

**KAPALI DEVRE BAKIR BORU VE LEVHALI TERMOSIFON  
AKIŞLI GÜNEŞ TOPLACININ İŞİNİM VE ISIL ANALİZİNİN  
DENEYSEL VE ANALİTİK ARAŞTIRILMASI**

**Haydar ARAS**

**Doktora Tezi**

**Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**Enerji Bilim Dalı**

**Haziran-1996**

**KAPALI DEVRE BAKIR BORU VE LEVHALI  
TERMOSİFON AKIŞLI GÜNEŞ TOPLACININ  
İŞİNİM VE ISIL ANALİZİNİN DENEYSEL  
VE ANALİTİK ARAŞTIRILMASI**

**Haydar ARAS**

**Doktora Tezi**

**Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**Enerji Bilim Dalı**

**Haziran-1996**

**Bu Tez Osmangazi Üniversitesi Araştırma  
Fonunca Desteklenmiştir**

**KAPALI DEVRE BAKIR BORU VE LEVHALI TERMOSİFON AKIŞLI GÜNEŞ  
TOPLACININ İŞİNİM VE ISIL ANALİZİNİN DENEYSEL VE ANALİTİK  
ARAŞTIRILMASI**

**Haydar ARAS**


**Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı  
Enerji Bilim Dalında  
DOKTORA TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır**

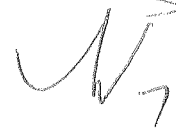
**Bu Tez Osmangazi Üniversitesi Araştırma  
Fonunca Desteklenmiştir**


**Danışman: Prof. Dr. Kemal TANER**

**Haziran-1996**

Haydar ARAS'ın DOKTORA tezi olarak hazırladığı " KAPALI DEVRE BAKIR BORU VE LEVHALI TERMOSİFON AKIŞLI GÜNEŞ TOPLACININ IŞINIM VE İSİL ANALİZİNİN DENEYSEL VE ANALİTİK ARAŞTIRILMASI" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye: Prof. Dr. Kemal TANER 

Üye: Prof. Dr. Yusuf PANLAR 

Üye: Doç. Dr. Mustafa ACAR 

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 2-7-1996..... gün

ve 96-18/15..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

  
Prof. M. Selami KILIÇKAYA

Enstitü Müdürü

## ÖZET

Bu çalışma, Türkiye’de yaygın olarak kullanılan, termosifon akışlı, kapalı devre bakır borulu güneş toplacı üzerinde yapılmış teorik ve deneysel araştırmaları içermektedir. Deneysel çalışmanın yapıldığı tarihlerdeki saatlik ışınlam değerleri beş ayrı model ile hesaplanmış ve Meteoroloji rasatları ile MAPE (Ortalama Mutlak Yüzde Hata) istatistiki test yöntemine göre karşılaştırma yapılmıştır. Deneysel çalışmada direnç termometreleri vasıtası ile iç depo, dış depo, yutucu levha ve toplaç giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülmüştür. Termosifon akışlı toplacın teorik analizinde akışın laminer olduğu varsayılarak, termosifon sistem su debisinin, toplaç su giriş ve çıkış sıcaklık farkının ve sistemdeki basınç kaybının hesaplanmasını sağlayan bir model geliştirilmiştir. Teorik analiz sonuçlarından yararlanarak etkileşimli bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Bilgisayar programı kullanılarak değişik parametrelerin sistem performansına etkileri hesaplanmış ve grafikler halinde gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Direkt ışınlam, Yayılı ışınlam, Toplam ışınlam, Atmosferik geçirgenlik, Güneş enerjisi, Termosifon akış, Isı değiştirgeçli su deposu.

## SUMMARY

This study contains theoretical and experimental researches on thermosyphon flow, close loop, copper tube solar collectors which is commonly used in Turkey. Hourly radiation values on the test days have been calculated in five different models and compared with meteorological measurements and MAPE (Mean Absolute Percentage Error) statistical testing method. In the experimental study, by the help of resistance thermometers, inner tank, outer tank, absorber surface and collector inlet and outlet temperatures have been measured. In the theoretical analysis of thermosyphon flow collector, the flow has been considered as laminar flow and in this mind an analysis to calculate the thermosyphon system mass flow rate, collector water inlet and outlet temperature difference and the head loss in the system has been developed. By using the theoretical analysis results a practical computer program which calculates the effects of different parameters on the system performance and the results have been shown as graphics.

### Key Words:

Direct radiation, Diffused radiation, Total radiation, Atmospheric turbidity, Solar energy, Thermosyphon flow, Water tank with heat exchangers.

