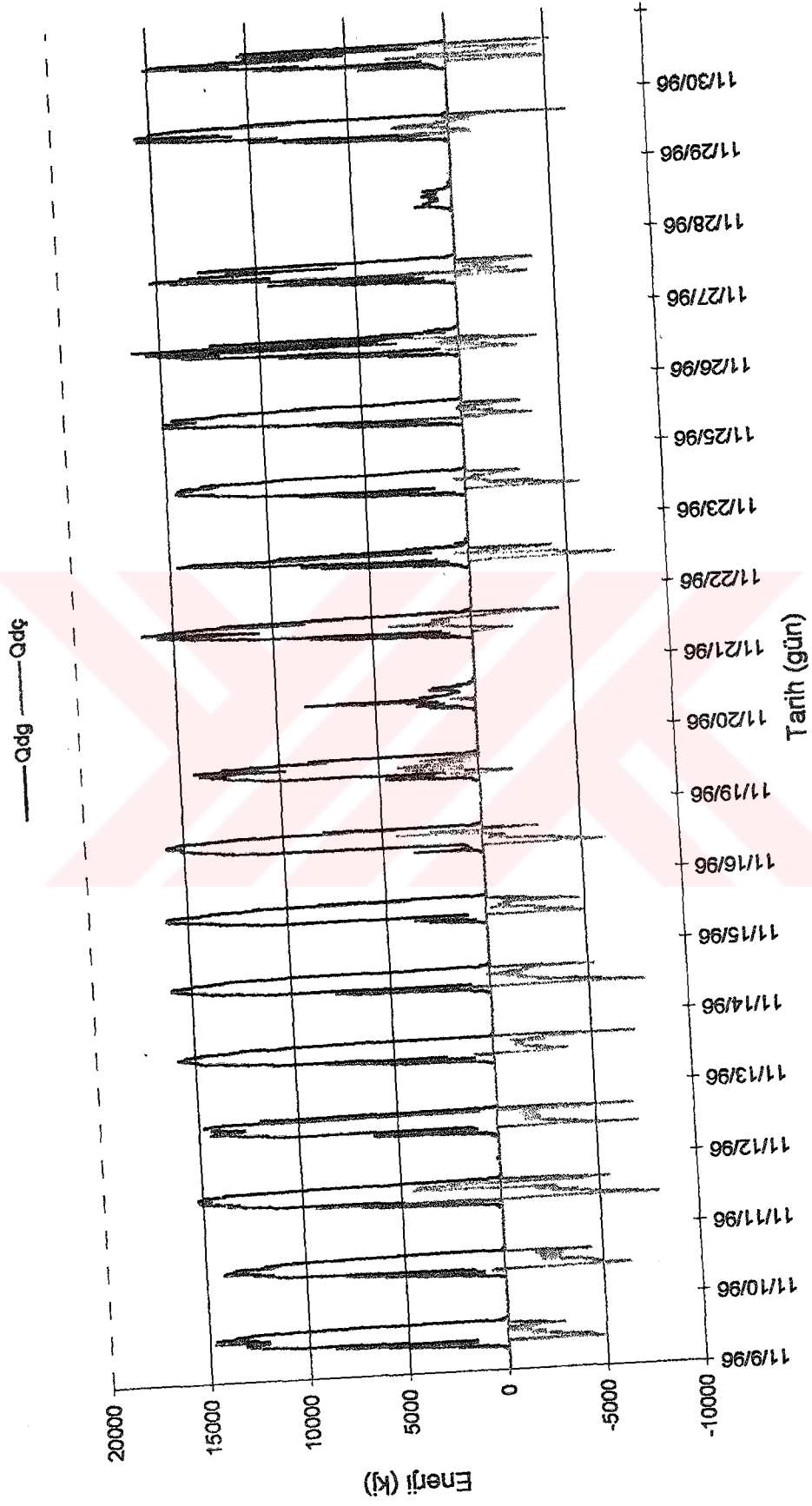
olarak sistemde harcanmıştır. Duvar kolektörünün ve ısı depolama modunun sistem üzerindeki olumsuzlukları sebebiyle sistem veriminin aylık ortalaması %18.5 olduğu yapılan deneyler sonucunda gözlenmektedir.



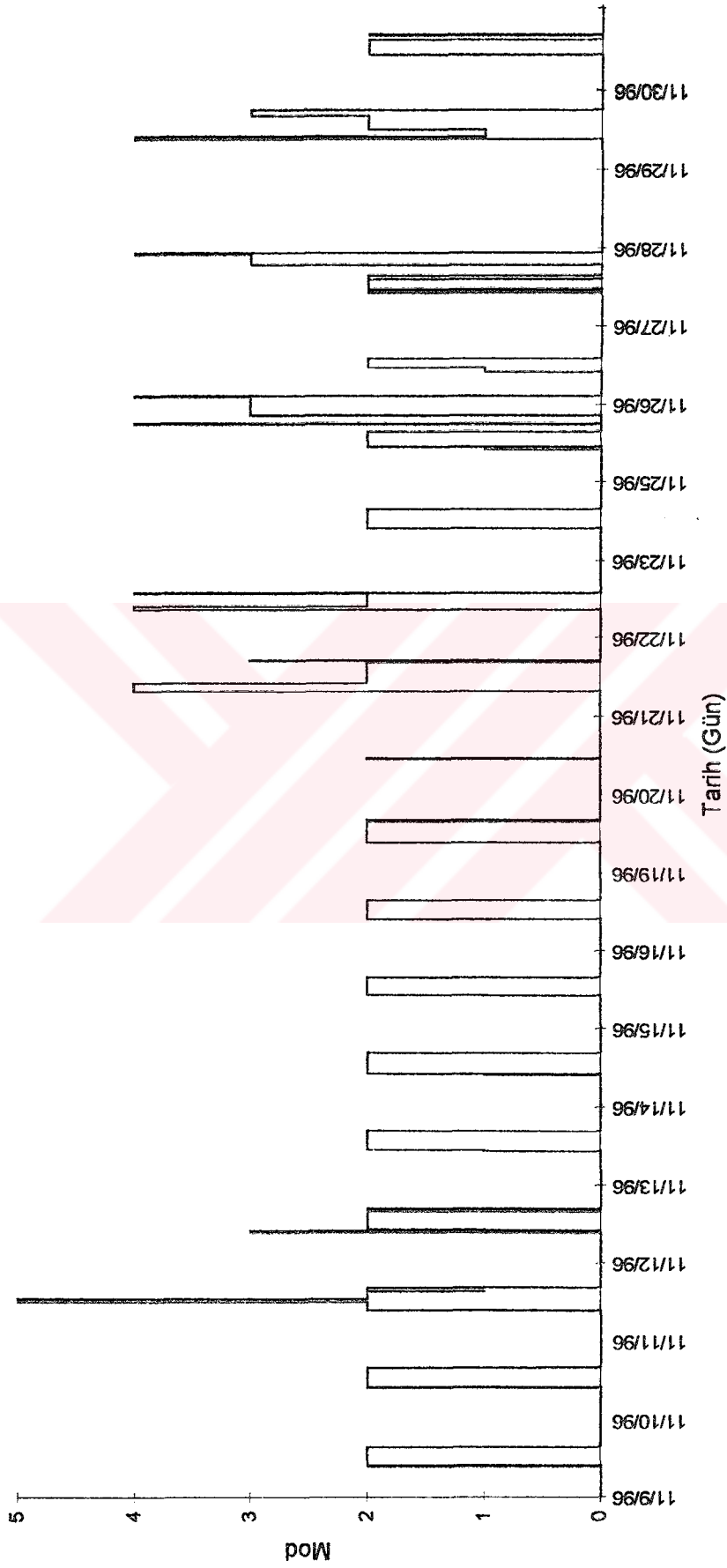
Şekil.10.29 Güneş evi sisteminin aylık enerji bilançosu (kasım 1996)
(1-Q_q, 2-Q_u, 3-Q_{ev}, 4-Q_{elk}, 5-Q_{yc})



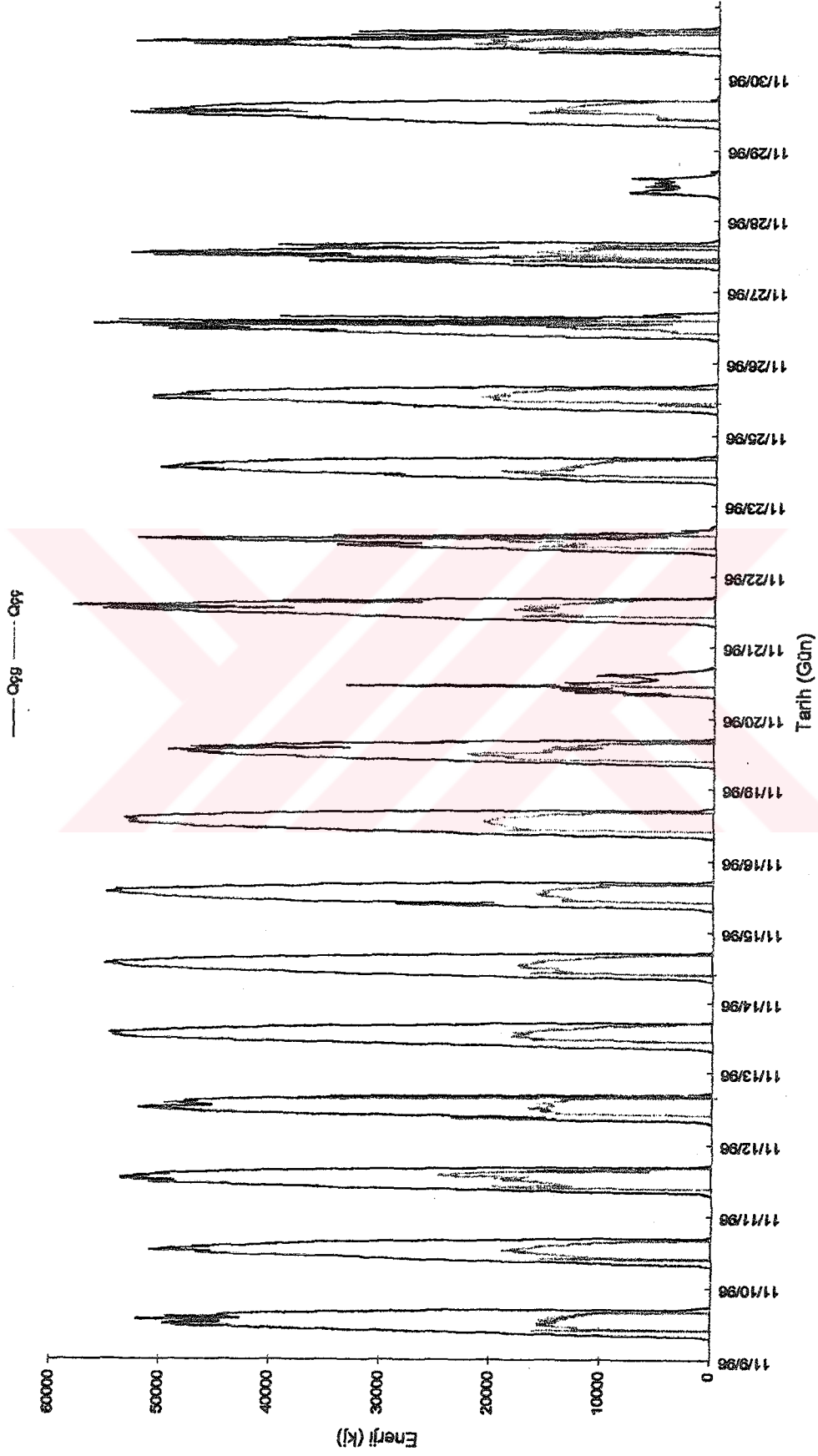
Şekil. 10.30. Eğik kollektör düzlemine gelen anlık güneş ışınımının aylık değişimi (kasım 1996)



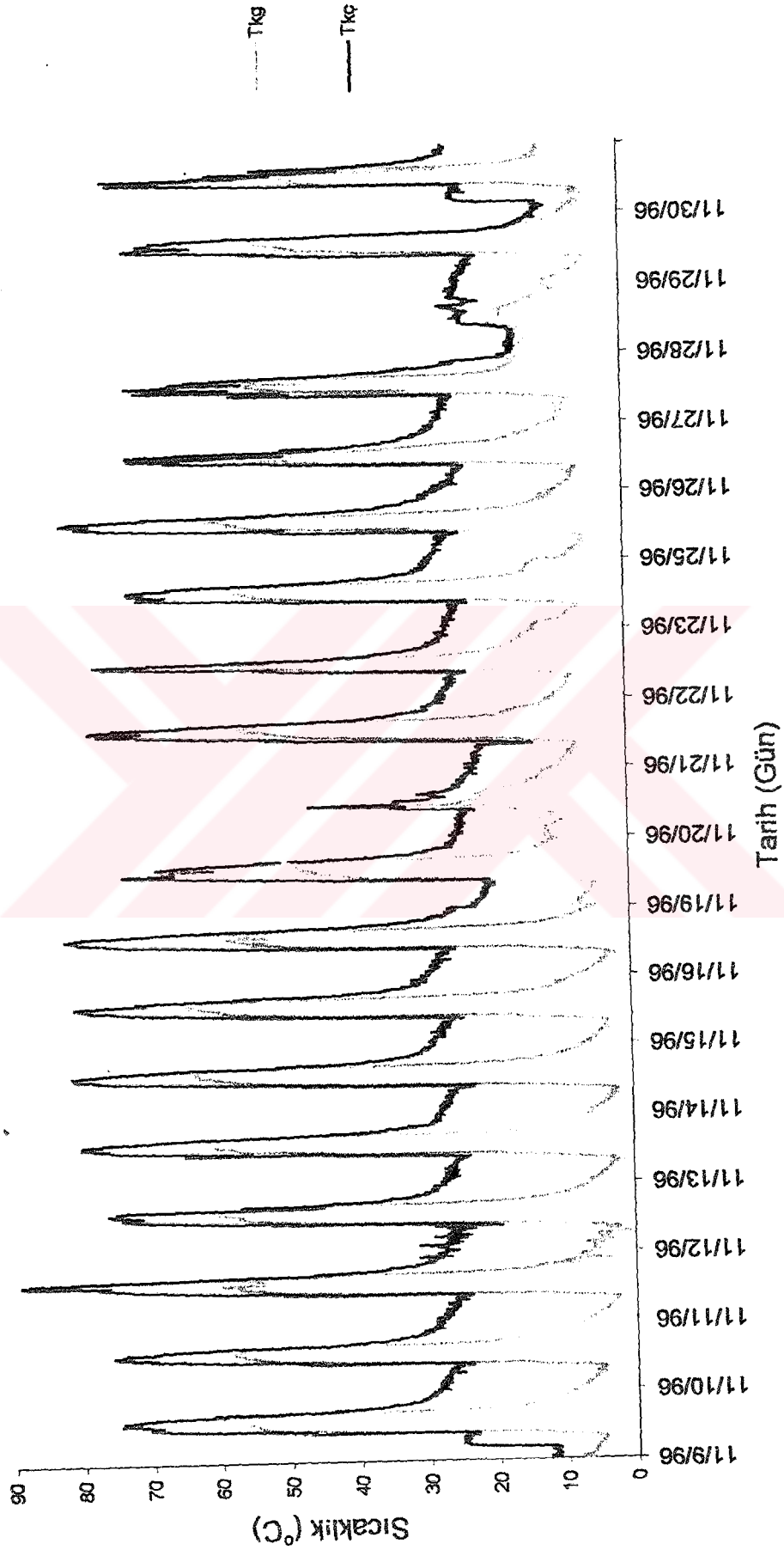
Şekil.10.31 Duvar kolektörlerine kasım ayında gelen ve çekilen enerjiler



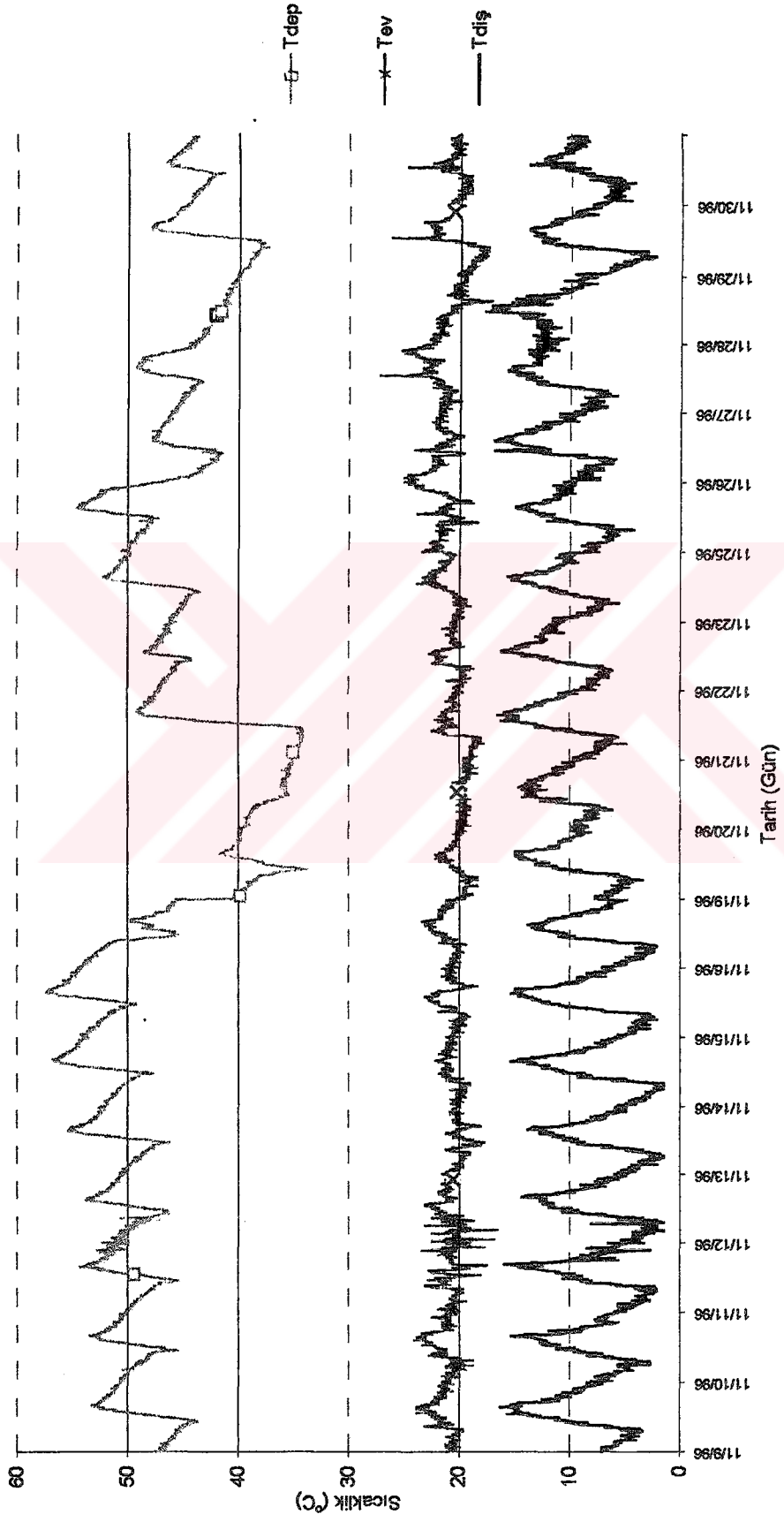
Şekil. 10.32 Sistemin aylık mod çalışma fonksiyonu (kasım 1996)



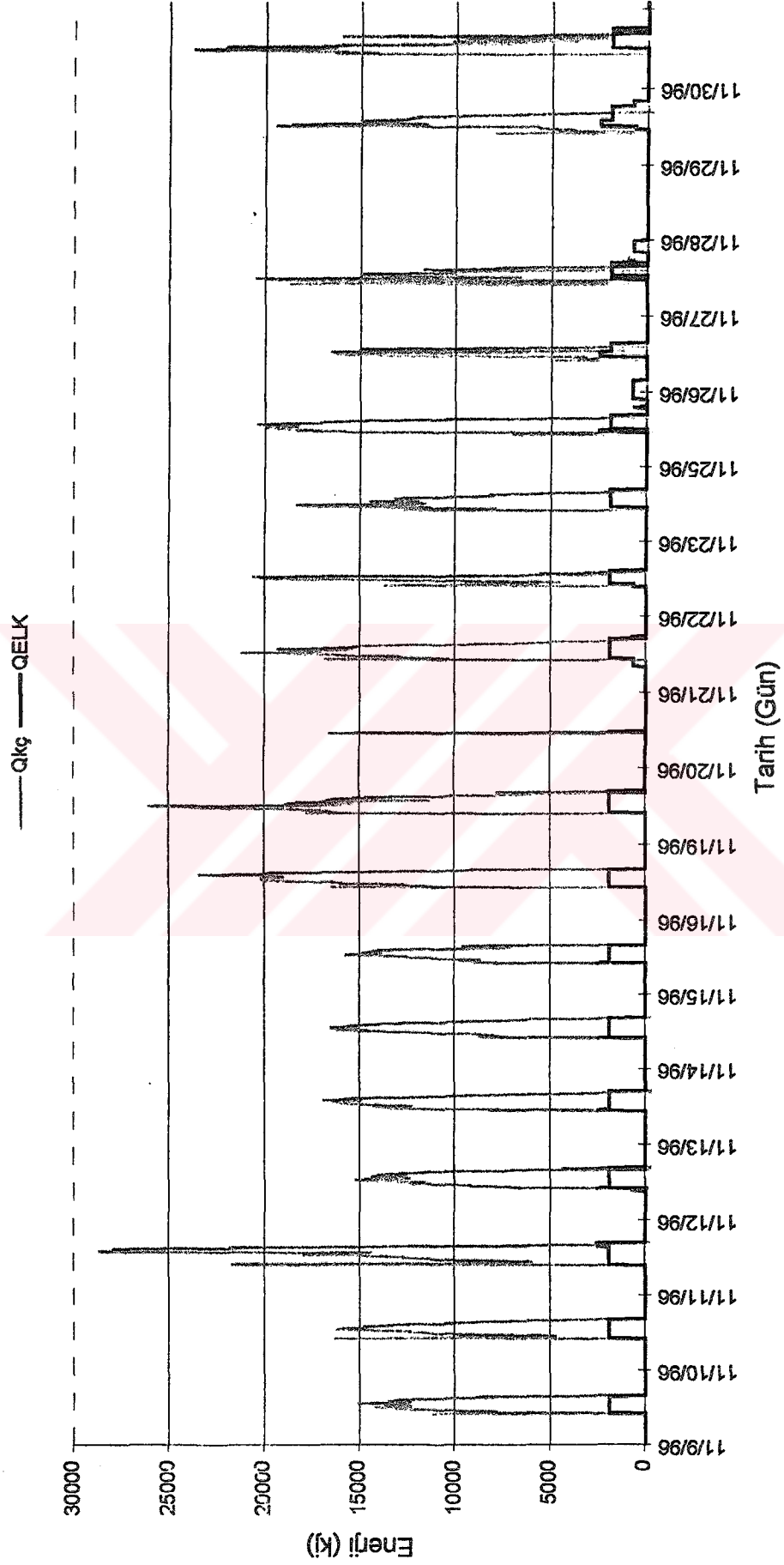
Şekil. 10.33 Çatı kolektörlerine gelen ve çekilen enerjilerin aylık değişimi (kasım 1996)



Şekil.10.34 Kollektör giriş çıkış sıcaklıklarının aylık değişimi (kasım 1996)



Şekil.10.35. Dış, iç ortam ve depo sıcaklığının aylık değişimi (kasım 1996)

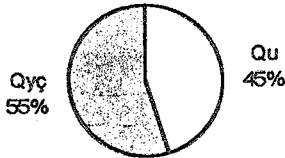


Şekil.10.36. Kollektörlerden çekilen enerji ve sistemde harcanan elektrik enerjisinin aylık değişimi (kasım 1996)

1996 Aralık ayı performansı:

1996 Aralık ayı dış ortam sıcaklık ortalaması 6.4°C olup binanın ısınmaya ihtiyaç duyduğu periyottur. Şekil.10.37'de 1996 aralık ayında bina ısı ihtiyacının %45'i güneş enerjisinden, %55'i ise yardımcı ısıtma sisteminden karşılandığı görülmektedir. Bu aya ait sistemin enerji bilançosu şekil.10.38'de verilmiştir. Şekil.10.39'de aralık ayında kolektör düzlemlerine gelen anlık güneş ışınimleri görülmektedir. Buradan da görüleceği gibi Kayseri için bu değerler mevsim normallerinin üzerinde bir güneş ışınımı anlamına gelmektedir. 1996 aralık ayına ait kolektör düzlemlerine gelen aylık güneş ışınımının günlük ortalamaları; 42° 'lik çatı kolektörleri için $8613.3 \text{ (kJ/m}^2 \text{ gün)}$, 90° 'lik duvar kolektörleri için $6097.3 \text{ (kJ/m}^2 \text{ gün)}$ olmaktadır.

Şekil.10.40'da dik duvar kolektörlerine gelen güneş enerjisi ve bu kolektörlerden havayla çekilen enerjilerin aylık değişimi görülmektedir. 1996 aralık ayına ait 20 günlük periyotta çatı kolektörlerine (95 m^2) gelen toplam güneş ışınımı 16365330 kJ , çekilen 2716548 kJ olurken dik duvar kolektörlerine (32 m^2) gelen güneş ışınımı 3902319 kJ , çekilen ise -35661 kJ olmaktadır. Bu ise dik duvar kolektörlerinin sistemin verimini olumsuz yönde etkilediğini görülmektedir. Şekil.10.41'de çatı kolektörlerine aylık gelen ve çekilen enerjilerin değişimi verilmiştir. Ayrıca şekil.10.42'de kolektör havasının giriş çıkış sıcaklıklarının aylık değişimi görülmektedir.



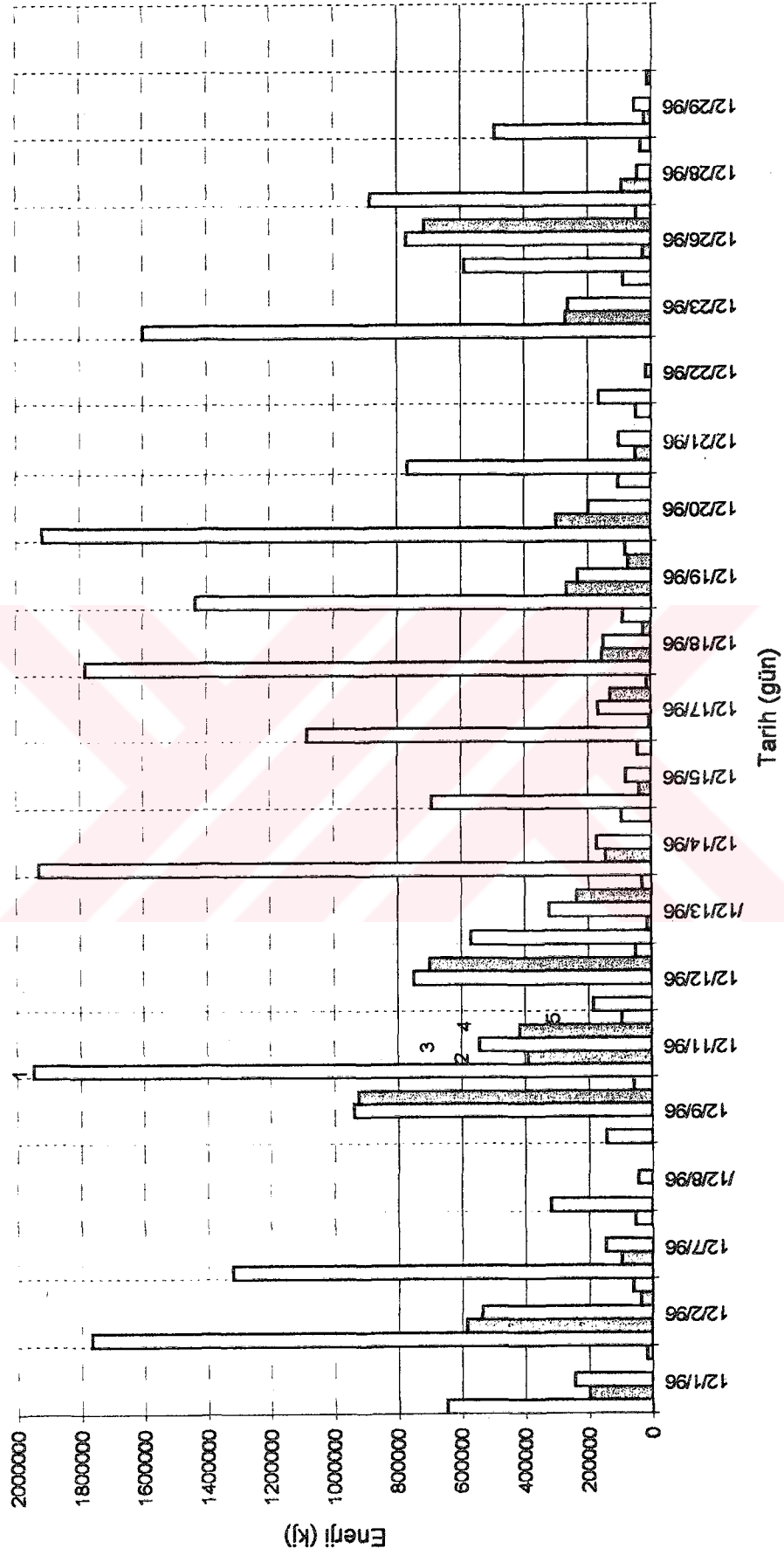
Şekil.10.37. Aralık ayında bina ısı ihtiyacının güneşten karşılanma oranı

Şekil.10.43'dende görüleceği gibi dış ortam sıcaklığının aylık ortalaması 6.4°C , depo sıcaklığının aylık ortalaması 31.2°C ve ev sıcaklığının aylık ortalaması ise 19°C olmuştur. Şekil.10.44'de kolektörden çekilen faydalı enerji için sistemde harcanan elektrik enerjisinin aylık değişimi verilmiştir.

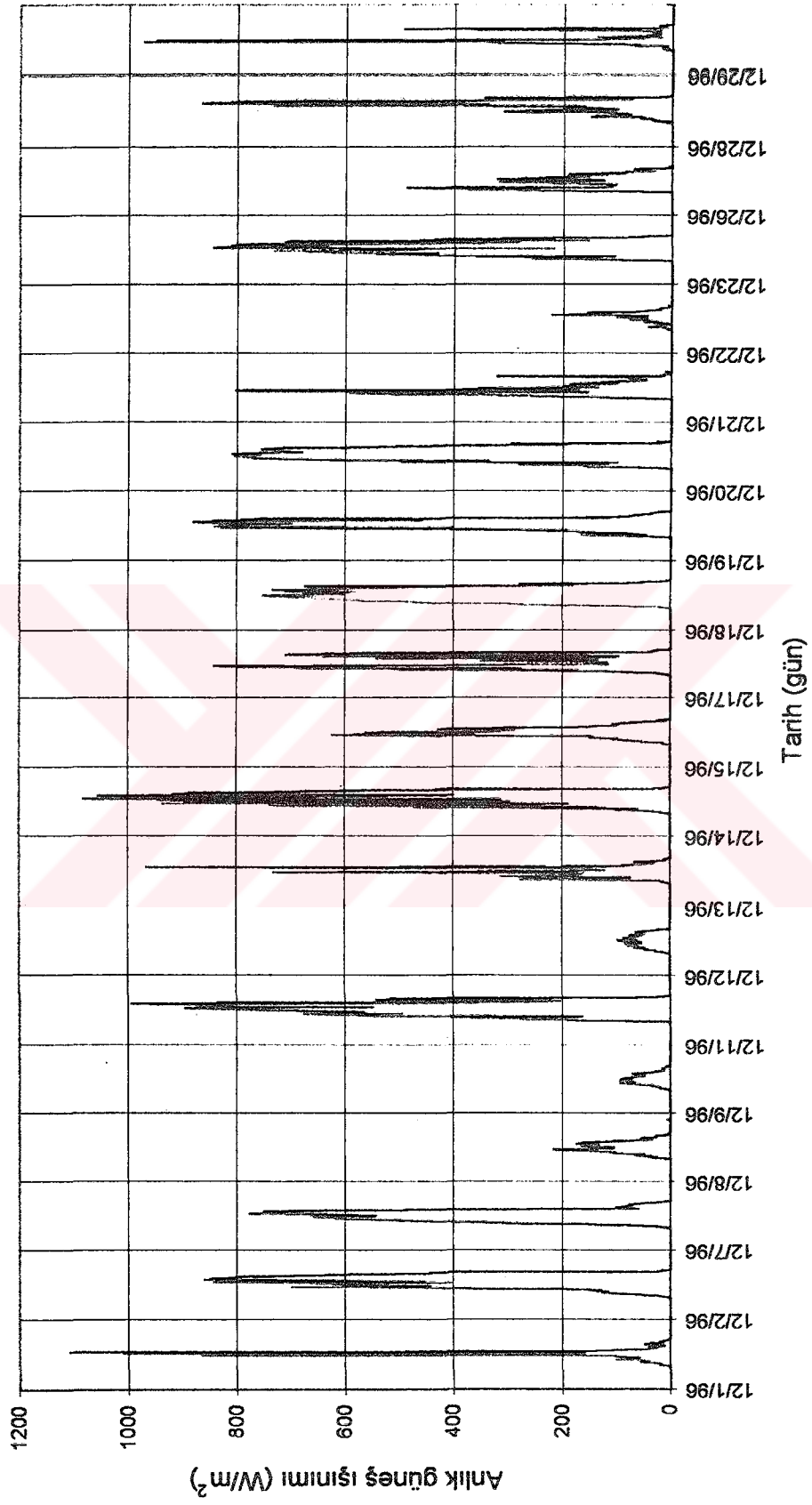
1996 aralık ayında kolektör düzlemlerine

gelen toplam güneş enerjisi 1012282 kJ/gün, kolektörlerden çekilen toplam enerji 134044 kJ/gün, eve verilen toplam enerji 289958.5 kJ/gün olup eve verilen enerjinin 164451.6 kJ/gün'lük kısmı yardımcı enerji kaynağından karşılanmıştır. Bu çevrim için harcana elektrik enerjisi ise 52005 kJ/gün olup kolektörlerden çekilen enerjinin %38'i ise elektrik enerjisi olarak sistemde harcanmıştır. Şekil.10.45 de ise aylık sistemin mod fonksiyonu görülmektedir.