## TEŞEKKÜR

Kapalı devre bakır boru ve levhalı termosifon akışlı güneş toplacının ışınlım ve ısı analizinin deneysel ve analitik araştırılması başlıklı bu çalışmayı hazırlamamda yardımcı olan danışman hocam Prof.Dr. Kemal TANER'e, bu mesleğe girmemde öncülük eden ve beni destekleyen çok değerli hocalarım Prof. Dr. Kemal TANER, Prof.Dr.Yaşar PANCAR ve Prof.Dr. Soner ALANYALI' ya ayrıca çalışmalarım sırasında özverisini esirgemeyen Nil SEVÜK'e teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	iv
SUMMARY .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
TABLolar DİZİNİ .....	xii
SEMBOLLER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ .....	1
2. GÜNEŞ IŞINIMININ ATMOSFERDE AZALTILMASI .....	3
2.1. Optik Hava Kütlesi .....	5
2.2. Güneş Işınımının Atmosferde Saçılması ve Yutulması .....	6
2.3. Bulutsuz Gökyüzünde Direkt Güneş Işınımı .....	10
2.4. Bulutsuz Gökyüzünde Yayılı Güneş Işınımı.....	11
2.5. Bulutlu Gökyüzünde Güneş Işınımı.....	14
2.6. Güneş Işınım Modelleri .....	16
2.6.1. Birinci ışınım modeli .....	16
2.6.2. İkinci ışınım modeli .....	17
2.6.3. Üçüncü ışınım modeli .....	17
2.6.4. Dördüncü ışınım modeli .....	17
2.6.5. Beşinci ışınım modeli .....	18
2.7. Topluca Gelen Işınım .....	18
3. TOPLAÇ PERFORMANSININ TESPİTİ .....	21



## İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.1. Yutma Geçirme Çarpımı .....	21
3.2. Toplaç Performansının Sürekli Hal Modeli .....	23
3.3. Depodan Çevreye Isı kaybı.....	28
4. TERMOSİFON AKIŞLI SICAK SU SİSTEMLERİ .....	30
4.1. Termosifon Akışlı Güneş Toplaçlı Sıcak Su Üretim Sistemleri Üzerine Yapılmış Çalışmalar .....	30
4.2. Kapalı Devre Termosifon Akışlı Güneş Toplaçlı Sistemin Teorik Analizi .	35
4.2.1. Termosifon çevrimde enerji denklemi .....	36
4.2.2. Laminer akışta boru girişinde kütle akış oranı ve düşü.....	38
4.3. Toplaç Borularındaki Farklı Akış Oranları İçin Teorik Yaklaşım .....	40
4.4. Termosifon Akışlı Sistemde Kütleli Debi Değerinin Tespiti İçin Teorik Yaklaşım .....	44
5. DENEYSEL ÇALIŞMA VE GELİŞTİRİLEN TEORİK YAKLAŞIMLARA	
AİT SONUÇLAR.....	46
5.1. Yatay Düzleme Gelen Saatlik Işınım Şiddetleri.....	46
5.2. Toplaç Verimi.....	50
5.3. Deneysel ve Teorik Sıcaklıkların Karşılaştırılması.....	51
5.4. Termosifon Sistem Teorik Debisi ve Toplaç Giriş -Çıkış Sıcaklık Farkı .....	57
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	59

**İÇİNDEKİLER (devam)**

KAYNAKLAR DİZİNİ ..... 61

**EKLER**

- EK-1. Bilgisayar programında kullanılan matematiksel ifadeler
- EK-2. Eskişehir ilinde yatay düzleme gelen toplam ışınımının ve termosifon akışlı güneş toplacının teorik analizi için yazılan bilgisayar program algoritması ile program listesi
- EK-3. Eskişehir ilinde deneylerin yapıldığı günlerde yatay ve eğik düzleme gelen ışınım şiddetleri
- EK-4. Termosifon akışlı güneş toplacında teorik ve deneysel; yutucu levha, su çıkış, iç depo ve dış depo sıcaklıkları arasında MAPE oranları
- Ek-5. Deney düzeneği teknik resimleri

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Güneş ışınımının atmosfer içinde saçılma ve yutulması .....	3
2.2. Işınımın tayfsal dağılımı .....	4
2.3. Düzlemsel ve küresel atmosferde optik hava kütlesi .....	5
3.1. Düzlem toplaç yutucu levhası .....	24
4.1. Deneysel çalışmanın yapıldığı termosifon sistemin şematik resmi.....	37
4.2. Toplaç boruları şematik resmi .....	41
4.3. I nolu boru bağlantısı.....	41
4.4. I nolu çevrim.....	42
5.1. Deneyin yapıldığı ilk güne ait meteoroloji ve modellere ait ışınım değerleri .....	47
5.2. Deneyin yapıldığı ikinci güne ait meteoroloji ve modellere ait ışınım değerleri .....	48
5.3. Deneyin yapıldığı üçüncü güne ait meteoroloji ve modellere ait ışınım değerleri.....	49
5.4. Deneysel çalışmanın yapıldığı ilk günde toplaç verim değerlerinin işletme noktası parametresi ile değişimi.....	50
5.5. Deneysel çalışmanın yapıldığı ilk günde $(\tau\alpha)$ ve $(\tau\alpha)_{ef}$ değerlerinin gün boyu değişimi.....	50
5.6. Deneysel çalışmanın yapıldığı ikinci günde toplaç verim değerlerinin işletme noktası parametresi ile değişimi.....	51
5.7. Deneysel çalışmanın yapıldığı ikinci günde $(\tau\alpha)$ ve $(\tau\alpha)_{ef}$ değerlerinin gün boyu değişimi.....	51
5.8. Teorik ve deneysel toplaç çıkış sıcaklıkları ( 1. ve 2. Deney).....	52
5.9. Teorik ve deneysel yutucu levha sıcaklıkları (1. ve 2. Deney).....	53
5.10. Teorik ve deneysel iç depo sıcaklığı (1. Deney).....	54
5.11. Teorik ve deneysel iç depo sıcaklığı (2. Deney).....	55
5.12. Teorik ve deneysel dış depo sıcaklıkları (1. ve 2. Deney).....	56

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

- 5.13. Termosifon debinin ve termosifon düşünün 4.9 ve 4.69 ifadesine göre değişimi.....57
- 5.14. Termosifon sistem düşüsü ile toplaç giriş ve çıkış sıcaklık farkları.....58

**TABLULAR DİZİNİ**

<b><u>Tablo</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
2.1. Aeresol tarafından öne doğru saçılma albedosunun toplam saçılmaya oranı ( $F_C$ )'nin Zenit açısı ( $\theta_z$ )değişimi.....	14
2.2. Bulut tipleri ve geçirgenlik fonksiyonları.....	15
2.3. Eğik düzleme güneşin ilk geliş ve son düşüş saat açıları .....	19
2.4. Yansıtma oranı değerleri .....	20
5.1. Modeller ve meteoroloji rasatları MAPE değerleri (29/8/1988).....	47
5.2. Modeller ve meteoroloji rasatları MAPE değerleri (31/8/1988).....	48
5.3. Modeller ve meteoroloji rasatları MAPE değerleri (1/9/1988).....	49

## SEMBOLLER DİZİNİ

<u>Sembol</u>	<u>Acıklama</u>
a	İki boru arası mesafe, m
$A_{\text{ç}}$	Toplaç çevresi, m
$A_{\text{D}}$	Depo alanı, $m^2$
$A_{\text{k}}$	Toplaç alanı, $m^2$
b	Toplaç boru uzunluğu, m
$C_h, f_h$	Levha ısı transfer katsayısı formülündeki sayılar
$C_0$	Tanımlı parametre, $\frac{N}{m^2 \cdot ^\circ C}$
$C_1$	Tanımlı parametre, $\frac{m}{^\circ C}$
$C_2$	Tanımlı parametre, $\frac{m \cdot sn^2}{kg^2}$
$C_3$	Tanımlı parametre, $\frac{m \cdot sn}{kg}$
$C_4$	Tanımlı parametre, $\frac{C_3}{C_2} = \frac{kg}{sn}$
$C_5$	Tanımlı parametre, $\frac{kg^3}{sn^3}$
$C_p$	Su ısınma ısı, $\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$
d	Deklinasyon açısı, $^\circ$
f	Moody sürtünme katsayısı
$f_3$	Yüzey albedosu
$F'$	Toplaç verim faktörü
$f_{ku}$	Üst kayıp katsayısı formülünde, dış film katsayısı ve cam örtü sayısına bağlı bir fonksiyon

## SEMBOLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sembol</u>	<u>Acıklama</u>
$F_R$	Toplaç ısı çıkarma faktörü
$f_r$	Rüzgar hızına bağlı bir sabit
$g$	Yerçekimi ivmesi, $\frac{m}{sn^2}$
$g_c$	Sabit, $\frac{kg \cdot m}{N \cdot sn^2}$
$H$	Tanımlı parametre, $\frac{kg}{m^3 \cdot sn}$
$h$	Saat açısı, °
$h_a$	Toplaç arkası taşınım ile ısı transfer katsayısı, $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
$h_L$	Termosifon düşüsü, m
$h_r$	Cam örtü ile hava arasında taşınım ile ısı transfer katsayısı, $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
$I$	Eğik düzleme gelen toplam ışınım, $\frac{W}{m^2}$
$I_0$	Güneş sabiti, $\frac{W}{m^2}$
$I_{da}$	Yayıllı ışınım aerosol saçılması bileşeni, $\frac{W}{m^2}$
$I_{dm}$	Yayıllı ışınım atmosfer içindeki yansıma bileşeni, $\frac{W}{m^2}$
$I_{dr}$	Yayıllı ışınım Rayleigh saçılması bileşeni, $\frac{W}{m^2}$
$I_{ey}$	Eğik düzleme gelen yayıllı ışınım, $\frac{W}{m^2}$
$I_T$	Yatay düzleme gelen toplam ışınım $\frac{W}{m^2}$
$I_y$	Yatay düzleme gelen yayıllı ışınım, $\frac{W}{m^2}$
$K$	Tanımlı parametre, $\frac{1}{m^3}$
$K_d$	Depo kayıp katsayısı, $\frac{W}{m^2 \cdot C}$

## SEMBOLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sembol</u>	<u>Acıklama</u>
$K_K$	Toplaç toplam ısı transfer katsayısı, $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
$h_L$	Toplaç levhası taşınım ile ısı transfer katsayısı, $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$
$K_r$	Direnç katsayısı
$L_i$	Toplaç arkası izalasyon kalınlığı, m
$L_{LC}$	Levha ve cam arasındaki mesafe, mm
$L_P$	Bağlantı boruları toplam uzunluğu, m
$L_V$	Düşey bağlantı boruları uzunluğu, m
$m$	Optik hava kütlesi
$M$	Toplaç su debisi, $\frac{kg}{sn}$
$M_1$	1 Nolu boruda su debisi, $\frac{kg}{sn}$
$n$	Ortamın kırılma indisi
$N_C$	Toplaç cam örtü sayısı
$P$	Mahalli basınç, mbar
$P_0$	Atmosfer basıncı, mbar
$P_v$	Atmosferdeki su buharı kısmi basıncı, mbar
$q_f$	Birim toplaç yüzeyi başına kazanılan faydalı ısı, $\frac{kJ}{m^2 \cdot h}$
$Q_f$	Toplaçtan kazanılan faydalı ısı, $\frac{kJ}{h}$
$Q_u$	Toplaç üstünden kaçan ısı, $\frac{kJ}{h}$
$s$	Toplaç eğim açısı, $^\circ$



## SEMBOLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sembol</u>	<u>Acıklma</u>
$T_c$	Çevre sıcaklığı, °C
$T_{dç}$	Depo su çıkış sıcaklığı, ° C
$T_{dg}$	Depo su giriş sıcaklığı, ° C
$T_{dn}$	Depo su sıcaklığı, ° C
$T_{dy}$	Depo dış yüzey sıcaklığı, ° C
$T_L$	Yutucu levha (yüzey) sıcaklığı, °C
$T_m$	Toplaç ile çevre arasındaki ortalama sıcaklık, ° C
$T_o$	Ortalama sistem sıcaklığı, (Toplaç giriş ve çıkış)
$T_{s,x}$	Toplaç borularında x mesafesindeki su sıcaklığı, °C
$T_{sç} (T_2)$	Toplaç su çıkış sıcaklığı,, ° C
$T_{sg} (T_1)$	Toplaç su giriş sıcaklığı, °C
$U_1$	Yoğuşturulabilir su kalınlığı, cm
$U_3$	Ozon kalınlığı, cm
$V$	Rüzgar hızı, $\frac{m}{sn}$
$V_{is}$	Yatay görüş uzaklığı, km
$y$	Güneş yükseklik açısı, °
$z$	Bölgenin deniz seviyesinden yüksekliği, m

## SEMBOLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sembol</u>	<u>Acıklama</u>
$\rho_{su}$	Suyun yoğunluğu, $\frac{kg}{m^3}$
$\tau$	Atmosferik geçirgenlik katsayısı
$\lambda$	Işınım dalga boyu, $\mu m$
$\beta$	Angstrom türbidite katsayısı
$\sigma$	Stefan Boltzman sabiti, $\frac{W}{m^2 K^4}$
$\nu$	Kinematik viskozite, $\frac{m^2}{sn}$
$\tau\alpha$	Yutma geçirme çarpımı
$\tau_{\lambda a}$	Yutulmadan dolayı geçirgenlik
$\tau_{\lambda s}$	Saçılmadan dolayı geçirgenlik
$\alpha_0$	Ozon yutma katsayısı
$\tau_{a\lambda}$	$\lambda$ Dalga boyunda hava moleküllerinde geçirgenlik
$\tau_{aa}$	Direkt ışınım süresince aerosol yutmasından dolayı geçirgenlik katsayısı
$\rho_c$	Yansıtılan ışınımın gelen ışınımına oranı
$\tau_c$	Camın geçirgenliği
$\tau_{d\lambda}$	$\lambda$ Dalga boyunda toz moleküllerinde geçirgenlik
$\theta_g$	Işınımın geliş açısı, $^\circ$
$\theta_k$	Işınımın kırılma açısı, $^\circ$
$\delta_L$	Levha kalınlığı, m
$\alpha_L$	Levhanın yutma katsayısı

**SEMBOLLER DİZİNİ (devam)**

<b><u>Sembol</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
$\varepsilon_L, \varepsilon_C$	Sırası ile levha ve camın emisiviteleri
$\tau_r$	Rayleigh saçılmasından dolayı geçirgenlik katsayısı
$\alpha_w$	Su buharı yutma oranı
$\theta_Z$	Güneş zenit açısı, °
$\tau_c$	Camın geçirgenliği

## 1. GİRİŞ

Ekonomik ve toplumsal kalkınmanın vazgeçilmez girdilerinden biri olan enerji, topyekün kalkınmayı hızlandırıcı özelliği ile 1970' li yıllardan itibaren tüm dünya ülkelerinin gündeminde ağırlıklı olarak yer almaktadır. Ülke kaynakları kıt, ülke talebini ithalatla karşılamak zorunda olan ülkeler için enerji, kritik öneme sahiptir. Sanayileşme süreci içerisinde olan ülkemizde, bugüne kadar enerji sektöründe karşılaşılan çeşitli sorunlar, ülke gelişmesini etkilemiştir. 1960' lardan itibaren başlatılan planlı dönem süresince enerji sektöründeki gelişme, kalkınmanın gereksindiği enerjiyi gerekli miktar ve kalitede karşılamakta zaman zaman yetersiz kalmıştır. Planlarda öngörülen fiziki hedeflere ulaşılamamış, başta elektrik enerjisi olmak üzere, enerji sektörü, bir dönemde ülke ekonomisinde darboğaz yaratan bir sektör durumuna gelmiştir.