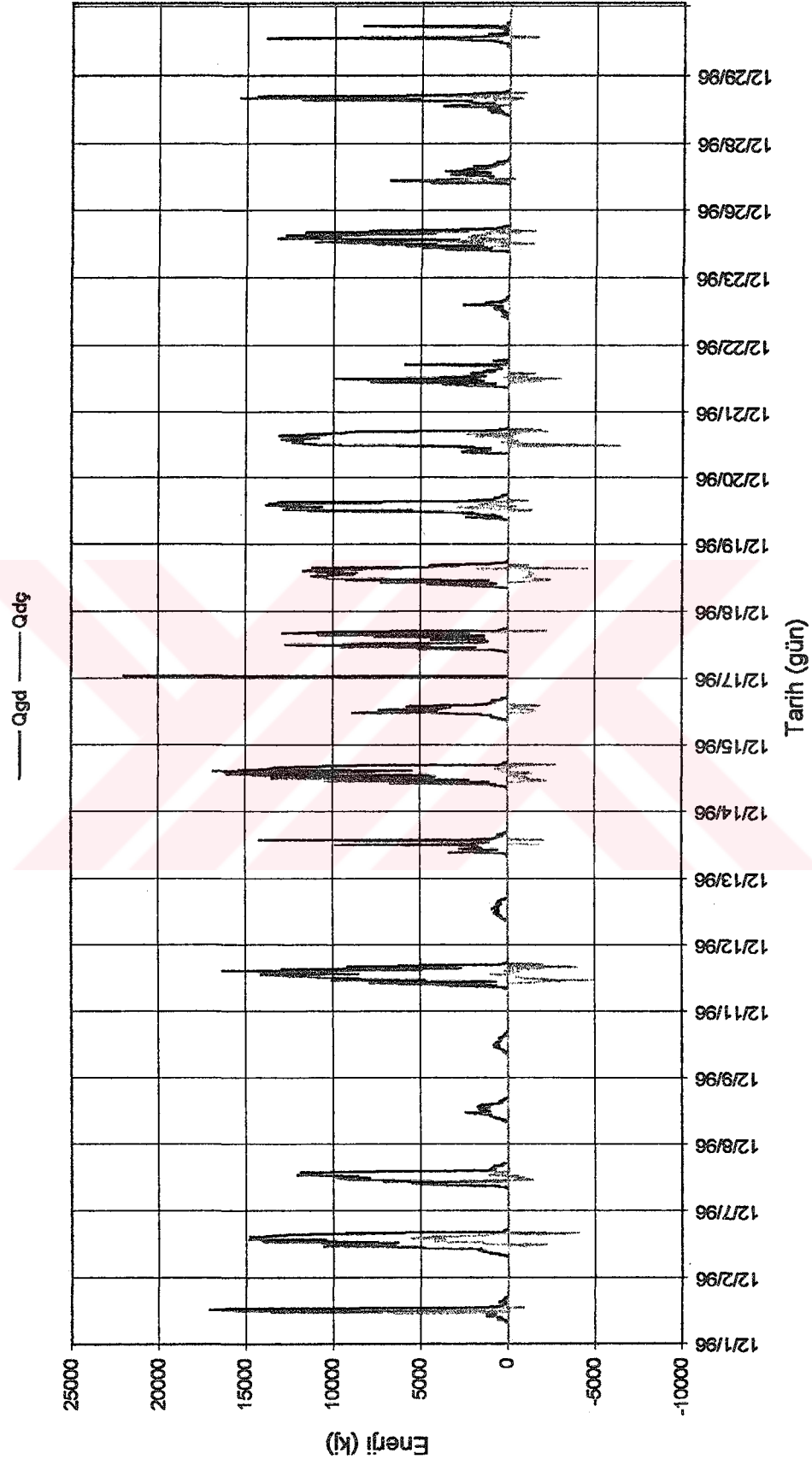




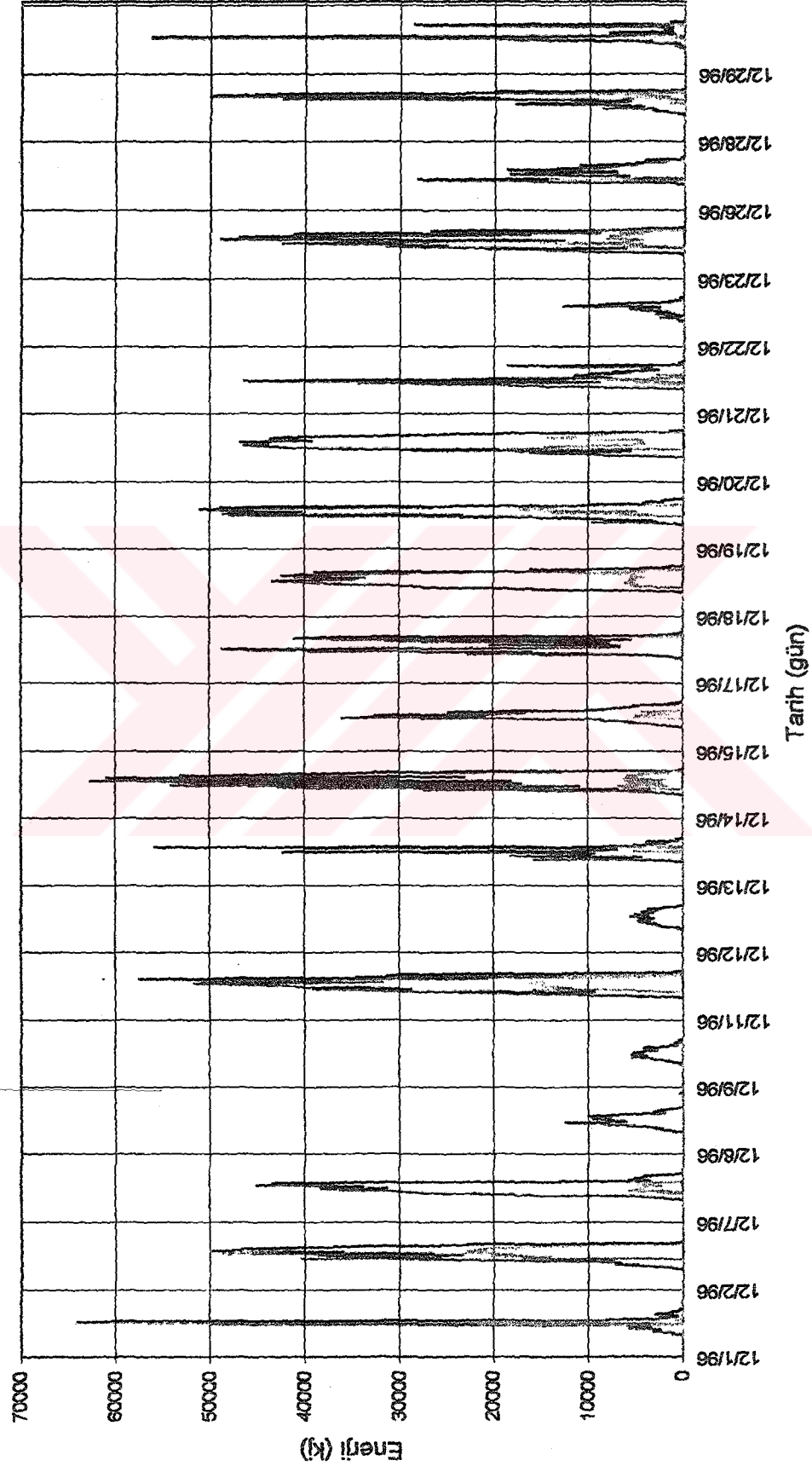
Şekil.10.38 Güneş evi sisteminin aylık enerji bilançosu (aralık 1996)
(Sırasıyla : 1-Q_g, 2-Q_w, 3-Q_{ev}, 4-Q_{elk}, 5-Q_{yc})



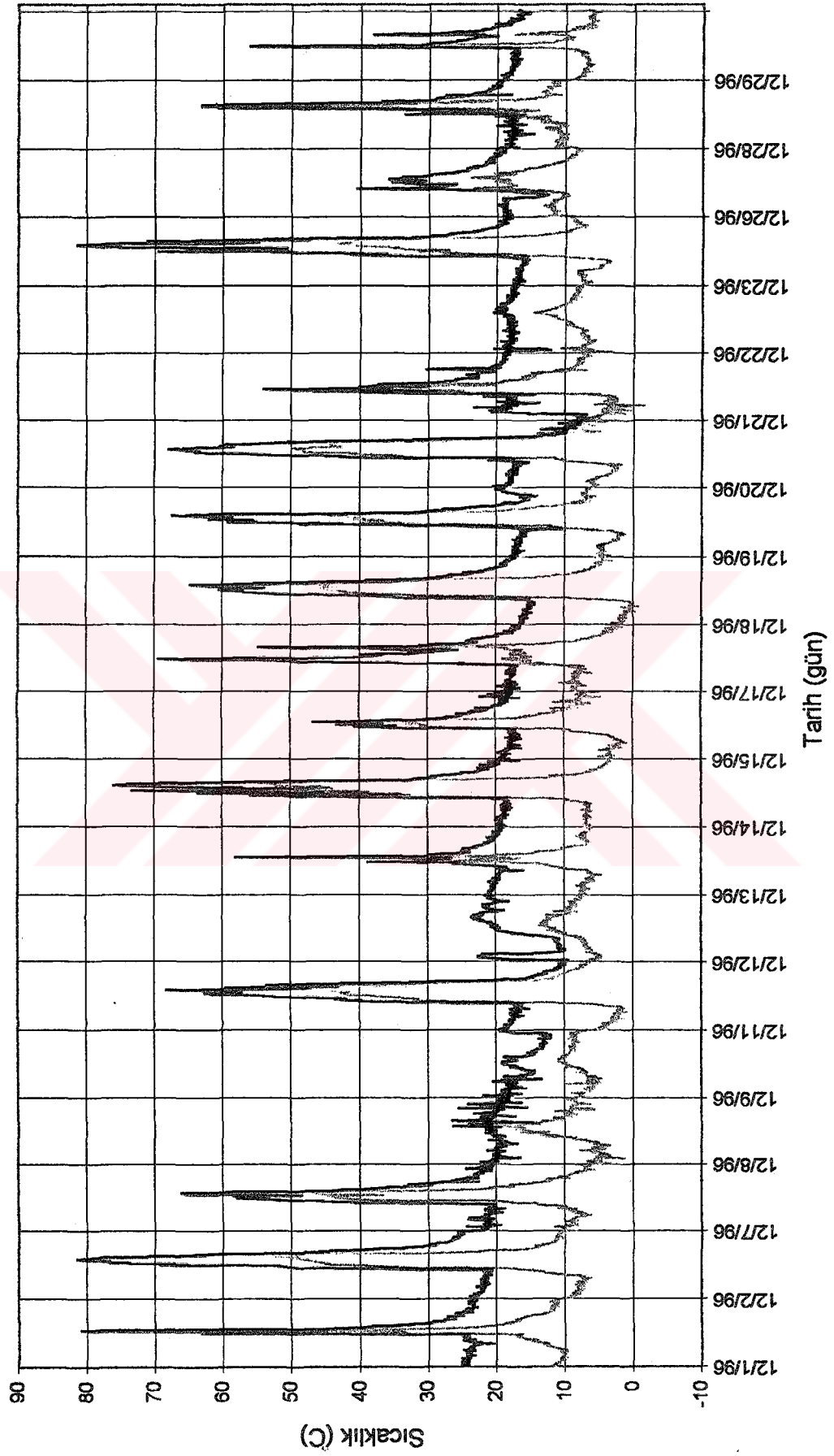
Şekil. 10.39. Eğik kollektör düzlemine gelen anlık güneş ışınlamının aylık değişimi (aralık 1996)



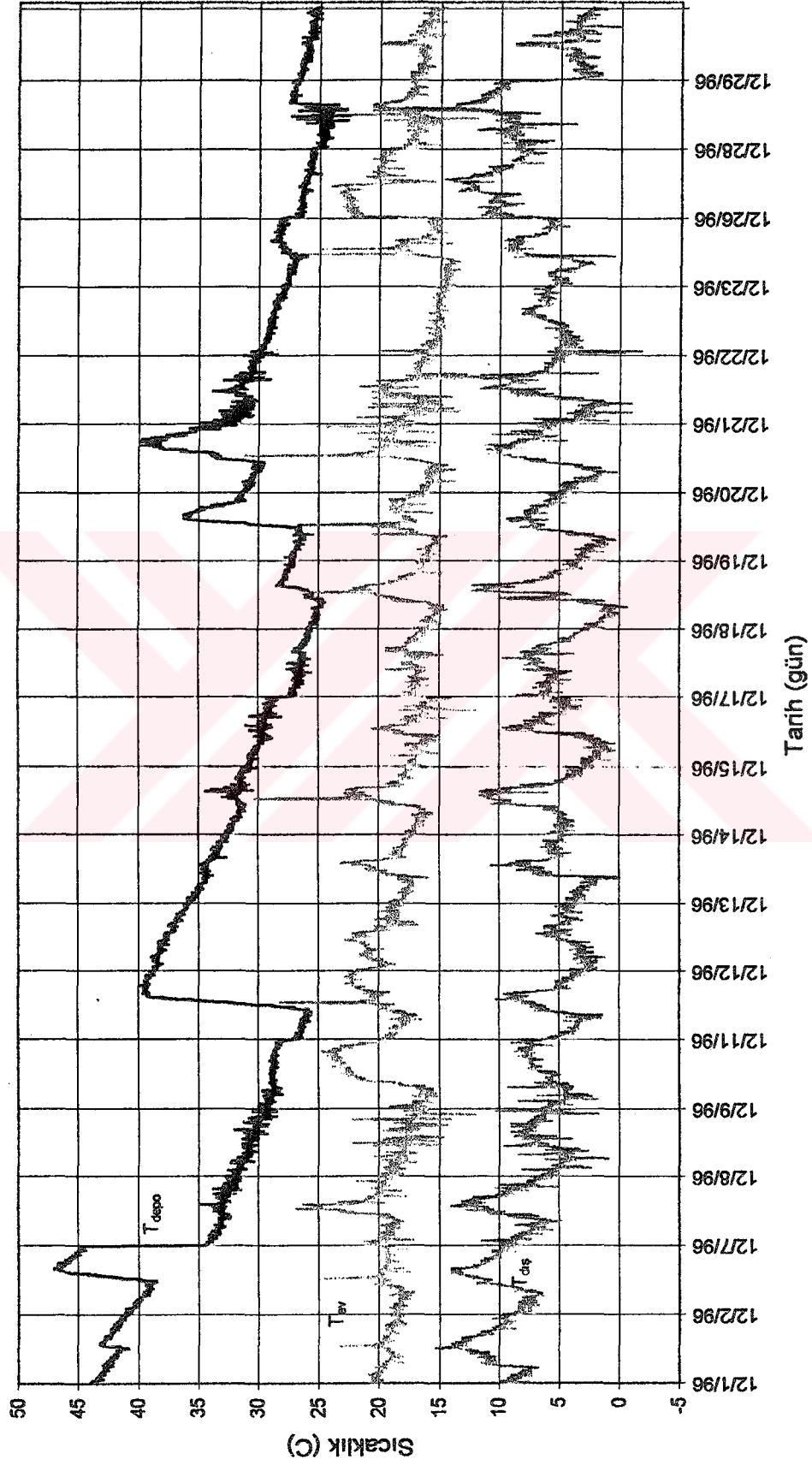
Şekil.10.40 Duvar kolektörlerine aralık ayında gelen ve çekilen enerjiler



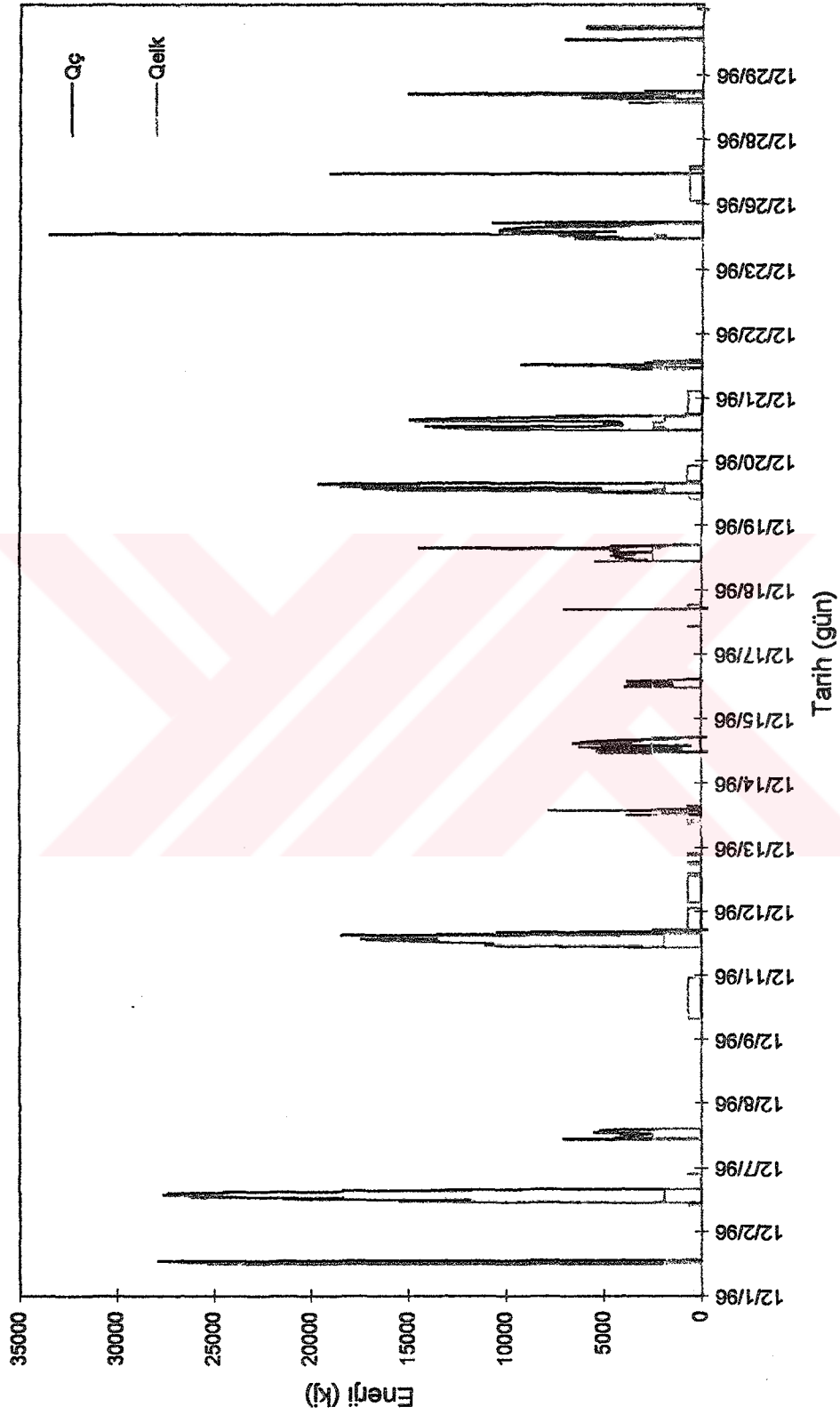
Şekil. 10.41 Çatı kolektörlerine gelen ve çekilen enerjilerin aylık değişimi (aralık 1996)



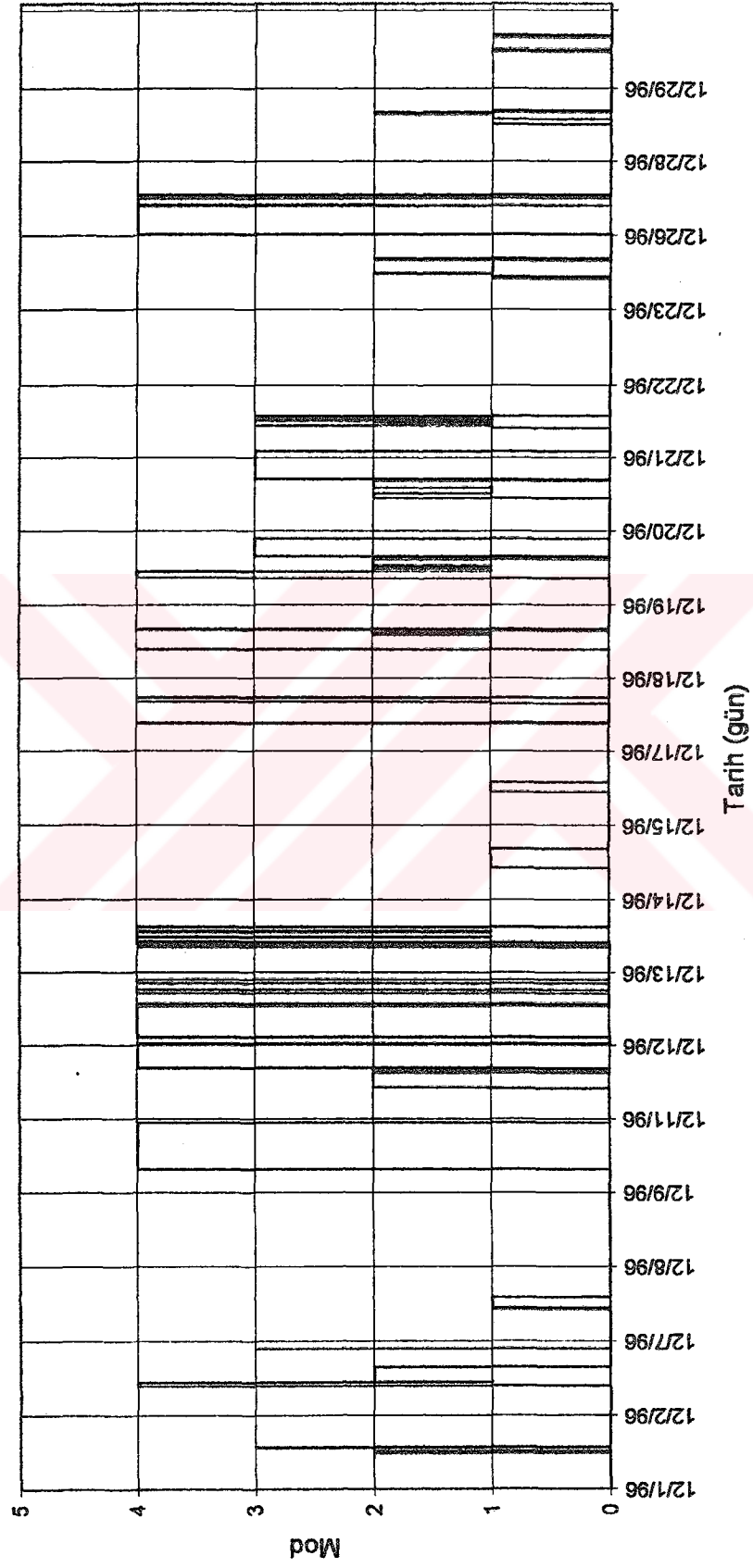
Şekil.10.42 Kolektör giriş çıkış sıcaklıklarının aylık değişimi (aralık 1996)



Şekil. 10.43. Dış, iç ortam ve depo sıcaklığının aylık değişimi (aralık 1996)



Şekil.10.44. Kollektörlerden çekilen enerji ve sistemde harcanan elektrik enerjisinin aylık değişimi (aralık 1996)



Şekil.10.45 Sistemin aylık mod çalışma fonksiyonu (aralık 1996)

11.BÖLÜM

11. Erciyes Üniversitesi güneş evinin ekonomik analizi

Yatırımın geri ödeme dönemi:

Yatırımın geri ödeme metodu müteşebbisler tarafından özellikle ikame yatırımlarında en çok kullanılan yaygın bir metodudur. Metodun temel ilkesi, yatırımlardan sağlanan nakit akımlarının yatırım maliyetini karşılayacağı sürenin belirlenmesidir.