Enerjiyi ülkede darboğaz yaratan sektör durumundan, ekonomiyi sürükleyici ve kalkınmayı hızlandırıcı bir sektör durumuna getirmek için, mevcut sorunlarla, bu sorunları oluşturan nedenlerin belirlenmesi, bu alanda yapılacak çalışmaların ilk adımını oluşturmuştur. Kısa dönemde alınan bazı önlemlerle sorunların çözümünün yanısıra, uzun dönemde ortaya çıkabilecek sorunların bugünden tespiti ve gerekli önlemlerin alınması ile kalkınmada itici bir rol oynaması sağlanabilecektir.

Ülkemizde enerji gereksiniminin uygun koşullarla karşılanması için gerekli hertürde önlemleri almak ve her etkinliği göstermekle görevli olan E.T.K.B.(Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı) 1990-2010 dönemini kapsayan 20 yıllık enerji master planı hazırlamıştır. Bu planda, güneş enerjisinden yararlanma hedefleri, gerek bu enerji kaynağı ile ilgili değerlendirme teknolojileri, gerekse ülkemizin içinde bulunduğu şartlar, kaynağın ekonomisi, diğer enerji kaynaklarını ikame edebilme şansı gibi faktörler yer almaktadır.

Güneş enerjisinin kullanımı konusunda bilinen ve yeni geliştirilen teknolojiler genel olarak aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir.

I. Sanayi, ziraat ve konutlar için güneş enerjisi ile ısıtma-soğutma

II. Pasif, güneş enerjisi ile ısıtma-soğutma

III. Elektrik enerjisi ve sanayi proses ısı üretimi için güneş enerjisi termal dönüşüm

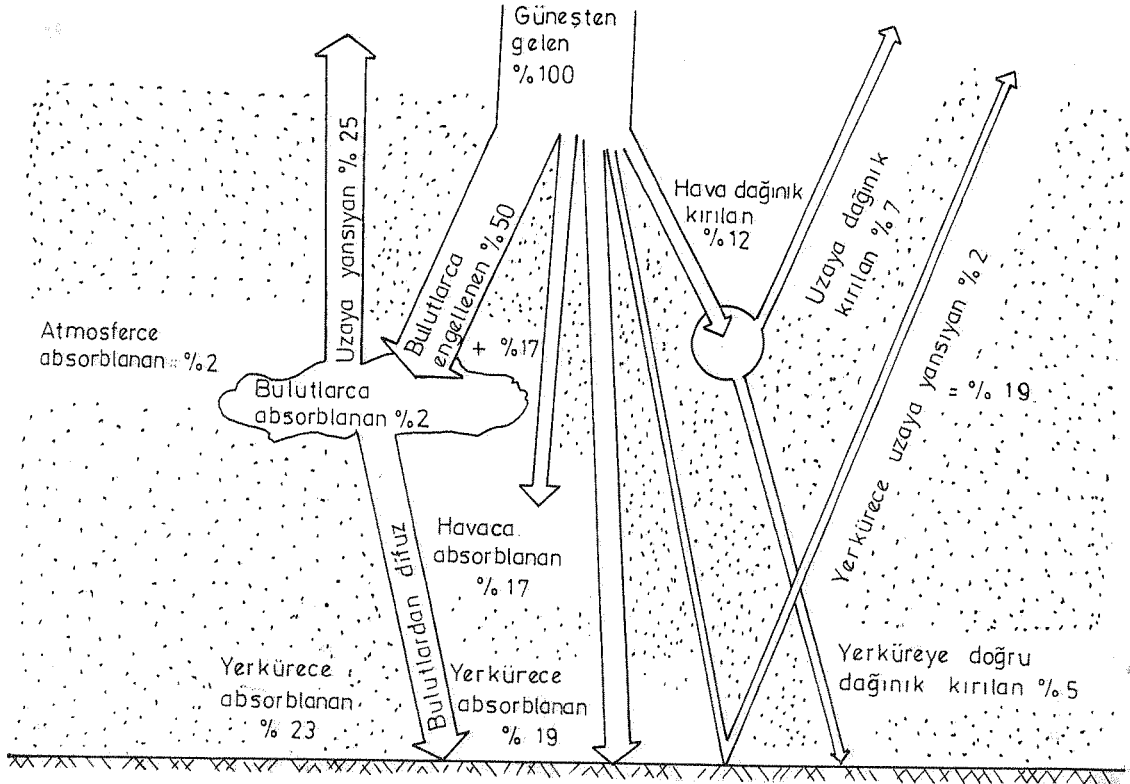
IV. Fotovoltaik elektrik üretimi

Güneş enerjisinin düzlemsel toplaçlar ile düşük ısı üretimi amacı ile ekonomik olarak yaygın biçimde kullanımı günümüzde hızla artmaktadır. E.T.K.B. verilerine göre Türkiye'de halen 200 civarında firma güneş toplacı üretmekte olup, 350.000 m<sup>2</sup> düzlem toplaç tesis kapasitesine ulaşılmıştır.