Yatırımı geri ödeme metodunun temel formülü;

$$\text{Geri ödeme dönemi} = \frac{\text{Yatırım tutarı}}{\text{Yıllık nakit akımı}} \quad (11.1)$$

Güneş evi sisteminden elde edilecek yıllık nakit akısı, güneşli sistemin güneşten sağladığı net enerji olmaktadır. Güneşten elde edilen enerji sistemde iki şekilde değerlendirilmektedir. Bunlar 5. bölümde açıklandığı gibi;

- 1) Kış aylarında güneşten hacim ısıtma,
- 2) Hacim ısıtmaya ihtiyaç olmadığı dönemlerde ise sıcak su hazırlama

İlk yatırım maliyetinin hesaplanması:

9. bölümde şekli, boyutları ve çalışma prensibi verilen Erciyes Üniversitesi güneş evi sistemine alternatif bina olarak standart bir ev göz önüne alınarak bu iki ev arasında mukayese yapılacaktır.

Alternatif binanın ısıtma ve sıcak su hazırlama sistemi ;

- a) Isıtma sistemi olarak sıcak hava ısıtmalı
- b) Sıvı yakıtlı sıcak su kazanlı
- c) Kullanım sıcak suyu için sıvı yakıtlı termosifon tertibatlı

Tablo.11.1 de standart ev ve güneşli evin tesisat ve yapı bileşenlerinin mukayesesi verilmektedir. Burada alternatif bina olarak düşünülen sıcak hava ısıtmalı standart evin güneşli ev olması halinde ilave tesisat ve yapı bileşenlerine ihtiyaç duyması güneşli eve ilave yatırım maliyetleri getirecektir. Ayrıca standart evde bulunması gereken çatı yerine güneşli evde güneş kollektörleri kullanılacak oluşu maliyet açısından güneşli eve bir avantaj sağlamaktadır.

Tablo.11.1 Standart ev ile güneşli evin tesisat ve yapı bileşenlerinin karşılaştırılması.

Standart ev (alternatif bina olarak)	Güneşli evi
1-Ev ısıtma sistemi: - Sıcak su kazanı (sıvı yakıtlı) - Havalandırma santrali - Radyal fan - Kuru hava filtresi - Su-hava ısı eşanjörü (20000 kcal/h) - Havalandırma santrali hücreleri - Ev havalandırma kanalları - Sirkülasyon pompası	1-Yardımcı ısıtma sistemi - Sıcak su kazanı (sıvı yakıtlı) - Havalandırma santrali - Radyal fan - Kuru hava filtresi - Su-hava ısı eşanjörü (20000 kcal/h) - Havalandırma santrali hücreleri - Ev havalandırma kanalları - Sirkülasyon pompası
2- Sıcak su hazırlama sistemi Sıvı yakıtlı termosifon sistemi	2- Sıcak su hazırlama sistemi - Hava-Su ısı eşanjörü - Sirkülasyon pompası

	• Sıcak su deposu
3-Çatı	3-Kollektör
• Ahşap oturtma çatı; Kiremit örtülü Örtü altı tahta kaplı Kiremit altı bütünlü karton serili 6 cm cam yünü ile ısı izoleli	
4- Yok	4-Kollektör kanalları
5- Yok	5-Kollektör fanı
6- Yok	6-Kollektör kanallarının hava yönlen- dirme damperleri
7- Yok	7- Isı depolama sistemi
	• Sıcak su tankı (5 ton) veya çakıl deposu (12 m ³)
8- Otomatik kontrol	8- Otomatik kontrol
• Basit	• Profesyonel

Güneşli evde kullanılan ek malzeme listesi 1996 Bayındırlık Bakanlığı birim fiyatları (1996 yılında 1 ABD doları 80000 TL. olarak alınmıştır) baz alınarak Tablo.11.2'de verilmiştir.

Tablo.11.2. Erciyes Üniversitesi güneş evi sisteminde kullanılan ek malzemeler, miktarları, birim fiyatları ve maliyeti

Poz No	İmalat cinsi	Miktar	1996 Birim Maliyeti (TL)	Maliyeti (TL)	Maliyet (\$)
251.116	Radyal fan (8000 m ³ /saat)	1 adet	270000000	270000000	3387.5
257.204	Klima ısıtıcı kangalı (20000 kcal/saat)	1 adet	40600000	40600000	507.5
Fatura	Hava- su ısı eşanjörü (240m ² ısıtma yüz.)	1 adet	240000000	240000000	3000
216.308	Sirkülasyon pompası	2 adet	13750000	27500000	343.75
23.176	Su tankı (1500 kg) (m ³)	1500 kg	80464	120600000	1507.5
230.102	Sıcak su tankı izolasyonu	13 m ²	525000	6825000	85.31
267.406	Kanal damperleri	4 adet	1450000	5800000	72.5
207.603	Küresel vana (1")	5 adet	900000	4500000	56.25
207.606	Küresel vana (2")	9 adet	2450000	22050000	275.62
201.106	Çelik boru (1")	12 m	165000	1980000	24.75

201.109	Çelik boru (2")	30 m	310000	9300000	116.25
201.104	Çelik boru (1/2")	27 m	105000	2835000	35.43
261.102	Kollektör kanalları	60.32m ²	925000	55796000	697.45
265.501	Havalandırma kanalları izolasyonu	60.3 m ²	450000	271440000	339.3
Özel	Hava kollektörü	128m ²	3500000	448000000	5600
Özel	Otomatik kontrol sistemi	1 adet	58000000	58000000	725
Toplam:			978230000(TL)	12227.87(\$)	
%10 KDV:			97823000(TL)		
Toplam:			1076053000(TL)	13450.66(\$)	
(Malzeme fiyatları içerisinde işçiliklerde dahildir)					

Erciyes Üniversitesi güneş evi sisteminde yardımcı ısıtıcı devresinde dahil (yardımcı ısıtıcı devresi standart evde asıl ısıtma sistemi olarak kullanılmaktadır) toplam maliyet 1996 bayındırlık bakanlığı birim fiyatları dikkate alınarak hesaplandığında 1659915785 TL (20748.9 \$) olarak bulunmuştur.

Burada belirtmek gereken bir husus ise standart evde güneşli eve göre ilave edilen çatı ve dahili sıcak su sistemi, güneşli evin maliyetinden çıkarılması gerekmektedir. Çünkü bina güneşli ev olmasaydı çatı ve dahili sıcak su hazırlama sisteminin maliyeti standart ev maliyetine eklenmesi gerekecekti. 1996 bayındırlık bakanlığı birim fiyatlarıyla çatı maliyeti 1971109 m²/TL (24.63 m²/\$) ve dahili sıcak su sistemi olarak kullanılacak sıvı yakıtlı termosifon sisteminin maliyeti ise 20000000 TL (250 \$) olmaktadır.

Buradan güneşli eve ilave olarak yapılacak net yatırım maliyeti ;

Net yatırım maliyeti = [Güneşli ev maliyeti] - [Standart ev maliyeti]

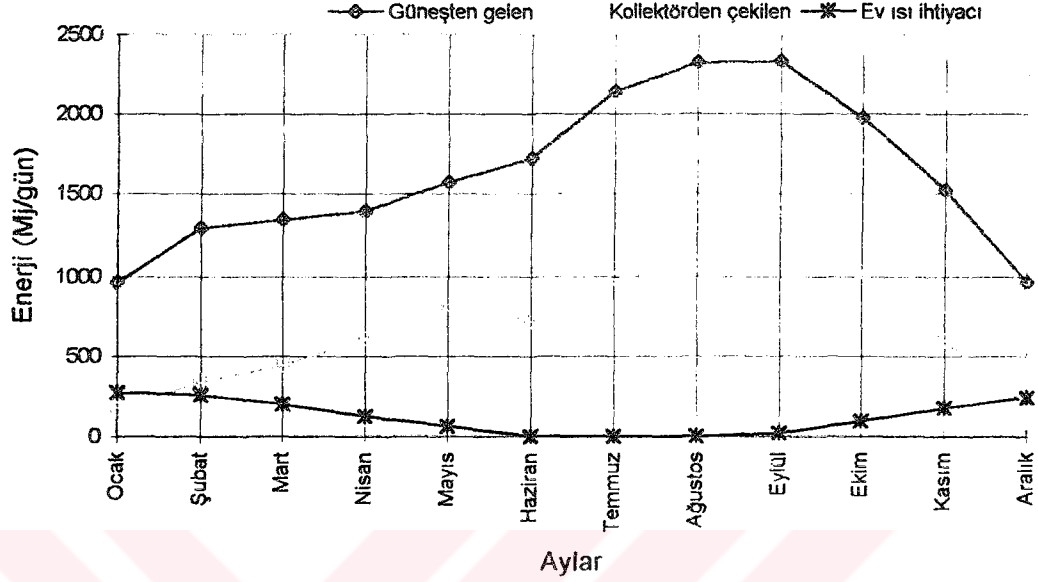
olacaktır. Buna göre Erciyes Üniversitesi güneş evi sistemine standart eve göre yapılan ilave yatırım **819519920 TL** (1996 birim fiyatları ile) (10243.99 \$) olmaktadır.

Güneş enerji sisteminin enerji dengeleri:

Güneş enerji sisteminden çekilen net enerji ; kollektörlerden havayla çekilen enerji ile sistemde harcanan elektrik enerjisinin farkı olmaktadır.

Sistemin geri ödeme döneminin tespiti için ek-4'de geliştirilen bilgisayar programıyla aylık ve yıllık sistemin kazandırdığı net enerjiler tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu programda bulunduğumuz bölgenin parametrelerine göre (enlem, boylam, rakım) güneşe dönük ve yer eksenine belirli bir açı (bizim sistemimizde 90 ve 42° yüzeyler) yapan yüzeye gelen günlük direk ve düfüz güneş ışıını değeri hesaplamaktadır. Sonra kullanılacak olan kollektör verim denklemlerinin katsayıları (3. bölümde açıklanmıştır.) sabit kabulüyle kollektörün işletme noktası parametresinin değışimine göre kollektörlerin anlık verimleri tespit edilmektedir. Anlık verimlerin değeri göre enerjinin sistemde kullanılıp kullanılmayacağına karar verilerek sistemden elde edilen net enerjiler hesaplanmaktadır. Bu işlemler kollektör düzlemlerine güneşin doğuş-batış saatleri arasında 10'ar dakikalık adımlarla günlük; ışıını, verim, sistemde harcanan elektrik enerjisini ve güneşten kazanılan net enerjileri çıkarmaktadır. Bu bilgisayar programıyla aylık ortalama değeri veren günler (17, 47, 75, 105, 135, 162, 198, 228, 258, 288, 318 ve 344) baz alınarak aylık ortalama güneşten elde edilen net enerjiler çıkarılmaktadır.

Ek-4'de verilen bilgisayar programında aylık ortalama dış ortam sıcaklığına bağlı olarak binanın ısı ihtiyacı hesaplanarak ne kadarının güneşten, ne kadarının yardımcı ısıtıcıdan karşılanacağı tespit edilmektedir. Şekil.11.1'de 95.78 m² çatı ve 32.85 m² duvar kollektörlerine gelen çekilen enerjilerin aylık değışimi ve binanın ısı ihtiyacı verilmiştir. Şekil.11.1'de 5. ay ile 6. ay arasında kollektörlerden çekilen enerjinin düştüğü görülmektedir. Bunun sebebi güneş evi sisteminin, binanın ısınmaya ihtiyacı olmadığı dönemlerde sıcak su hazırlama modunda çalışıyor olmasıdır. Ev ısıtma modlarında kollektör giriş sıcaklığı 20°C alınırken sıcak su hazırlama modunda bu sıcaklık 40°C alınmaktadır. Bu ise kollektör veriminin aylara göre değışmesine sebep olmaktadır.



Şekil.11.1. Güneş evi sistemine güneşten gelen, kollektörden çekilen ve binanın ısı ihtiyacının yıllık değişimi (Ek-4 bilgisayar programından)

Tablo.11.3. Ek-4'de verilen bilgisayar programına göre Erciyes Üniversitesi güneş evinin aylık ortalama enerji dengeleri (birimler Mj/gün dür.)

Aylar	Güneşten gelen	Kollektörden çekilen	Ev ısı ihtiyacı	Fark
Ocak	962.884	175.52	274.915	-99.395
Şubat	1291.698	335.538	255.94	79.598
Mart	1343.251	440.3	203.291	237.009
Nisan	1394.492	606.169	125.837	480.332
Mayıs	1569.996	822.127	63.539	758.588
Haziran	1720.703	713.518	0	713.518
Temmuz	2140.094	983.255	0	983.255
Ağustos	2322.116	1072.132	0	1072.132
Eylül	2328.717	1396.571	21.115	1375.455
Ekim	1972.036	1024.623	95.597	929.026
Kasım	1519.626	593.008	177.307	415.7
Aralık	962.362	198.041	240.151	-42.11

Erciyes güneş evinin bir yıllık enerji bilançosu ise;

Güneş evinin yıllık ısı ihtiyacı

= 10 461 000 kcal/yıl

Yardımcı ısıtıcı

= 1 015 586 kcal/yıl

Güneş

= 9 445 414 kcal/yıl

Güneşten kollektör düzlemlerine düşen güneş ışınlamı = 140 000 000 kcal/yıl
 Kollektörlerden çekilen faydalı enerji = 60 000 000 kcal/yıl
 Binanın yıllık (hacim ısıtma) ısı ihtiyacını güneşten karşılama oranı = %90.3
 olmaktadır.

Sistemlerin yıllık maliyetleri;

Hacim ısıtma ısı yükü 1046100 kcal/yıl , sıcak su hazırlama ısı yükü 50554586 kcal/yıl olan sistemin yıllık maliyetleri;

Yıllık Maliyet =Yıllık Yakacak Maliyeti+Yıllık işletme ve Bakım Maliyeti

Yıllık işletme ve bakım Maliyeti= Yıllık Personel Gideri+Yıllık Elektrik
 Gideri+Yıllık Bakım-Onarım Gideri

Sistem ısı yüklerinin çeşitli yakıt eşdeğerleri ise yakıtların ısı değerlerine ve yanma verimlerine göre değişmektedir. Tablo.11.4'de çeşitli yakıtların alt ısı değerleri verilmiştir.

Tablo.11.4. Çeşitli yakıtların yanma değerleri

Yakıt cinsi	Yanma değeri (kcal/kg)	Fiyatı * (TL./kg)/(\$/kg)
Fuel-oil	10000	35000/0.318
Ukrayna linyiti (ithal linyit)	7700	13200/0.12

*Fiyatlar ocak 1997 kayseri serbest piyasa fiyatlarıdır (1\$=110000 TL.)

Buna göre, yıllık gerekli yakıt miktarı aşağıda verilen formüle göre hesaplanmıştır.

$$B_y = \frac{Q_{fayda}}{Hu \cdot \eta_u} \quad (\text{kcal/yıl}) \quad (11.2)$$

Burada;

Q_{ayda} : Sistemin ısı yükü (kcal/yıl)

H_u : Yakıtın alt ısı değeri (kcal/kg)

η_u : Verim (%) (sıvı yakıtlı sistemlerde 0.85, kömürlü sistemlerde 0.7 alınması uygun olmaktadır.)

Yıllık işletme ve bakım maliyetlerindeki personel giderleri ve yıllık bakım onarım giderleri ihmal edilirse ve yıllık işletme maliyeti olarak sistemde harcanan Elektrik enerjisi değeri dikkate alınırsa ;

- **Alternatif sistemin yıllık maliyeti**

Yakacak maliyeti; (1997 fiyatlarıyla)

Hacim ısıtma için gerekli yakıt miktarı

$$B_y = 1230.7 \text{ kg/yıl (1295.47 lt/yıl)}$$

Sıcak su hazırlama için gerekli yakıt miktarı;

$$B_y = 5947.6 \text{ kg/yıl (6260.6 lt/yıl)}$$

1997 serbest piyasa fuel-oil fiyatı 35000 TL/lt dir. Buna göre sistemin yıllık yakıt maliyeti **264 463 494.6 TL/yıl** olmaktadır.

Elektrik maliyeti;

Elektrik maliyeti olarak sistem sadece hacim ısıtma fonksiyonunda Elektrik tüketmekte (havalandırma santralında 1.1 kW fan motoru ve 100 W sirkülasyon pompası bulunmakta olup ısıtma kangalından 20000 kcal/saat ısı çekmektedir.) olup hacim ısıtma ısı ihtiyacının yaklaşık %8'i kadar sistemde Elektrik tüketmektedir.

$$\text{Elektrik enerjisi} = 836880 \text{ kcal/yıl (3498158.4 kJ/yıl)}$$

Elektrik enerjisinin 1997 yılı fiyatı (Vergi ve fonlar dahil) 9700 TL/kWh olduğundan toplam Elektrik maliyeti **9 425 593.46 TL** olmaktadır.

Alternatif sistemin 1997 yılı için yıllık maliyeti **218 978 472.9 TL/yıl (1990.7 \$/yıl)** olmaktadır.

- **Güneş enerjili sistemin yıllık maliyeti;**

Güneşli sistemde yıllık maliyet olarak (bakım onarım ve personel giderleri ihmal edildiğinde) olarak yalnız sistemin Elektrik maliyetleri ve yardımcı ısıtma devresi yakıt maliyeti dikkate alınır. Sistem hacim ısıtma modlarında güneşten kazandığı faydalı enerjinin %6-9'u, sıcak su hazırlama modunda ise faydalı ısıtmanın %12-16'ı (yapılan deney sonuçlarına göre) sistemde elektrik enerjisi olarak sistemde harcanmaktadır.

Sistemin yıllık maliyeti=Hacim ısıtma için elektrik maliyeti+Sıcak su hazırlama için elektrik maliyeti+yardımcı ısıtma devresi yakıt maliyeti

Aktif güneşli sistemde harcanan elektrik enerjisi; hacim ısıtma için 755633 kcal/yıl (3158546.4 kJ/yıl), sıcak su hazırlama için 7077642 kcal/yıl (29584543.7 kJ/yıl) olmaktadır ve 1997 birim fiyatlarıyla elektrik enerjisi maliyeti **88 224 437.29 TL/yıl** olmaktadır. Yardımcı ısıtıcı devresinde yakılan yakıt maliyeti 1015586 kcal/yıl ısı yükü için 119.48 kg/yıl (125.76 lt/yıl) fuel-oil maliyeti 1997 fiyatları ile 4401600 TL/yıl olmaktadır. Buna göre aktif güneşli sistemin yıllık maliyeti (bakım-onarım ve personel giderleri hariç) **88 664 629.36 TL/yıl** olmaktadır.