Bu çalışmada: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yapılan ölçümlere ait hava basıncı, sıcaklık, yatay görüş uzaklığı, vb. parametreler kullanılarak Eskişehir ilinde yatay ve eğik düzleme gelen güneş ışınımları, geliştirilen beş farklı model ile hesaplanmıştır. Hesaplanan ışınım değerleri, termosifon akışlı düzlemsel toplacın teorik analizinde kullanılmıştır. Geliştirilen analiz sonucu termosifon akışlı güneş toplacına ait debi, termosifon kuvvet değerleri, yutucu levha sıcaklığı, toplaç su çıkış sıcaklığı, depo su sıcaklıkları hesaplanmıştır. Sonuç bölümünde ise çalışmada elde edilen bulguların deneysel sonuçlar ile uygunluğu tartışılmıştır.

## 2. GÜNEŞ IŞINIMININ ATMOSFERDE AZALTILMASI

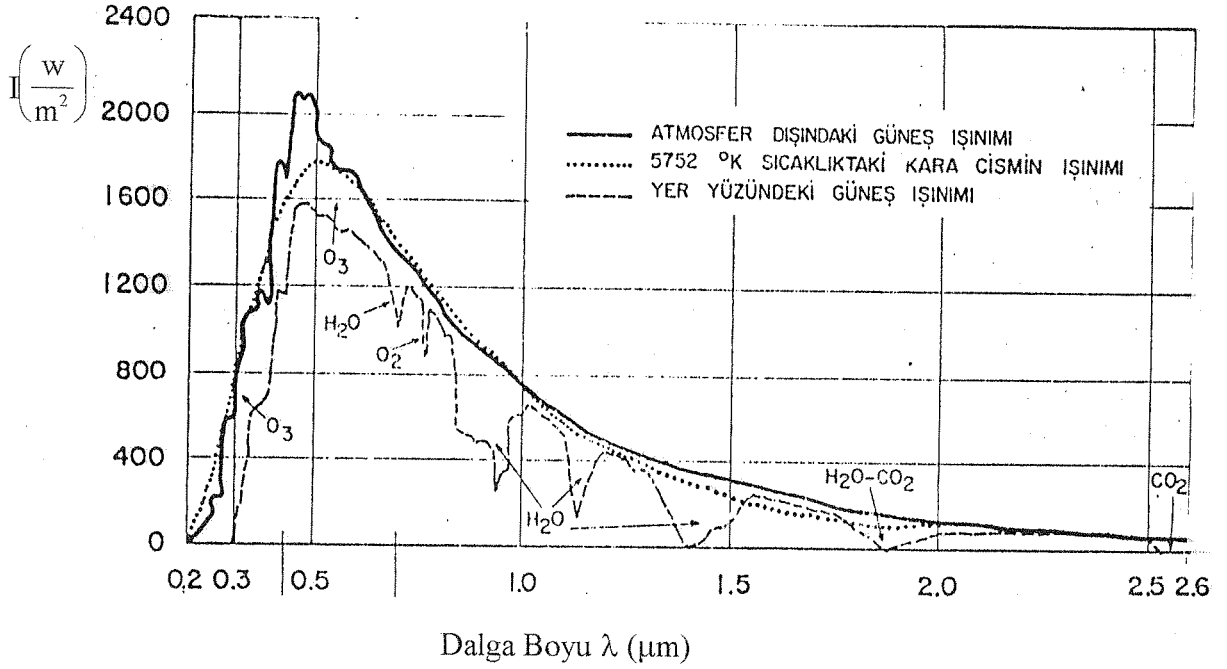
Atmosfer içinde hareketleri süresince, ozon, su buharı, karbondioksit, oksijen ve toz zerrecikleri ışınım frekanslarını azaltarak, enerji yoğunluklarının bir kısmını yutarlar. (Şekil 2.1)



Şekil-2. 1. Güneş ışınımının atmosfer içinde saçılması ve yutulması (Atagündüz, 1989).

Işınımın bir kısmı dünya atmosferi tarafından atmosfer dışına yansıtılırken geriye kalan ışınım ise yeryüzüne ulaşır. Güneş ışınımının enerji miktarı dalga boyuna göre değişmektedir. Güneş ışınımının tayfsal dağılımı Şekil-2.2. 'de gösterilmiştir. Yeryüzüne ulaşan ışınımın dalga boyu 0.2µm ile 2.6µm arasındadır. Işınım bölgeleri U.V.(Morötesi); 0.05 - 0.4 µm, VIS (Görünür); 0.4 - 0.7 µm IR (Kızıl altı); 0.7 -100 µm arasında tanımlanmakta ve su buharının görülebilen ışınım ve kızıl altı ışınım bölgesinde, ozonun ise mor ötesi ışınım bölgesinde yutma bantları mevcuttur. 0.3 µm 'den küçük dalga boyuna sahip ışınımın büyük kısmı hava molekülleri tarafından saçılır. Toz, su buharı ve

benzeri parçacıklar tarafından saçılan ışınım miktarı bölgelere göre farklılık gösterir. İzafi nem, toplam basınç ve toz konsantrasyonu arttıkça saçılma da artar.