- **Aktif güneşli sistemin yıllık sağladığı tasarruf;**

1997 serbest piyasa fiyatlarıyla Erciyes Üniversitesi güneş evi sisteminin alternatif sisteme göre yıllık tasarrufu; güneşten kazanılan faydalı ısı 60 000 000 kcal/yıl ve bunu fuel-oil karşılığı 7058.82 kg/yıl (7430.3 lt/yıl) olmakta olup bunun fiyatı ise **260 060 500 TL/yıl** olmaktadır. Güneşten elde edilen bu faydalı ısı için harcanan elektrik enerjisi maliyeti **88 224 437 TL/yıl** olmaktadır. Buna göre güneşli sistemin yıllık tasarrufu **171 836 063 TL/yıl (1562.14\$)** olmaktadır.

Erciyes Üniversitesi güneş evi sisteminin tasarruf/yatırım oranı 0.11 olmaktadır. Buna göre güneşli sisteme alternatif sisteme göre yapılan ek yatırımın maliyeti 1996 birim fiyatlarıyla 819519920 TL (10243.99 \$) olurken 1997 birim fiyatlarıyla sistemin net tasarrufu yılda 171 836 033 TL/yıl (1562.14 \$) olmaktadır. Buna göre sabit fiyatlarla (ABD doları baz alınarak) sistemin **geri ödeme süresi 8.6 yıl** bulunmaktadır.

Şekil.11.2'de sistemdeki çatı ve duvar kolektörlerine güneşten gelen ve çekilen enerjiler verilmektedir. Buradan da görüldüğü gibi duvar kolektörleri sisteme fazla bir katkı sağlamamaktadır.

1996 yılı kasım ve aralık aylarında **gerçek** değerlerle yapılan deneylerde elde edilen sonuçlara göre güneş evi sistemi;

1996 kasım ayında:

Güneşten kolektör düzlemlerine gelen toplam enerji = 2037 Mj/gün

Kolektörlerden çekilen faydalı enerji = 379 Mj/gün

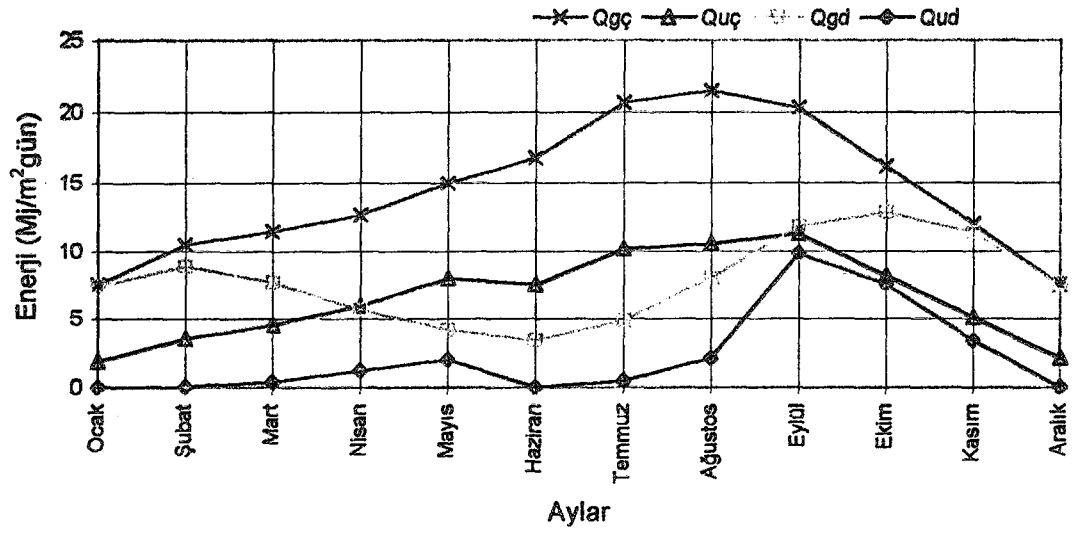
Bu faydalı enerjinin fuel-oil karşılığı ise 10.667 kg/gün dür.

1996 aralık ayında:

Güneşten kolektör düzlemlerine gelen toplam enerji = 1012 Mj/gün

Kolektörlerden çekilen faydalı enerji = 135 Mj/gün

Bu faydalı enerjinin fuel-oil karşılığı ise 3.79 kg/gün dür.



Şekil.11.2. Duvar ve çatı kolektörlerine güneşten gelen ve çekilen enerjilerin yıllık değişimi (Ek-4 bilgisayar programından)

12.Bölüm

12.Sonuçlar

Güneş evi sitemlerinin performansları hakkında deneysel verilere dayanarak bir sonuç çıkarmak için sistemin en az bir ısıtma sezonu boyunca davranışının gözlenmesine ihtiyaç duyulması nedeniyle, elde edilen deney sonuçları kurulu sistemin performansı ile ilgili bazı ön bilgiler vermektedir.

Sistemin sıcak su modunda çalıştığı günde sistemden toplam 13 m³ su çekildi ve sistemde bu miktarda suyun 16-17°C kadar ısıtıldığı gözlemlendi. Sistemimizden çekilen suyun günün belirli saatlerinde miktarları değişmekle birlikte, sıcak suyun sistemimizden çıkış sıcaklığında fazla bir değişim olmamaktadır. Bunun nedeni ise sıcak su ihtiyacının maksimum değeri ile güneş ışıınının maksimum değerinin günün öğle saatlerine rastlamasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca sıcak su hazırlama modunda sistemden sıcak su ile çekilen enerjinin değerinin büyük olması, kollektöre giriş havasının sıcaklığının düşük olmasına neden olduğundan kollektör verimi yüksek olmaktadır.

Suya ısı depolama modunda çalışan sistemde depo sıcaklığının yükselmesi kollektör giriş havası sıcaklığının yükselmesine neden olduğundan, özellikle duvar kollektörlerinin sisteme olumsuz yönde etkilerine yol açmaktadır. Yapılan deneylerde sıcak su hazırlama modunda kollektör verimi %45.5 (2.10.1996 sıcak su hazırlama deneyi) olurken sistemin suya ısı depolama modunda çalıştığında

kollektör verimleri %35.1 (10.9.1996 suya ısı depolama deneyi) olmaktadır. Isı deposundan herhangi bir ısı çekilmediği ve sistem devamlı ısı depolama modunda çalıştığı için ikinci günü kollektör verimi %28.3 (11.9.119 suya ısı depolama deneyi) olmaktadır.

1996 kasım ve aralık aylarında güneş evi sisteminde performans deneyleri yapılmış ve halen devam etmektedir. Performans deneylerinin yapıldığı aylarda bina ısı kaybının kasım ayında %97'si aralık ayında ise %45 güneş enerjisinden karşılanmıştır. Kasım ve aralık aylarında güneşten karşılanan enerjinin fuel-oil karşılıkları ise aylık ortalamalar olarak ; kasım ayında 10.66 kg/gün, aralık ayında ise 3.79 kg/gün olmuştur.

Sistemde kanal ve deponun ısıtılan mekan içerisinde oluşu kanal ve depo kayıplarının eve enerji girdisi olarak alınmasına neden olduğundan kayıpların ev ısı ihtiyacından fazla olduğu dönemlerde ev sıcaklığının 20°C'nin üzerine çıkmasına neden olmaktadır. Bu ise konfor ve enerji ekonomisi açısından olumsuzluktur. 1996 kasım ayında güneş evi sistemi çoğunlukla ısı depolama modunda çalıştı ve toplam kayıplar bina ısı ihtiyacını karşıladı.

Güneş evi sisteminin performans deneylerinin devam etmesi sebebiyle yıllık enerji bilançolarının çıkarılması ve sistemin ekonomikliğiyle ilgili fikir sahibi olunması için havayla ısıtılan sistemlerin simülasyonunu gerçekleştiren bir **bilgisayar programı** geliştirilmiş ve örnek bina olarak Erciyes Üniversitesi güneş evi sistemi alınmıştır. Buna göre 144 m² net oturma alanına, 128 m² kollektör alanına sahip Erciyes güneş evinin bir yıllık enerji bilançosu;

Güneş evinin senelik ısı ihtiyacı	= 10 461 000 kcal/yıl
Yardımcı ısıtıcı	= 1 015 586 kcal/yıl
Güneş	= 9 445 413 kcal/yıl
Güneşten kollektör düzlemlerine düşen güneş ışıması	= 140 000 000 kcal/yıl
Kollektörlerden çekilen faydalı enerji	= 60 000 000 kcal/yıl
Sistemde harcanan elektrik enerjisi	= 7 200 000 kcal/yıl
Sistemden kazanılan net enerji	= 52 804 090 kcal/yıl
olmaktadır ve binanın yıllık (hacim ısıtma) ısı ihtiyacını güneşten karşılama oranı %90.3 olmaktadır.	

Buna göre sistemin sağlayacağı yakıt tasarrufu ile bu sistemin 8.6 senede yatırımını karşılayacağı sonucuna varılmıştır. Güneş evi sistemi yalnızca kışın hacim ısıtma fonksiyonlarını yerine getirseydi yatırımı geri ödeme süresi 29.8 yıl olacaktı. Bu ise güneş evi sistemlerinin yaz ve kış fonksiyonlarını ifa etmesinin geri ödeme süresini kısalttığını göstermektedir. Mevcut güneş evi sistemine yaz aylarında güneş enerjisi destekli soğutma fonksiyonlarını eklenmesi geri ödeme süresini daha da kısaltacaktır. Ayrıca havalandırma sistemi mevcut olan mekanlar, küçük değişikliklerle aktif güneşli sisteme dönüştürülmesi mümkün görülmektedir. Bu sistem fabrikaların ısıtılmasında yapım kolaylığı ve ekonomik oluşundan dolayı kullanılması caziptir.

Erciyes Üniversitesi güneş evinde duvar kollektörleri, işletme noktası parametresi dikkate alınarak sistemden bazı anlarda ayrılması ve havanın yalnızca çatı kollektörlerine gönderilmesi gereği ortaya çıkmaktadır. Bu güneş evi sisteminde düşünülmesine rağmen by-pass kanalı kollektör içerisindeki absorberlerin yerleştirilmesi şeklinden dolayı şimdilik kullanılamamaktadır.

Gerçek verilere dayanan performans deneylerinde; hesaplamalar ve ölçümlerde çıkan sonuçların ışığında ısı dengelerinin % 10'luk bir hata ile dengelerin hesaplandığını kabul etmemiz gerekmektedir.

13.Bölüm

13. Gelecekteki çalışmalar için tavsiyeler

Tasarımda fan, hava-su ısı eşanjörü ve sıcak su tankının yerlerinin tespitinde kullanım alanının fazla miktarda işgal edilmesine sebep olan hatalar yapılmıştır. Bu nedenle ısı depolama tankının toprak altına yerleştirilmesi, fan ve kollektör eşanjörünün kollektör alt bölgesinde bulunan (şu anda depo olarak kullanılmakta) olan çatı arasına yerleştirilmesi, kullanım alanımızı büyüteceğinden, uygun olacaktır. Kollektör fanının hava-su ısı eşanjörünün önüne konması, yani fanın üfleme ağzına eşanjörün yerleştirilmesi ve de fan ve eşanjör arasındaki mesafenin fiziki yapıdan dolayı kısa tutulması, eşanjör davlumbazının açılarının geniş olmasına neden olduğundan ısı eşanjöründe hava akış kesitinde ölü bölgeler oluşmasına sebep olmaktadır. Bu ise ısı transferini olumsuz yönde etkilemektedir. Fan eşanjör ikilisinin çatı arasına ve eşanjörü fan emme ağzına yerleştirilmesi, bu tip problemleri ortadan kaldıracığı düşünülmektedir.

Havalı kollektörler genellikle negatif basınç altında çalıştığından bu tip kollektörlerde en büyük problem sızıntı problemleridir. Bu sebeple kollektörün mümkün olduğu kadar iyi izole edilmesi gerekmektedir. Saydam örtü montajı ve bağlantı şeklinin daha düzenli tasarlanması ve saydam örtü malzemesinin dış darbelere karşı dayanıklı olması gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan polikarbont levhaların 1 mm kalınlıkta ve 120x200 cm plakalar halinde

yerleştirilmiş olması rüzgar etkileri ile bazı bölgelerinin deforme olmasına neden olmuştur. Güneş evi binasının mimarisi fonksiyonel olmasına karşın görünüş olarak estetik değildir.

Binayı kollektörden direkt ısıtma modunda kollektör fanının bir kanalla by-pass edilerek havanın ev fanına girmesi daha uygun olacağı görülmüştür. Bu modda kollektör fanı ile ev fanının seri bağlı oluşu (bu modda yalnız ev kollektör fanı çalışmaktadır) kollektör fanına ilave basınç kayıpları getirmektedir. Ayrıca kollektörden akan hava debisi sıcak su hazırlama ve ısı depolamada $1.73 \text{ m}^3/\text{sn}$ iken kollektörden direkt ev ısıtma modunda $0.7 \text{ m}^3/\text{sn}$ olması gerektiğinden debi ayarlaması damperler vasıtasıyla yapılmaktadır. Burada debi ayarının fan motorlarının devir kontrolü ile otomatik yapılması hem ilave basınç kayıplarını ortadan kaldıracaktı hem de mahallin içerisine (ışınım şiddetinin her değerinde) üflenecek havanın sıcaklığının sabit kalmasını sağlayacaktı.

Deneyler esnasında sensörlerin kalibrasyonunda büyük problemler ortaya çıkmıştır. Bunun sebebi ise veri toplama kartına sinyal gönderen sensörlerin mV mertebesindeki sinyallerinin ara bağlantı kablolarının uzunluğu (bazı bölgelerde 10 m civarında) sebebiyle çeşitli dış etkilere maruz kalmasıdır. Bu problemin çözümü sinyalin alındığı yerlerde işlenerek sonra veri toplama kartına gönderilmesidir. Bu çözüm veri toplama sisteminin maliyetinin iki katına çıkmasına sebep olmaktadır.

Bu projenin hareket noktasında bütün ihtiyaçların yurt içi kaynaklardan karşılanması hedeflenmekteydi fakat ülkemizin teknolojik imkanları buna yeteri derecede mümkün kılmamaktadır.

Yapılan güneş evi sistemi araştırma amaçlı değil de yaşanacak bir mahal olması halinde mimari açıdan daha estetik şekilde tasarlanması, iç mahaldeki kanalların gizlenmesi, ısı depolama sisteminin daha az kullanım alanı işgal etmesinin sağlanması gerekmektedir. Ayrıca otomatik kontrol sisteminin daha basitleştirilmesinin kullanıcı ve montajcı açısından daha kolay olacağı

düşünülmektedir. Havalı kollektörlerin ülkemizde ticari amaçlı olarak seri üretimi kollektör maliyetlerini düşüreceği düşünülmektedir.



14. KAYNAKLAR

- [1]. Duffie J.A. and Beckman W.A., "Solar Engineering of Thermal Processes", J. Willey and sons, N.Y., 1991
- [2]. Kılıç A. ve Öztürk A. "Güneş Enerjisi", Kipaş Dağıtım İstanbul 1983
- [3]. Selçuk, K., "Thermal and Economic Analysis of the Overlapped-Glass Covers", Solar Energy, 13, 1971.
- [4]. Ward D.S., Lof G.O.G., "Design and Construction of a Residential Solar Heating and Cooling System", Solar Energy, Vol.17 1975.
- [5]. M.Kudret Selçuk'la özel görüşmeler
- [6]. Ward, D.S., G.O.G. Lof, C.C.Smith, and L.L. Sham, "Design of a Solar Heating and Cooling System for CSU House II", Solar Energy, 19, 1977.
- [7]. G. Harris, "Distributed Residential Thermal Storage by Water Encapsulation" Ms. Thesis, Univ.of Nevada, Reno, 1991.
- [8]. Karaki, S., Duffie W.J. and Lof G.O.G., "A Performance Comparison Between Air and Liquid Residential Solar Heating Systems", Report C00-2868-4 1978.
- [9]. Close, D.J. and M.B. Yusoff, "Effect of Air Leaks on Solar Air Collector Behavior", Solar Energy, 20, 1978.
- [10]. Beard J.G., "Technical and Economic Performance of Site-Built Solar Air Heaters", M.S. Thesis, University of Nevada Reno.
- [11]. Kreider J. F. and Kreith F., "Solar Heating and Cooling" McGraw-Hill N.Y. 1977.
- [12]. Atagündüz, G., "Güneş Enerjisi ve Temelleri", Güneş Enerjisi Enstitüsü Yayını İzmir, 1989
- [13]. Anderson E.E., "Fundamentals of Solar Energy Conversion", Addison-Wesley Publishing Co., 1982
- [14]. Laine, B. Parker, F., "Derivation of Efficiency and Loss Factors for Solar Air Heaters", Solar Energy, Vol.26, pp. 27-32, 1981
- [15]. K.S. Ong, "Thermal Performance of Solar Air Heaters- Experimental Correlation", Solar Energy Vol. 55, No. 3, pp. 209-220, 1995

- [16]. Hamid, Y.H. and Beckman, W.A., "Performance of Air Cooled Radiatively Heated Screen Matrices", ASME Journal of Solar Energy, Vol. 3, pp. 82, 1989
- [17]. K.S. Ong, "Thermal Performance of Solar Air Heaters: Mathematical Model and Solution Procedure", Solar Energy Vol. 55, No. 2, pp. 93-109, 1995
- [18]. American society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning (ASHRAE) Standart, 93-77 (RA91) Methods of testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors, Atlanta , 1978.
- [19]. Bliss, R. W., "The Derivations of Several plate Efficiency Factors Useful in the Design of Flat Plate Solar Heat Collectors" , Solar Energy, Vol. 3, No. 4, pp 55-64, 1959
- [20]. Kelek Ü.N., "Sıcak Hava Kollektörlerinin Optimum Boyutlandırılması", Yük. Lis. Tez. Erc. Üniv., 1996
- [21]. Gökçe A. T., "Isı Transferine Giriş" Selçuk Üniversitesi Yayınları-6 Konya 1985
- [22]. Incropera F.P., Dewitt D.P. "Fundamentals of Heat and Mass Transfer" John Wiley and Sons N.Y. 1990.
- [23]. Loth J.L., "Domestic Hot Water Heating Using Hot Air Solar Collector" West Virginia University, Morgantown, W. Va. 1982
- [24]. F. C. McQuiston, J. D. Parker, "Heating, Ventilating, and Air Conditioning", J. Wiley and Sons, N.Y., 1982.
- [25]. Klein, S. A., "Calculation of Flat-Plate Loss Coefficients", Solar Energy, 17, 1979
- [26]. TSE 4801 standardı.
- [27]. Brinkworth, B. "Selection of Design Parameters for Closed-Circuit Forced-Circulation Solar Heating Systems", Solar Energy, 17, 1975.
- [28]. Siegel R. and J.R. Howell, "Thermal Radiation Heat Transfer" , 3. nd. ed., McGraw-Hill, 1986

- [29]. Beckman W.A., Klein S.A. and Duffie J.A., "Solar Heating Design by f-chart Method", Willey and sons, N.Y.,1977
- [30]. Cole R. L. and et al. "Design and Installation Manual for Thermal Energy Storage" , Argonne National Laboratory, Illinois 1979.