Şekil-2.2. Işınımın tayfsal dağılımı (Garg and Datta, 1993)

Beer ve Bouguer'e göre, homojen atmosferin spektral geçirme oranı,

$$\tau = \frac{I_D}{I_0} \quad 2.1$$

şeklinde (Carrol,1985). İfadede,  $\tau$  : Atmosferik geçirgenliği,  $I_D$  ve  $I_0$  sırası ile yeryüzündeki ve atmosfer dışındaki ışınım şiddetleridir. Tek dalga boyunda ışın demetinin yutulması ise ;

$$I_\lambda = I_{0,\lambda} e^{-\beta_\lambda m} \quad 2.2$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada  $I_{0,\lambda}$  ;  $\lambda$  dalga boyunda atmosfer dışı ışınım şiddeti,  $I_\lambda$ ; verilen dalga boyunda ( $\lambda$ ) optik hava kütlelerinden ( $m$ ) geçtikten sonraki atmosfer dışı

ışınım şiddetidir. Tek dalga boyunda geçirgenlik, saçılmadan ( $\tau_{\lambda s}$ ) ve yutulmadan ( $\tau_{\lambda a}$ ) doğan değerlerin çarpımı olarak tanımlanır.

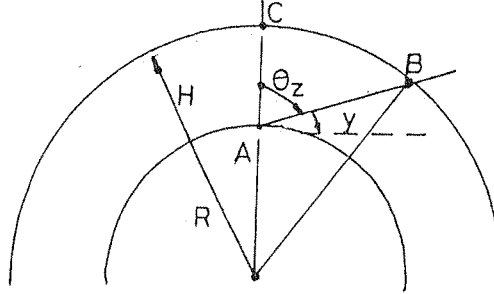
$$\tau_{\lambda} = \tau_{\lambda s} + \tau_{\lambda a} \quad 2.3$$

## 2.1. Optik Hava Kütlesi

Güneş ışınının atmosferi geçerken katettiği mesafe geliş doğrultusuna göre değişir. Normal atmosfer basıncında güneş ışınının herhangi bir doğrultuda atmosferi katettiği mesafenin, güneşin zenitte bulunduğu konumda katettiği mesafeye oranı, " İzafi optik hava kütlesi " olarak adlandırılır.

İzafi optik hava kütlesi ( $m_i$ ),  $R$ ; dünya yarıçapı (6370 km),  $H$ ; atmosfer kalınlığı ve  $\theta_z$ ; zenit açısı olmak üzere aşağıdaki şekilde tanımlanır (Garg and Datta 1993).

$$m_i = \frac{BA}{CA} = \left[ \left( \frac{R}{H} \cos \theta_z \right)^2 + 2 \left( \frac{R}{H} \right) + 1 \right]^{1/2} - \frac{R}{H} \cos \theta_z \quad 2.4$$



Şekil-2. 2. Düzlemsel ve küresel atmosferde optik hava kütlesi.

$\theta_z < 70^\circ$  ise izafi optik hava kütlesi ( $m$ ) ve  $\sec \theta_z$  değerleri birbirine çok yakın olduğundan;  $d$  deklinasyon açısı,  $e$  enlem açısı,  $y$  güneş yükseklik açısı ve  $h$  saat açısı olmak üzere izafi optik hava kütlesi;

$$m_i = \frac{1}{\cos d \cdot \cos e \cdot \cos h - \sin d \cdot \sin e} \quad 2.5$$

$$m_i = \sec \theta_z \quad (\theta_z < 70^\circ) \quad 2.6$$

$$m_i = \operatorname{cosec} y \quad (y > 20^\circ) \quad 2.7$$



şeklinde yazılabilir

Güneş ışınımının herhangi bir basınçta atmosferi katettiği mesafe " Mutlak Optik Hava Kütlesi " olarak tanımlanmasına rağmen genellikle optik hava kütlesi olarak isimlendirilir.

$$m = \frac{P}{P_0} m_i \quad 2.8$$

(P yerel basınç ve P<sub>0</sub> standart atmosfer basıncıdır.)

Pinoza ve arkadaşları (1995), Optik hava kütlesini, P ; Yerel basıncın (Pa),  $\theta_z$  ; Zenit açısının fonksiyonu olarak tanımlamıştır.

$$m = \frac{P}{101325(\cos\theta_z + 0.15(93.885 - \theta_z))^{-1.253}} \quad 2.9$$

İfadedeki P, 2.10 denklemiyle tayin edilebilir.

$$P = 101325 \exp(-0.0001184z) \quad 2.10$$

burada, z bulunulan yerin rakımı (m) dir.