Ek-1

Erciyes Üniversitesi Güneş evinin Fotoğrafları



Güneş Evinin Genel Görünüşü



Güneş Evi Data Toplama Sistemi



Hava-Su ısı Eşanjörü (E1)



Isı Depolama Ünitesi (5 m³ tank)



Hacimsel Kollektörün İç Yapısı

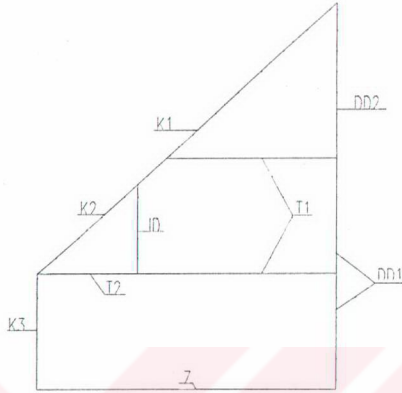


Güneş Evi Zemin Katı

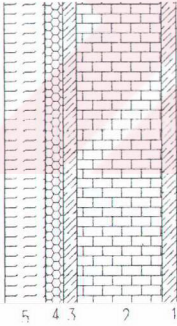


Güneş Evi Birinci Katı

EK-2



Kolektör iç duvarı: İD



Yapı Elemanları	Kalınlık (cm)	k Kcal/m ² hC
1. İç Sıva	2	0.6
2. Delikli Tuğla	19	0.4
3. İç sıva	2	0.6
4. Strafor	2	0.035
5. Cam Yünü	6	0.034
$h_{iç}=7 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ $h_{dış}=20 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$		

$$U = \frac{1}{\frac{1}{7} + \frac{0.02}{0.6} + \frac{0.19}{0.4} + \frac{0.02}{0.6} + \frac{0.02}{0.035} + \frac{0.06}{0.034} + \frac{1}{7}} \Rightarrow U = 0.3161 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$$

Kolektör Dış Duvar:DD2

	Yapı Elemanları	Kalınlık (cm)	k kcal/m ² h°C
	1. Dış sıva	7	0.75
	2. Delikli Tuğla	19	0.4
	3. Strafor	4	0.035
	4. Delikli Tuğla	9	0.4
	5. İç Sıva	2	0.6
	6. Strafor	2	0.035
	7. Cam Yünü	6	0.034
$h_{i\varphi}=7 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ $h_{d\varphi}=20 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$			

$$U = \frac{1}{\frac{1}{7} + \frac{0.06}{0.035} + \frac{0.02}{0.034} + \frac{0.02}{0.6} + \frac{0.09}{0.4} + \frac{0.04}{0.034} + \frac{0.19}{0.4} + \frac{0.02}{0.75} + \frac{1}{20}}$$

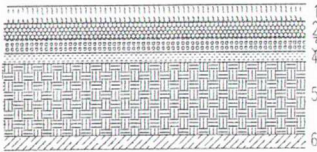
$$U = 0.22567 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

Bina dış Duvarı:DD1

	Yapı Elemanı	Kalınlık (cm)	k kcal/m ² h°C
	1. İç sıva	2	0.6
	2. Delikli tuğla	19	0.4
	3. Strafor	4	0.035
	4. Delikli tuğla	9	0.4
	5. Dış sıva	2	0.75
$h_{i\varphi}=7 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ $h_{d\varphi}=20 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$			

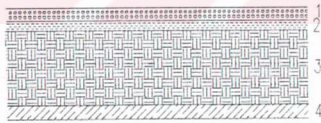
$$U = \frac{1}{\frac{1}{7} + \frac{0.02}{0.6} + \frac{0.19}{0.4} + \frac{0.04}{0.035} + \frac{0.09}{0.4} + \frac{0.02}{0.75} + \frac{1}{20}} \Rightarrow U = 0.47716 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

Tavan : T2

	Yapı Elemanı	Kalınlık (cm)	k kcal/m ² hC
	1. Cam yünü	6	0.034
	2. Strafor	2.5	0.035
	3. Karo mozaik	2	0.24
	4. Tasfiye betonu	3	0.9
	5. Tavan betonu	10	1.3
	6. İç sıva	2	0.6
$h_{ic}=5 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$ $h_{diq}=20 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$			

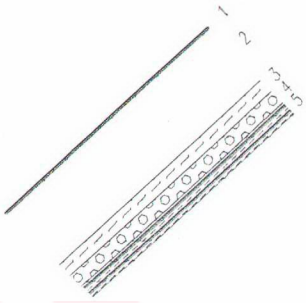
$$U = \frac{1}{\frac{1}{5} + \frac{0.02}{0.6} + \frac{0.1}{1.3} + \frac{0.03}{0.9} + \frac{0.02}{0.24} + \frac{0.025}{0.035} + \frac{0.06}{0.034} + \frac{1}{20}} \Rightarrow U = 0.356$$

Tavan: T1

	Yapı Elemanı	Kalınlık (cm)	k kcal/m ² hC
	1. Karo mozaik	2	0.24
	2. Tasfiye betonu	3	0.9
	3. Tavan betonu	10	1.3
	4. İç sıva	2	0.6
$h_{ic}= 5 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$ $h_{diq}= 20 \text{ kcal/m}^2\text{hC}$			

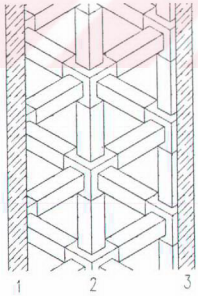
$$U = \frac{1}{\frac{1}{5} + \frac{0.02}{0.6} + \frac{0.1}{1.3} + \frac{0.03}{0.9} + \frac{0.02}{0.24} + \frac{1}{20}} \Rightarrow U = 2.0967$$

Kollektör: K1

	Yapı Elemanı	Kalınlık (cm)	k kcal/m ² h°C
	1. Polikarbon levha	0.1	1
	2. Hava boşluğu	20	1/k = 0.19
	3. Cam yünü	6	0.034
	4. Strafor	4	0.035
	5. Ahşap	3	0.12
$h_{iç} = 7 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ $h_{dış} = 20 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ $h_1 = 7 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ $h_2 = 10 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$			

$$U = \frac{1}{\frac{1}{7} + \frac{0.03}{0.12} + \frac{0.04}{0.034} + \frac{0.06}{0.035} + \frac{1}{7} \times 2 + \frac{1}{10} + \frac{1}{20} + 0.19 + \frac{0.001}{1}} \Rightarrow U = 0.2643 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

Kolonlar:

	Yapı Elemanı	Kalınlık (cm)	k kcal/m ² h°C
	1. Dış sıva	2	0.75
	2. Betonarme	55	1.3
	3. İç sıva	2	0.6
$h_{iç} = 7 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ $h_{dış} = 7 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$			

$$U = \frac{1}{\frac{1}{7} + \frac{0.02}{0.75} + \frac{0.55}{1.3} + \frac{0.02}{0.6} + \frac{1}{20}} \Rightarrow U = 1.48 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

Güney Duvar Kolektörü: K3

	Yapı Elemanı	Kalınlık (cm)	k kcal/m ² h°C
	1. İç Sıva	2	0.6
	2. Delikli Tuğla	19	0.4
	3. Strafor	4	0.035
	4. Delikli Tuğla	9	0.4
	5. Dış Sıva	2	0.75
	6. Strafor	2	0.035
	7. Cam Yünü	6	0.034
	8. Hava Boşluğu	20	1/h=0.19
	9. Cam	0.3	1
	$h_{i\phi} = 7 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ $h_{d\phi} = 20 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ $h_i = 7 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ $h_2 = 10 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$		

$$U = \frac{1}{\frac{0.003}{1} + 0.19 + \frac{0.06}{0.034} + \frac{0.02}{0.035} + \frac{0.02}{0.75} + \frac{0.09}{0.4} + \frac{0.04}{0.035} + \frac{0.19}{0.4} + \frac{0.02}{0.4} + \frac{1}{7} \times 2 + \frac{1}{10} + \frac{1}{20}}$$

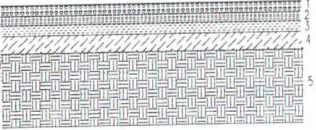
$$U = 0.20543 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

Trombol Duvar :

	Yapı Elemanı	Kalınlık (cm)	k kcal/m ² h°C
	1. İç sıva	2	0.6
	2. Dolu tuğla	19	0.68
	3. Dış sıva	2	0.75
	4. Hava boşluğu	20	1/h=0.19
	5. Cam	0.3	1
	$h_{i\phi} = 7 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ $h_i = 10 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ $h_{d\phi} = 20 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$		

$$U = \frac{1}{\frac{1}{7} + \frac{0.02}{0.6} + \frac{0.19}{0.68} + \frac{0.02}{0.75} + 0.19 + \frac{1}{7} + \frac{1}{10} + \frac{1}{20} + \frac{0.003}{1}} \Rightarrow U = 1.033 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

Döşeme:Z

	Yapı Elemanı	Kalınlık (cm)	k kcal/m ² h°C
	1. Karo mozaik	2	0.24
	2. Şab betonu	2	0.9
	3. Tasfiye betonu	5	0.9
	4. Grobeton	5	0.9
	5. Blokaj	15	0.5
	h=5 kcal/m ² h°C		

$$U = \frac{1}{\frac{1}{5} + \frac{0.02}{0.24} + \frac{0.02}{0.9} + \frac{0.05}{0.9} + \frac{0.05}{0.9} + \frac{0.15}{0.5}} \Rightarrow U = 1.39 \text{ kcal/m}^2 \text{h}^\circ\text{C}$$

Ek-3

- C Bu program Erciyes güneş evi binasının ısı kaybını hesaplar
 REAL K1,K2,K3,K4,K5,K6,K7,K8,K9,K10,K11,K12,K13,K14
 DIMENSION TD(12),QTOP(12),T1(12),T2(12),TOR(12)
 DIMENSION TT(12),T11(12),T12(12),T21(12),T22(12),UA(12)
 READ(5,1) (TD(I),I=1,12)
 READ(5,1) (TT(I),I=1,12)
 1 FORMAT (12(F10.3))
- C Bina ısı kaybı hesabı
 DO 10 I=1,12
 A1=53.55
 A2=53.55
 A3=74.97
 A4=4.5
 A5=20.578
 A6=21.42
 A7=29.75
 A8=1.557
- C Yapı bileşenlerinin ısı iletim katsayıları ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}^\circ \text{C}$)
 K1=0.477165
 K2=1.2086
 K3=1.39
 K4=2.0967
 K5=0.356
 K6=0.3161
 K7=0.22564
 K8=0.2643
 K9=6.54
 K10=0.7307
 K11=6.54
 K12=0.20543
 K13=1.033
 K14=1.48
- C Isıtılmayan mahal sıcaklıklarının tesbiti
 $T11(I)=(K4 \cdot A2 \cdot 20) + (K7 \cdot A1 \cdot TD(I)) + 2 \cdot (K7 \cdot A4 \cdot TD(I)) + (K10 \cdot A3 \cdot TD(I))$
 $T12(I)=(K4 \cdot A2) + (K7 \cdot A1) + 2 \cdot (K7 \cdot A4) + (K10 \cdot A3)$
 $T1(I)=T11(I)/T12(I)$
 $T21(I)=K6 \cdot A6 \cdot 20 + K5 \cdot A5 \cdot 20 + K11 \cdot A7 \cdot TD(I) + 2 \cdot (K7 \cdot A8 \cdot TD(I))$
 $T22(I)=K6 \cdot A6 + K5 \cdot A5 + K11 \cdot A7 + 2 \cdot K7 \cdot A8$
 $T2(I)=T21(I)/T22(I)$
- C Zemin kat ısı yükü
 Q1=K12*22.04*(20-TD(I))
 Q2=K13*7.8*(20-TD(I))
 Q3=K14*3.6*(20-TD(I))
 Q4=K1*13.29*(20-TD(I))
 Q5=K14*3.6*(20-TD(I))
 Q6=K1*30.28*(20-TD(I))
 Q7=K14*1.2*(20-TD(I))
 Q8=K1*14.25*(20-TD(I))
 Q9=K5*20.32*(20-T2(I))
 Q10=4.4*4.5*(20-TD(I))
 Q11=0.9086*2.2*(20-TD(I))
 Q12=1.8172*2.2*(20-TD(I))
 Q13=0.9086*2.2*(20-TD(I))
 Q14=0.32*2.2*(20-TD(I))
 Q15=1.8172*2.2*(20-TD(I))
 Q16=K3*74.044*(20-TT(I))
 QZT=(Q1+Q2+Q3+Q4+Q5+Q6+Q7+Q8+Q9+Q10+Q11+Q12+Q13+Q14+Q15+Q16)
- C Zemin kat sızınltı kaybı

```

QZP1=6*2*3.5*0.9*0.58*1.2*(20-TD(I))
QZP2=8*0.9*0.58*1.2*(20-TD(I))
QZK=1.5*10.4*0.9*0.58*1.2*(20-TD(I))
QZS=QZP1+QZP2+QZK
QZTOP=QZT*1.15+QZS
C Sınıf ısı yükü hesabı
Q17=K1*15.71*(20-TD(I))
Q18=23.82*K4*(20-T1(I))
Q19=7.83*K8*(20-TD(I))
Q20=9.972*K6*(20-T2(I))
Q21=0.9086*2.2*(20-TD(I))
Q22=0.48*1.6*(20-TD(I))
QST=Q17+Q18+Q19+Q20+Q21+Q22
C Sınıf sızintı kaybı hesabı
QSS=4.384*(20-TD(I))
QSTOP=QST*1.15+QSS
C Bilgisayar odası ısı kaybı hesabı
Q23=13.39*K1*(20-TD(I))
Q24=9*K1*(20-TD(I))
Q25=5.4*K6*(20-T2(I))
Q26=12.9*K4*(20-T1(I))
Q27=4.26*K8*(20-TD(I))
Q28=3*1.6*(20-TD(I))
Q29=0.9086*2.2*(20-TD(I))
Q30=0.24*1.6*(20-TD(I))
QBT=Q23+Q24+Q25+Q26+Q27+Q28+Q29+Q30
C Bilgisayar odası sızintı kaybı hesabı
QBKS=5.26*(20-TD(I))
QBPS=4.38*(20-TD(I))
QBTOP=QBT*1.15+QBKS+QBPS
C Büro ısı kaybı hesabı
Q31=14.99*K1*(20-TD(I))
Q32=8.09*K1*(20-TD(I))
Q33=4.2*K6*(20-T1(I))
Q34=1.8172*2.2*(20-TD(I))
Q35=12.9*K4*(20-T1(I))
Q36=4.26*K8*(20-TD(I))
Q37=0.24*1.6*(20-TD(I))
Q38=1.6*3*(20-T2(I))
QBR=Q31+Q32+Q33+Q34+Q35+Q36+Q37+Q38
C Büro sızintı kaybı hesabı
QBRK=5.26*(20-T2(I))
QBRP=4.38*(20-TD(I))
QBRTOP=QBR*1.15+QBRK+QBRP
C Toplam bina ısı yükü
QTOP(I)=(QZTOP+QSTOP+QBRTOP+QBTOP)
C Bina sekiz saat ısıtılıyorsa işletme zammı
QTOP(I)=(QTOP(I)*4.18)/3.6
C Binanın UA'sıl W/°C
UA(I)=QTOP(I)/(20-TD(I))
WRITE (3,4) I,UA(I),TD(I),TT(I),QTOP(I)
4 FORMAT (I2,'.Ay',2X,'UA=' ,F6.2,1X,'W/ °C',2X,'TD=' ,
$F6.1,1X,'C',1X,'TT=' ,F6.1,1X,'C',2X,'QTOP=' ,F8.2,1X,'W')
10 CONTINUE
STOP
END

```

C Atmosfer dışı ve yer düzlemine güneş ışınımının doğuş ve batış saat açıları ile ışınlım C miktarlarını hesaplayan program (Işınım.for)

```

DIMENSION DI(200),DU(200),TOP(200)
  READ(5,*) RA,BET,N,I
  WRITE(6,130) BET
130 FORMAT('EGİK YÜZEYİN YATAYLA YAPTIĞI AÇI=',F10.4)
  PI=3.1415929794
  RAD=PI/180.
  FI=38.46666*RAD
  BET=BET*RAD
  DEK=360.*(284.+N)/365.
  DEK=23.45*SIN(DEK*RAD)
  W1=-TAN(FI)*TAN(DEK*RAD)
  W2=-TAN(FI-BET)*TAN(DEK*RAD)
  W1=-ATAN(W1/(SQRT(-W1*W1+1)))+(PI/2)
  W2=-ATAN(W2/(SQRT(-W2*W2+1)))+(PI/2)
  W1=W1/RAD
  W2=W2/RAD
  IF (W1.LT.W2) GO TO 28
  GO TO 32
28 W=W1
  GO TO 31
32 W=W2
31 DUZ=1353.*(1.+0.033*COS(RAD*360.*N/365.))
  A=SIN(DEK*RAD)*SIN(FI)*COS(BET)*2.*PI*W/360.
  B=SIN(DEK*RAD)*COS(FI)*SIN(BET)*2.*PI*W/360.
  C=COS(DEK*RAD)*COS(FI)*COS(BET)*SIN(W*RAD)
  E=COS(DEK*RAD)*SIN(W*RAD)*SIN(FI)*SIN(BET)
  EXTR=(24.*3600./PI)*DUZ*(A-B+C+E)*0.000001
  WRITE(6,2) I,W
  WRITE(6,3) W,EXTR
2 FORMAT(3X,I2,'.AY ICIN',3X,'WS=',F10.6,2X,'BAT'.)
3 FORMAT(15X,'-WS=-',F10.6,1X,'DOG',2X,'EXTR=',F10.7,1X,'MJ/M2-G')
C Saat açılarını yerel ve güneş saatine çevirme
  WK=-W+0.01
  K=1
200 BK=((360.*(N-81.)/364.)*RAD
  EK=9.87*SIN(2.*BK)-7.5*COS(BK)-1.5*SIN(BK)
  GSA=((WK*24.*RAD)/(2.*PI))+12.
  YSA=GSA+(4./60.)*(45.-35.29)-(EK/60.)
  TETZ=(SIN(FI)*SIN(DEK*RAD)+COS(FI)*COS(DEK*RAD)*COS(WK*RAD))
C TET=ACOS(COS(TETZ)*COS(BET)+SIN(TETZ)*SIN(BET))
  TET=(SIN(DEK*RAD)*SIN(FI)*COS(BET)-SIN(DEK*RAD)*COS(FI)*
  $SIN(BET)*COS(GA)+COS(DEK*RAD)*COS(FI)*COS(BET)*COS(WK*RAD)+COS(DEK*
  $RAD)*COS(WK*RAD)*SIN(FI)*SIN(BET)*COS(GA))
C Gözlemcinin bulunduğu yere gelen düfüz ve direk güneş ışınlımı
  AY=RA/1000.
  A0Y=0.4237-0.00821*(6.-AY)*(6.-AY)
  A1Y=0.5055+0.00595*(6.5-AY)*(6.5-AY)
  YKY=0.2711+0.001858*(2.5-A)*(2.5-AY)
  IF((I.LT.4).OR.(I.GT.10)) GO TO 25
  R0=0.97
  R1=0.99
  RK=1.02
  GO TO 30
25 R0=1.03
  R1=1.01

```

```
RK=1.00
30 A0=A0Y*R0
  A1=A1Y*R1
  AK=YKY*RK
  US=AK/(TETZ)
  TO1=A0+A1*EXP(-US)
  DI(K)=DUZ*TO1*(TET)
  TO2=0.2710-0.2939*TO1
  DU(K)=DUZ*TO2*(TET)
  TOP(K)=DI(K)+DU(K)
  WRITE(6,131) WK,TET1,YSA,GSA,DI(K),DU(K),TOP(K)
131 FORMAT('W=',F7.2,2X,'TET=',F7.2,2X,'YERL=',F6.2,2X,'GUNS=',F6.2
$,2X,'DIR=',F10.4,2X,'DUF=',F10.4,2X,'TOP=',F10.4)
  WK=WK+2.50
  K=K+1
  IF(-W.LE.WK.AND.WK.LE.W) GO TO 200
  TDI=0
  TDU=0
  TTOP=0
  DO 55 J=1,K
    TDI=TDI+DI(J)*0.6
    TDU=TDU+DU(J)*0.6
55 TTOP=TTOP+TOP(J)*0.6
  WRITE(6,500) TDI,TDU,TTOP
500 FORMAT(2X,'TOP DIREK=',F12.3,/,2X,'TOP DUFUZ=',F12.3,
+/,2X,'TOP=',F12.3,2X,'KJ/M2GUN')
  STOP
END
```

Ek-5

**** BU PROGRAM GERÇEK DATA LARLA GÜNEŞ EVİNİN ISI BLANÇOSUNU ÇIKARIR ****
 *****MCD.FOR*****

```

REAL MD,MEV,MS
DIMENSION T1(200),T2(200),T3(200),T4(200),T5(200),T6(200),T7(200)
DIMENSION T8(200),T9(200),T10(200),T11(200),T12(200),T13(200)
DIMENSION T14(200),T15(200),T16(200),T17(200),T18(200),T19(200)
DIMENSION T20(200),T21(200),T22(200),T23(200),T24(200),T25(200)
DIMENSION T26(200),T27(200),T28(200),TKC(200),TKG(200),TKGC(200)
DIMENSION N1(200),N2(200),N3(200),N4(200),QG(200),ELK(200),TE(200)
DIMENSION QC(200),QDC(200),UEV(200),UDE(200),QEV(200),QKEV(200)
DIMENSION QG2(200),QG1(200),TDOR(200),TE1(200),TE2(200)
DIMENSION QCC(200),QCD(200),QDK(200),QHE(200),QSE(200),QKA(200)
DIMENSION QKKA(200),QSS(200),TYG(200),TYC(200)
DIMENSION QYC(200)
K=143
WRITE(4,98)
WRITE(6,99)
98 FORMAT('Adm',T10,'Qgd',T21,'Qgc',T33,'Qg',T43,'Qcc',T54,'Qdc',T65,
+ 'Qc',T76,'Qhe',T87,'Qse',T98,'Ude',T109,'Uev')
99 FORMAT('Adm',T10,'Qev',T21,'Qkev',T32,'Qkka',T44,'Qss',T55,'Qyc'
+ ,T65,'Qdc',T76,'ELK')
WRITE(5,97)
97 FORMAT(T3,'Tkg',T9,'Tkgc',T15,'Tkc',T21,'Te1sg',T27,'Te1sc',T33,
+ 'Te1hg',T39,'Te1hc',T45,'Tdis',T51,'Tssc',T57,'Tssg',T63,'FONK',
+ ,T70,'Tdor',T76,'Ms lt/d',T85,'Tklg',T91,'Tklc',T97,'Te2sg',T103,
+ 'Te2sc',T109,'Te3sg',T115,'Te3sc',T121,'Tev')
DO 100 I=1,K
C 1 DEN 14 E KADAR SICAKLIKLARI OKU *.R00 DOSYASINDAN
READ(1,5)T1(I),T2(I),T3(I),T4(I),T5(I),T6(I),T7(I),T8(I),T9(I),
+ T10(I),T11(I),T12(I),T13(I),T14(I)
C 15 DEN 28 E KADAR SICAKLIKLARI OKU *.R01 DOSYASINDAN
READ (2,5) T15(I),T16(I),T17(I),T18(I),T19(I),T20(I),T21(I),
+ T22(I),T23(I),T24(I),T25(I),T26(I),T27(I),T28(I)
C 2 DEN 4 E KADAR ISINIMLARI OKU *.R02 DOSYASINDAN
READ(3,15) N2(I),N3(I),N4(I)
T5(I)=T5(I)-1.3
C CATI KOL. TOPLAM ALANI (m2)
A2=95.78
C DUVAR KOLLEKTORLERI TOPLAM ALANI (m2)
A1=32.8426
C KOLLEKTOR DEBISI (m3/Sn)
V1=1.41
C EV HAVASI DEBISI (m3/sn)
V2=0.7
C E1 ESANJORU SU DEBISI (m3/Sn)
V3=2.224/3600.
C E2 ESANJORU SU DEBISI
V4=1./3600.
C DEPOLAMA TANKI HACMI (m3)
MD=5
C EV HACMI (m3)
MEV=432
C YARDIMCI ISITICI ESANJORU SU DEBISI
V5=1./3600.
C SERVİS SUYU DEBISI(m3/SN)
MS=(T24(I)/1800000)
C KOLLEKTOR FANI MOTORU GÜCÜ (W)
QF1=3000.

```

C EV FANI MOTOR GÜCÜ (W)
QF2=1100.

C KOLLEKTOR ESANJORU DEVRIDAIM POMPASI GÜCÜ (W)
QD1=175.

C KLİMA ESANJORU DEVRIDAIM POMPASI GÜCÜ (W)
QD2=100.

C DATA TOPLAM ADIMI (sn)(10 DAKİKALIK ADIMLARLA)
DT=0.604

*****Akışkan Özellikleri*****

C ÇATI KOLLEKTORLERİ ÇIKIŞ SICAKLIĞI ORTALAMASI (C)
TKC(I)=T1(I)

C DUVAR KOLLEKTORLERİ ÇIKIŞ, ÇATI KOLLEKTÖRLERİ GİRİŞ
TKGC(I)=(T8(I)+T9(I))/2.

C DUVAR KOLLEKTORLERİ GİRİŞ SICAKLIK ORTALAMASI (C)
TKG(I)=T12(I)

C ÇATI KOLLEKTOR ORTALAMA SICAKLIĞI (C)
TCKOR=(TKC(I)+TKGC(I))/2.

C DUVAR KOLLEKTÖRLERİ ORTALAMA SICAKLIĞI
TDKOR=(TKG(I)+TKGC(I))

C E1 ESANJORDE ORTALAMA SU SICAKLIĞI
TE1S=(T18(I)+T19(I))/2.

C E1 ESANJORDEKİ HAVANIN ORTALAMA SICAKLIĞI
TE1H=(T16(I)+T17(I))/2.

C ÇATI KOLLEKTOR HAVASI RO SU VE DEBİSİ
RHKC=(313.76/(TCKOR+273.))^{1.08}

C DUVAR KOLLEKTORU HAVASI ROSU
RHKD=(313.76/(TDKOR+273.))^{1.08}

C E1 ESANJOR GİRİŞ ÇIKIŞ ORTALAMASI SICAKLIĞINDA HAVANIN RO SU VE DEBİSİ
RE1H=(313.76/(TE1H+273.))^{1.08}

C ESANJOR GİRİŞ-ÇIKIŞ ORTALAMASI SICAKLIĞINDA SUYUN RO SU VE DEBİSİ
RE1S=988.

C ÇATI KOLLEKTOR ORTALAMA SICAKLIĞINDA HAVANIN CP Sİ
CPHCK=(28.016+0.19665*((TCKOR+273)/100.))+0.048023*(((TCKOR
\$+273.)/100.))²-0.0019661*(((TCKOR+273)/100.))³)*1000/28.97

C DUVAR KOLLEKTOR ORTALAMA SICAKLIĞINDA HAVANIN CP Sİ
CPHDK=(28.016+0.19665*((TDKOR+273)/100.))+0.048023*(((TDKOR
\$+273.)/100.))²-0.0019661*(((TDKOR+273)/100.))³)*1000/28.97

C KANAL ORTALAMA SICAKLIĞI
TKA=(TKC(I)+T16(I))/2

C KANAL ORTALAMA SICAKLIĞINDA HAVANIN RO SU VE DEBİSİ
RHKA=(313.76/(TKA+273.))^{1.08}

C KANAL HAVA ORTALAMA SICAKLIĞINDA HAVANIN CP Sİ
CPHKA=(28.016+0.19665*((TKA+273)/100.))+0.048023*(((TKA
\$+273.)/100.))²-0.0019661*(((TKA+273)/100.))³)*1000/28.97

C ESANJOR GİRİŞ ÇIKIŞ ORTALAMASINDA HAVANIN CP Sİ
CPE1H=(28.016+0.19665*((TE1H+273)/100.))+0.048023*(((TE1H
\$+273.)/100.))²-0.0019661*(((TE1H+273)/100.))³)*1000/28.97

C ESANJOR GİRİŞ-ÇIKIŞ SICAKLIĞINDA SUYUN CP Sİ
CPE1S=4180.

C EVİN ORTALAMA SICAKLIĞI (C)
TE(I)=T27(I)

TE(0)=TE(1)
TDOR(0)=TDOR(1)

C RO EV
REV=(313.76/(TE(I)+273.))^{1.08}

C DEPO SICAKLIĞI ORTALAMASI
TDOR(I)=(T25(I)+T26(I)+T22(I)+T23(I))/4.

TDOR(0)=TDOR(1)

C EV SICAKLIĞINDA HAVANIN CP Sİ
CPEV=(28.016+0.19665*((TE(I)+273.)/100.))+0.048023*(((TE(I)+273.)/

- +100.)**2)-0.0019661*(((TE(I)+273.)/100.)**3))*1000/28.97
- C ESANJOR GIRIS-CIKIS SICAKLIGINDA SUYUN CP SI
CPE1S=4180.
- C DEPO ORTALAMA SICAKLIGINDA SUYUN CP SI
CPDS=4180.
- C DEPO SICAKLIGINDA SUYUN RO SU
RDS=988.
- C EV SICAKLIGINDA HAVANIN RO SU
REH=(313.76/(TE(I)+273))*1.08
- C E2 DE SUYUN ORTALAMA SICAKLIGI
TE2S=(T11(I)+T28(I))/2.
- C E2 DE SUYUN RO SU
RE2S=988.
- C E2 DE SUYUN CP SI
CPE2S=4180.
- C E2 DE HAVANIN ORTALAMA SICAKLIGI
TE2H=(T13(I)+T15(I))/2.
- C E2 DE HAVANIN RO SU
RE2H=(313.76/(TE2H+273))*1.08
- C E2 DE HAVANIN CP SI
CPE2H=(28.016+0.19665*((TE2H+273)/100.))+0.048023*(((TE2H
++273.)/100.)**2)-0.0019661*(((TE2H+273)/100.)**3))*1000/28.97
- C SERVİS SUYUNUN CP SI
CPSS=4180.
- C SERVİS SUYU SICAKLIGINDA SUYUN RO SU)*1000/18.015
RSS=988.
- C YARDIMCI ISITICI SU SICAKLIGINDA SUYUN CP SI
CPY=4180.
- C YARDIMCI ISITICI SUYUN RO SUYUN RO SU
RYS=988
- C E3 DE SUYUN ORTALAMA SICAKLIGI
TE3S=(T10(I)+T14(I))/2.
- C E3 DE SUYUN RO SU
RE2S=988.
- C E3 DE SUYUN CP SI
CPE3S=4180.
- C E3 DE HAVANIN ORTALAMA SICAKLIGI
TE3H=(T13(I)+T15(I))/2.
- C E3 DE HAVANIN RO SU
RE3H=(313.76/(TE3H+273.))*1.08
- C E3 DE HAVANIN CP SI
CPE3H=(28.016+0.19665*((TE3H+273)/100.))+0.048023*(((TE3H
++273.)/100.)**2)-0.0019661*(((TE3H+273)/100.)**3))*1000/28.97
- C GÜNEŞTEN GELEN IŞINIM DİK VE EĞİK DÜZLEMLERE(J)
QG2(I)=A2*N2(I)*DT
QG1(I)=A1*N3(I)*DT
QG(I)=QG2(I)+QG1(I)
- C SİSTEMİN HANGİ MODDA ÇALIŞTIĞININ BELİRLENMESİ
IF(T6(I).LE.10) GO TO 10
IF(T2(I).LE.10) GO TO 20
IF(T7(I).LE.10) GO TO 30
IF(T4(I).LE.10) GO TO 40
IF(T3(I).LE.10) GO TO 50
FONK=0
- C DEPONUN İÇ ENERJİSİNDEKİ DEĞİŞME
TDOR(0)=TDOR(1)
UDE(I)=MD*RDS*CPDS*(TDOR(I)-TDOR(I-1))*0.001
- C EVİN İÇ ENERJİSİNDEKİ DEĞİŞME
TE(0)=TE(1)
UEV(I)=MEV*REV*CPEV*(TE(I)-TE(I-1))*0.001

C DEPO KAYBI
 $QDK(I) = -UDE(I)$
 C EV KAYBI
 $QKEV(I) = QDK(I) - UEV(I)$
 C EVE VERİLEN ENERJİ SİSTEM ÇALIŞMAZKEN DEPO KAYBIDIR
 $QEV(I) = QDK(I)$
 GO TO 101
 ***** DİREK KOLLEKTORDEN EV ISITMA MODU *****

 10 FONK=10
 C CATI KOLLEKTÖRÜNDEN ÇEKİLEN (J)
 $V2 = 0.430$
 $QCC(I) = RHKC * V2 * CPHCK * (TKC(I) - TKGC(I)) * DT$
 C DUVAR KOLLEKTÖRÜNDEN ÇEKİLEN (J)
 $QCD(I) = RHKD * V2 * CPHDK * (TKGC(I) - TKG(I)) * DT$
 C KOLLEKTORLERDEN ÇEKİLEN ENERJİ
 $QC(I) = QCC(I) + QCD(I)$
 C DEPONUN İÇ ENERJİSİNDEKİ DEĞİŞME
 $TDOR(0) = TDOR(1)$
 $UDE(I) = MD * RDS * CPDS * (TDOR(I) - TDOR(I-1)) * 0.001$
 C DEPO KAYBI
 $QDK(I) = -UDE(I)$
 C EVE VERİLEN ENERJİ (J)
 $QEV(I) = QC(I) * 0.97 + QDK(I)$
 C BU MOD İÇİN HARCANAN ENERJİ (J)
 $ELK(I) = (QF1 + QF2) * DT$
 C EVİN İÇ ENERJİSİNDEKİ DEĞİŞME
 $TE(0) = TE(1)$
 $UEV(I) = MEV * REV * CPEV * (TE(I) - TE(I-1)) * 0.001$
 C BİNA ISI KAYBI
 $QKEV(I) = QEV(I) - UEV(I)$
 GO TO 101
 ***** SUYA ENERJİ DEPOLAMA MODU *****

 20 FONK=20
 C CATI KOLLEKTÖRÜNDEN ÇEKİLEN (J)
 $QCC(I) = RHKC * V1 * CPHCK * (TKC(I) - TKGC(I)) * DT$
 C DUVAR KOLLEKTÖRÜNDEN ÇEKİLEN (J)
 $QCD(I) = RHKD * V1 * CPHDK * (TKGC(I) - TKG(I)) * DT$
 C KOLLEKTORLERDEN ÇEKİLEN ENERJİ
 $QC(I) = QCC(I) + QCD(I)$
 C E1 ESANJORDE HAVANIN ATTIGI ENERJİ
 $QHE(I) = RE1H * V1 * CPE1H * (T16(I) - T17(I)) * DT$
 C E1 ESANJORDE SUYUN ALDIGI ENERJİ
 $QSE(I) = RE1S * V3 * CPE1S * (T18(I) - T19(I)) * DT$
 C KANALLARDA KAYBOLAN ENERJİ
 $QKA(I) = RHKA * V1 * CPHKA * (TKC(I) - T16(I)) * DT$
 $QKA(I) = QKA(I) + RHKA * V1 * CPHKA * (T17(I) - TKG(I)) * DT$
 C KANAL VE ESANJÖRLERDE KAYBOLAN ENERJİ
 $QKKA(I) = QKA(I) + (QHE(I) - QSE(I))$
 C BU MODDA HARCANAN ELEKTİRİK ENERJİSİ
 $ELK(I) = (QF1 + QD1) * DT$
 C DEPONUN İÇ ENERJİSİNDEKİ DEĞİŞME
 $TDOR(0) = TDOR(1)$
 $UDE(I) = MD * RDS * CPDS * (TDOR(I) - TDOR(I-1)) * 0.001$
 C DEPO KAYBI
 $QDK(I) = QSE(I) - UDE(I)$
 C EVE AKTARILAN ENERJİ
 $QEV(I) = QKKA(I) * 0.97 + QDK(I)$
 C EVİN İÇ ENERJİSİNDEKİ DEĞİŞME

TE(0)=TE(1)
UEV(I)=MEV*REV*CPEV*(TE(I)-TE(I-1))*0.001

C BINA ISI KAYBI

QKEV(I)=QEV(I)-UEV(I)

GO TO 101

***** ISI DEPOSUNDAN EV ISITMA MODU *****

30 FONK=30

V2=0.860

C BU MODDA HARCANAN ELEKTIRIK ENERJİ

ELK(I)=(QF2+QD2)*DT

C DEPODAN CEKILEN ENERJİ

QDC(I)=RE2S*V4*CPE2S*(T13(I)-T15(I))*DT

C DEPONUN İÇ ENERJİSİNDEKİ DEĞİŞME

TDOR(0)=TDOR(1)

UDE(I)=MD*RDS*CPDS*(TDOR(I)-TDOR(I-1))*0.001

C EV HAVASINA VERİLEN ENERJİ

QEV(I)=RE2H*V2*CPE2H*(T13(I)-T15(I))*DT

QDK(I)=-UDE(I)-QDC(I)

QEV(I)=QEV(I)+QDK(I)

C EVİN İÇ ENERJİSİNDEKİ DEĞİŞME

TE(0)=TE(1)

UEV(I)=MEV*REV*CPEV*(TE(I)-TE(I-1))*0.001

C BINA ISI KAYBI

QKEV(I)=QEV(I)-UEV(I)

GO TO 101

***** YARDIMCI ISITICIDAN EV ISITMA *****

40 FONK=40

V2=0.860

C BU MODDA HARCANAN ELEKTIRIK ENERJİ

ELK(I)=(QF2)*DT

C YARDIMCI ISITICI DEVRESİNDEN CEKILEN ENERJİ

QYC(I)=RE3I*V2*CPE3H*(T13(I)-T15(I))*DT

C DEPONUN İÇ ENERJİSİNDEKİ DEĞİŞME

TDOR(0)=TDOR(1)

UDE(I)=MD*RDS*CPDS*(TDOR(I)-TDOR(I-1))*0.001

C EV HAVASINA VERİLEN ENERJİ

QEV(I)=QYC(I)-UDE(I)

C EVİN İÇ ENERJİSİNDEKİ DEĞİŞME

TE(0)=TE(1)

UEV(I)=MEV*REV*CPEV*(TE(I)-TE(I-1))*0.001

GO TO 101

***** SICAK SU HAZIRLAMA MODU *****

50 FONK=50

C CATI KOLLEKTÖRÜNDEN CEKILEN (J)

QCC(I)=RHKC*V1*CPHCK*(TKC(I)-TKGC(I))*DT

C DUVAR KOLLEKTÖRÜNDEN CEKILEN (J)

QCD(I)=RHKD*V1*CPHDK*(TKGC(I)-TKG(I))*DT

C KOLLEKTORLERDEN CEKILEN ENERJİ

QC(I)=QCC(I)+QCD(I)

C E1 ESANJORDE HAVANIN ATTIGI ENERJİ

QHE(I)=RE1H*V1*CPE1H*(T16(I)-T17(I))*DT

C E1 ESANJORDE SUYUN ALDIGI ENERJİ

QSE(I)=RE1S*V3*CPE1S*(T18(I)-T19(I))*DT

C BU MODDAKİ HARCANAN ELEKTIRIK ENERJİSİ

ELK(I)=(QF1+QD1)*DT

C KANALLARDA KAYBOLAN ENERJİ

QKA(I)=RHKA*V1*CPHKA*(TKC(I)-T16(I))*DT

```

      QKA(I)=QKA(I)+RiHKA*V1*CPHKA*(T17(I)-TKG(I))*DT
C   KANAL VE EŞANJÖRLERDE KAYBOLAN ENERJİ
      QKKA(I)=QKA(I)+(QHE(I)-QSE(I))
C   SERVİS SUYU İLE ÇEKİLEN ENERJİ
      QSS(I)=MS*RSS*CPSS*(T20(I)-T21(I))*DT
C   DEPONUN İÇ ENERJİSİNDEKİ DEĞİŞME
      TDOR(0)=TDOR(1)
      UDE(I)=MD*RDS*CPDS*(TDOR(I)-TDOR(I-1))*0.001
C   DEPO KAYBI
      QDK(I)=QSE(I)-QSS(I)-UDE(I)
C   EVİN İÇ ENERJİSİNDEKİ DEĞİŞME
      TE(0)=TE(1)
      UEV(I)=MEV*REV*CPEV*(TE(I)-TE(I-1))*0.001
***** YAZDIRMA İŞLEMLERİ *****
*****

101 WRITE(4,22) I,QG1(I),QG2(I),QG(I),QCC(I),QCD(I),QC(I),QHE(I),
+QSE(I),UDE(I),UEV(I)
      WRITE(6,22) I,QEV(I),QKEV(I),QKKA(I),QSS(I),QYC(I),
+QDC(I),ELK(I)
22 FORMAT(I3,1X,17(F10.1,1X))
      MS=MS*1000*60
      WRITE(5,200) TKG(I),TKGC(I),TKC(I),T19(I),T18(I),T16(I),T14(I),
+T5(I),T20(I),T21(I),FONK,TDOR(I),MS,T15(I),T13(I),T11(I),T28(I),
+T10(I),T14(I),T27(I)
200 FORMAT(11F6.1,2X,F6.1,F6.3,,2X,7F6.1)
5 FORMAT(14F7.1)
15 FORMAT(6x,3I6)
100 CONTINUE
DO 6 I=2,K-2
      TQG=TQG+QG(I)
      TQC=TQC+QC(I)
      TQHE=TQHE+QHE(I)
      TQSE=TQSE+QSE(I)
      TQEV=TQEV+QEV(I)
      TQKKA=TQKKA+QKKA(I)
      TQSS=TQSS+QSS(I)
      TQYC=TQYC+QYC(I)
      TQDC=TQDC+QDC(I)
      TELK=TELK+ELK(I)
      TQKEV=TQKEV+QKEV(I)
      TQDK=TQDK+QDK(I)
      TUDE=TUDE+UDE(I)
      TUEV=TUEV+UEV(I)
6 CONTINUE
      WRITE(4,1000) TQG,TQC,TQHE,TQSE,TUDE,TUEV,TQEV,TQKEV,
+TQKKA,TQSS,TQYC,TQDC,TQDK,TELK
1000 FORMAT (2X,'TQG=',F12.2,'KJ',/,2X,'TQC=',F12.2,'KJ',/,2X,'TQHE=',
+$.F11.2,'KJ',/,2X,'TQSE=',F11.2,'KJ',/,2X,'TUDE=',F11.2,'KJ',
+$.F11.2,'KJ',/,2X,'TQEV=',F11.2,'KJ',/,2X,'TQKEV=',
+$.F10.2,'KJ',/,2X,'TQKKA=',F10.2,'KJ',/,2X,'TQSS=',F11.2,'KJ',/,2X,
+'$TQYC=',F11.2,'KJ',/,2X,'TQDC=',F11.2,'KJ',/,2X,'TQDK=',F11.2,
+'$KJ',/,2X,'TELK=',F11.2,'KJ')
      STOP
      END

```

Y. G. TÜRKER ÖĞR. İZ. KULÜBÜ
DOKÜMAN TAYYİN MERKEZİ

C BU PROGRAM GERÇEK DATALARLA KOLLEKTÖR VERİM EĞRİSİNİ ÇIKARIR

```

*****VERİM.FOR*****
DIMENSION T1(150),T2(150),T3(150),T4(150),T5(150),T6(150),T7(150)
DIMENSION T8(150),T9(150),T10(150),T11(150),T12(150),T13(150)
DIMENSION T14(150),T15(150),T16(150),T17(150),T18(150),T19(150)
DIMENSION T20(150),T21(150),T22(150),T23(150),T24(150),T25(150)
DIMENSION T26(150),T27(150),T28(150),N1(150),N2(150),N3(150)
DIMENSION N4(150),TKC(150),TKG(150),TKGC(150),QGC(150),QG(150)
DIMENSION QGD(150),QHC(150),QHD(150),VERC(150),VERD(150)
DIMENSION AKC(150),AKD(150)
READ(*,*) K
WRITE(4,96)
96 FORMAT('T1',I,'T8','VERD',T16,'AKD',T24,'VERC',T34,'AKC',T43,'Tdis',
+T51,'leg',T57,'Idik',/)
DO 10 I=1,K
  READ(1,20)T1(I),T2(I),T3(I),T4(I),T5(I),T6(I),T7(I),T8(I),T9(I),
+T10(I),T11(I),T12(I),T13(I),T14(I)
  READ(2,20) T15(I),T16(I),T17(I),T18(I),T19(I),T20(I),T21(I),
+T22(I),T23(I),T24(I),T25(I),T26(I),T27(I),T28(I)
  READ(3,21) N2(I),N3(I),N4(I)
  IF(T28(I).GT.10) GO TO 10
C CATI KOL. TOPLAM ALANI (m2)
AC=95.78
C DUVAR KOLLEKTORLERI TOPLAM ALANI (m2)
AD=32.8426
C KOLLEKTOR DEBISI (m3/Sn)
V1=1.73
*****Akışkan Özellikleri*****
C CATI KOLLEKTORLERI ÇIKIS SICAKLIĞI ORTALAMASI (C)
TKC(I)=(T1(I)+T2(I)+T3(I)+T4(I))/4.
C DUVAR KOLLEKTORLERI ÇIKIŞ, ÇATI KOLLEKTÖRLERİ GİRİŞ
TKGC(I)=(T8(I)+T9(I)+T10(I)+T11(I))/4
C DUVAR KOLLEKTORLERI GİRİS SICAKLIK ORTALAMASI (C)
TKG(I)=(T12(I)+T13(I)+T14(I)+T15(I))/4.
C ÇATI KOLLEKTOR ORTALAMA SICAKLIĞI (C)
TKOR=(TKC(I)+TKGC(I))/2.
C DUVAR KOLLEKTÖRLERİ ORTALAMA SICAKLIĞI
TDKOR=(TKG(I)+TKGC(I))
C CATI KOLLEKTOR HAVASI RO SU VE DEBISI
RHKC=(313.76/(TKCOR+273.))**1.08
C DUVAR KOLLEKTORU HAVASI ROSU
RHKD=(313.76/(TDKOR+273.))**1.08
C CATI KOLLEKTOR ORTALAMA SICAKLIĞINDA HAVANIN CP SI
CPCHK=(28.016+0.19665*((TKCOR+273)/100.))+0.048023*(((TKCOR
$+273.)/100.)**2)-0.0019661*(((TKCOR+273)/100.))**3)*1000/28.97
C DUVAR KOLLEKTOR ORTALAMA SICAKLIĞINDA HAVANIN CP SI
CPHDK=(28.016+0.19665*((TDKOR+273)/100.))+0.048023*(((TDKOR
$+273.)/100.)**2)-0.0019661*(((TDKOR+273)/100.))**3)*1000/28.97
*****
C GUNESTEN GELEN ISINIM DIK VE EGIK DUZLEMLERE (W)
C N2 CATIYA, N3 DUVARA, N4 YATAY DUZ
IF(N2(I).LT.600) GO TO 12
C CATI KOLLEKTORLERINE GELEN TOPLAM RADYASYON
QGC(I)=N2(I)*AC
C SISTEME GELEN TOPLAM RADYASYON (W)
QG(I)=QGC(I)+QGD(I)

```

```

C CATIDAN HAVAYLA CEKILEN ENERJILER (W)
  QHC(I)=RHKC*V1*CPHCK*(TKC(I)-TKGC(I))
C CATI KOLLEKTORLERI VERIMLERI
  VERC(I)=QHC(I)/QGC(I)
C CATI ISLETME NOKTASI PARAMETRESI (C M2/KW)
  AKC(I)=((TKGC(I)-T5(I))/N2(I))*1000
  IF(N3(I).LT.600) GO TO 12
C DUVAR KOLLEKTORUNE GELEN TOPLAM RADYASYON
  QGD(I)=N3(I)*AD
C DUVARDAN HAVA ILE CEKILEN ENERJİ (W)
  QHD(I)=RHKD*V1*CPHDK*(TKGC(I)-TKG(I))
C DUVAR VERIMLERI
  VERD(I)=QHD(I)/QGD(I)
C DUVAR ISLETME NOKTASI PARAMETRESI
  AKD(I)=((TKG(I)-T5(I))/N3(I))*1000
12 WRITE(4,22) I,VERD(I),AKD(I),VERC(I),AKC(I),T5(I),N2(I),N3(I)
22 FORMAT(I3,2X,F7.4,2X,F8.3,2X,F7.4,2X,F7.3,2X,F6.2,2I6)
C DEGERLERIN YAZDIRILMASI
10 CONTINUE
20 FORMAT(14F7.1)
21 FORMAT(6X,3F7.1)
STOP
END

```

Ek-7

C KAYSERİ DE KURULU ERCİYES GÜNEŞ EVİNİN SİMÜLASYONUNU YAPAR
 *****SIM1.FOR*****

```

    DIMENSION DI(200),DU(200),TOGC(200),TOUC(200),TD(12),N(12)
    DIMENSION BET(2),TOGD(200),TOUD(200),TOG(200),TTQG(12),TTQU(12)
    DIMENSION QTOP(12),UA(12),GM(12),FARK(12),TTQUD(12),TTQGD(12)
    DIMENSION TTQUC(12),TTQGC(12)
    OPEN(1,FILE='DAT',STATUS='OLD')
    OPEN(6,FILE='SON',STATUS='NEW')
    OPEN(7,FILE='SON1',STATUS='NEW')
    WRITE(7,132)
132 FORMAT(2X,'AY',T9,'QG',T19,'QU',T29,'QEV',T39,'FARK',T50,'QUID',
  +T58,'QGD',T68,'QUC',T78,'QGC')
    DO 17 I=1,12
    READ (1,15) TD(I),GM(I),N(I),UA(I)
15 FORMAT (F6.1,F6.3,I6,F6.2)
    BET(1)=42
    BET(2)=90
    DO 16 L=1,2
    RA=1060
    WRITE(6,130) BET(L)
130 FORMAT('EGIK YUZEYIN YATAYLA YAPTIGI ACI'=.F10.4)
    PI=3.1415929794
    RAD=PI/180.
    FI=38.46666*RAD
    BET(L)=BET(L)*RAD
    DEK=360.*(284.+N(I))/365.
    DEK=23.45*SIN(DEK*RAD)
    W1=-TAN(FI)*TAN(DEK*RAD)
    W2=-TAN(FI-BET(L))*TAN(DEK*RAD)
    W1=-ATAN(W1/(SQRT(-W1*W1+1)))+(PI/2)
    W2=-ATAN(W2/(SQRT(-W2*W2+1)))+(PI/2)
    W1=W1/RAD
    W2=W2/RAD
    IF (W1.LT.W2) GO TO 28
    GO TO 32
28 W=W1
    GO TO 31
32 W=W2
31 DUZ=1353.*(1.+0.033*COS(RAD*360.*N(I)/365.))
    A=SIN(DEK*RAD)*SIN(FI)*COS(BET(L))*2.*PI*W/360.
    B=SIN(DEK*RAD)*COS(FI)*SIN(BET(L))*2.*PI*W/360.
    C=COS(DEK*RAD)*COS(FI)*COS(BET(L))*SIN(W*RAD)
    E=COS(DEK*RAD)*SIN(W*RAD)*SIN(FI)*SIN(BET(L))
    EXTR=(24.*3600./PI)*DUZ*(A-B+C+E)*0.000001
    WRITE(6,2) I,W
    WRITE(6,3) W,EXTR
2 FORMAT(3X,I2,'.AY ICIN',3X,'WS'=.F10.6,2X,'BAT'.)
3 FORMAT(15X,'-WS'=.F10.6,1X,'DOG',2X,'EXTR'=.F10.7,1X,'MJ/M2-G')
C SAAT ACISINI YEREL VE GUNES SATINE CEVIRME CEVIRME
WK=W+0.01
K=1
200 BK=((360.*(N(I)-81.))/364.)*RAD
EK=9.87*SIN(2.*BK)-7.5*COS(BK)-1.5*SIN(BK)
GSA=((WK*24.*RAD)/(2.*PI))+12.
YSA=GSA+(4./60.)*(45.-35.29)-(EK/60.)
TETZ=(SIN(FI)*SIN(DEK*RAD)+COS(FI)*COS(DEK*RAD)*COS(WK*RAD))
C TET=ACOS(COS(TETZ)*COS(BET(L))+SIN(TETZ)*SIN(BET(L)))
TET=(SIN(DEK*RAD)*SIN(FI)*COS(BET(L))-SIN(DEK*RAD)*COS(FI)*

```

```

SSIN(BET(L))*COS(GA)+COS(DEK*RAD)*COS(FI)*COS(BET(L))*COS(WK*RAD)
S+COS(DEK* RAD)*COS(WK*RAD)*SIN(FI)*SIN(BET(L))*COS(GA))
C GOZLEMCININ BULUNDUGU YERE GELEN DUFUZ VE DIREK GUNES ISISIMI
AY=RA/1000.
A0Y=0.4237-0.00821*(6.-AY)*(6.-AY)
A1Y=0.5055+0.00595*(6.5-AY)^(5.5-AY)
YKY=0.2711+0.001858*(2.5-A)*(2.5-AY)
IF((L.T.4).OR.(L.GT.10)) GO TO 25
R0=0.97
R1=0.99
RK=1.02
GO TO 30
25 R0=1.03
R1=1.01
RK=1.00
30 A0=A0Y*R0
A1=A1Y*R1
AK=YKY*RK
US=AK/(TETZ)
TO1=A0+A1*EXP(-US)
DI(K)=DUZ*TO1*(TET)
TO2=0.2710-0.2939*TO1
DU(K)=DUZ*TO2*(TET)
TQG(K)=DU(K)+DI(K)
*****IZAFI GUNESLENME MUDETI DIKKATE ALINDI*****
TQG(K)=TQG(K)*GM(I)
IF(TD(I).LT.18) GO TO 39
AINP=(35-TD(I))/(TQG(K)*0.001)
GO TO 38
39 AINP=(20-TD(I))/(TQG(K)*0.001)
38 IF(BET(L).GT.1.047) GO TO 41
***** ÇATI KOLLEKTÖRÜ ENERJİ BİLANÇOSU*****
TQGD(K)=0
TQUD(K)=0
VER=0.5758-0.0035*AINP
TQGC(K)=TQG(K)
TTQGC(I)=TTQGC(I)+(TQGC(K))*0.6*95.78*0.001
IF(VER.LT.0) GO TO 92
TQUC(K)=TQGC(K)*VER
TTQUC(I)=TTQUC(I)+(TQUC(K))*0.6*95.78*0.001
GO TO 92
***** DUVAR KOLLEKTÖRÜ ENERJİ BİLANÇOSU*****
41 TQGD(K)=0
TQUC(K)=0
VER=0.9911-0.0159*AINP
TQGD(K)=TQG(K)
TTQGD(I)=TTQGD(I)+(TQGD(K))*0.6*32.85*0.001
IF(VER.LT.0) GO TO 92
TQUD(K)=TQGD(K)*VER
TTQUD(I)=TTQUD(I)+(TQUD(K))*0.6*32.85*0.001
*****
92 WRITE(6,131) VER,YSA,GSA,TQGC(K),TQUC(K),TQGD(K),TQUD(K)
131 FORMAT('VER=',F5.2,2X,'YERL.',F6.2,2X,'GUNS:',F6.2
$ ,2X,'QGC=',F7.2,2X,'QUC=',F7.2,2X,'QGD=',F7.2,2X,'QUD=',F7.2
$, 'W/m2')
WK=WK+2.50
K=K+1
IF(-W.LE.WK.AND.WK.LE.W) GO TO 200
16 CONTINUE
TTQU(I)=TTQUD(I)+TTQUC(I)

```

```

TTQG(I)=TTQGD(I)+TTQGC(I)
QTOP(I)=UA(I)*(20-TD(I))*3.6*8*0.001
FARK(I)=TTQU(I)-QTOP(I)
WRITE(7,560) I,TTQGD(I),TTQU(I),QTOP(I),FARK(I),TTQUD(I),TTQGD(I),
+TTQUC(I),TTQGC(I)
500 FORMAT(2X,I2,2X,F8.3,2X,F8.3,2X,F8.3,2X,F8.3,2X,F8.3,2X,F8.3
+2X,F8.3,2X,F8.3,2X,'Mj/g□n')
17 CONTINUE
DO 501 I=1,12
  QEV=QEV+(QTOP(I)*30)*239.23
  QGEL=QGEL+TTQG(I)*30*239.23
  QCEK=QCEK+TTQU(I)*30*239.23
501 CONTINUE
  QELK=QCEK*0.12
  QFAY=QCEK-QELK
  YAK=QFAY/(9000*0.9)
  WRITE(7,503) QEV,QGEL,QCEK,QELK,QFAY,YAK
503 FORMAT(2X,'Qev =',F15.2,2X,'Kcal/Yt',/,2X,'Qgel=',F15.2,/,2X,
+'Qcek=',F15.2,/,2X,'Qelk=',F15.2,/,2X,'Qfay=',F15.2,/,2X,
+'Yak =',F15.2,2X,'Kg')
STOP
END

```