## 2.2. Güneş Işınımının Atmosferde Saçılması ve Yutulması

Güneş ışınımının %99 'u, 1500 ila 38000 Å dalga boyları arasındaki spektral bölgeye aittir. Kırmızı ve kızıl ötesi bölgede subuharı yutması gözlemlendiği gibi yukarıda belirtilen limitler arasında ozon ve oksijen yutmaları mevcuttur. Işınımın saçılması ise havada süspansiyon halde mevcut olan katı ve sıvı partiküller ile havanın kendi molekülleri üzerinde meydana gelir. Yutma sonucu elektromanyetik yapıdaki ışınım ısıya dönüşür. Saçılmaya neden olan cismin yutma oranı sıfır ise saçılmada hiç enerji kaybı olmayacaktır. Angstrom, atmosferik geçirgenliği  $\lambda$  dalga boyunun,  $\beta$  türbidite katsayısının ve  $\alpha_d$  yutma katsayısının fonksiyonu olarak:  $\beta\lambda^{\alpha_d}$  şeklinde ifade edilmiştir.  $\alpha_d = 1.3$  değerinde  $\beta=0.01$  ile 0.4 arasında değişim göstermektedir. Moon, hava

moleküllerinde ışınımın saçılmasını  $\lambda$  dalga boyunun dördüncü kuvveti ile ters orantılı olarak tanımlamıştır (Leckner, 1978; Taner'den, 1980).

$$\tau_{a\lambda} = 10^{-0.00389\lambda^{-4}} \quad 2.11$$

Pinoza ve arkadaşları (1995), hava moleküllerinde saçılma ve yutulma sonucu geçirgenliği, ayrı ayrı incelemiştir ve hava moleküllerinde ışınımın saçılmasını;

$$\tau_a = 0.12445\lambda - 0.0162 + (1.003 - 0.125\lambda) \exp[-\beta m(1.089\lambda + 0.5123)] \quad 2.12$$

olarak verilmişlerdir.  $\lambda$ ,  $\beta$  sırası ile Angstrom denkleminde ışınım dalga boyu ve türbidite sayısıdır. Hava toz moleküllerinde yutmayı, Iqbal (1983), Paltridge ve Platt'in geliştirdikleri denklem yardımı ile aerosol tarafından öne doğru saçılma albedosu  $W_0$  olmak üzere incelemiştir ( $W_0=0.6-0.95$ ). Böylece yutulma sonucu geçirgenlik,

$$\tau_{oa} = 1 - (1 - W_0) (1 - m + m^{1.06}) (1 - \tau_a) \quad 2.13$$

olacaktır. Bunun yanısıra Carrol (1985), Robinson ve Sellers çalışmaları sonucunda elde ettikleri, hava moleküllerinde ışınımın yutulması sonucu geçirgenliği,

$$\tau_a = 10^{-0.02m} \quad 2.14$$

şeklinde incelemiştir. 0.38  $\mu\text{m}$  ve 0.5  $\mu\text{m}$  dalga boylarında hava ve toz moleküllerinde ışınımın geçirilmesi;

$$\tau_a = \exp[-K^{0.873} (1 + K + K^{0.7088}) m^{0.9108}] \quad 2.15$$

ifadesi ile tespit edilir (Bird and Hulstrom, 1980). Araştırmacı Davies ve arkadaşları (1975) toz partikülden dolayı saçılmayı;

$$\tau_d = K^m \quad 2.16$$

şeklinde ifade etmişlerdir. İfadede,  $K=10^{-0.666 \beta}$  denkleminde elde edilmekte ve  $\beta$  ise 0.1 - 0.01 arasında değişmektedir. 2.16 ifadesi Atwater ve Ball (1981), tarafından  $\tau_d = e^{-d_p U_p m}$  şeklinde verilmiştir ( $U_p$  partikül sönüm katsayısı,  $d_p$  partikül büyüklüğü).

Iqbal'e göre (1983), hava ve toz moleküllerinden dolayı geçirgenlik, yatay görüş mesafesinin (Vis) fonksiyonu olarak,

$$\tau_a = \left[ 0.97 - 1.265(\text{Vis})^{-0.66} \right] m^{0.9} \quad 2.17$$

şeklinde yazılabilir ( $5 < \text{Vis} < 180$  km). Yatay görüş uzaklığı deneylerin yapıldığı günler için DMİGM (Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü) verilerine göre 20 km olarak alınmıştır. Toz partiküllerinin boyutları ışınım dalga boyundan çok büyüktür ve yoğunlukları bölgeden bölgeye değişiklik gösterir. Moon, toz partiküllerinin geçirgenlik fonksiyonunu

$$\tau_{d\lambda} = 10^{-0.0353\lambda^{-0.75}} \quad 2.18$$

şeklinde ifade etmiştir (Iqbal, 1983).

Su buharından dolayı ışınım yutulmasını, Davies ve McKay (1982), Atwater ve Ball (1981), Platt ve Platridge (1976), Bird ve Hulstrom (1980), aynı ifade ile aşağıdaki gibi tanımlamışlardır.

$$\alpha_w = \frac{2.9U_1}{\left(1 + 141.5U_1\right)^{0.635} + 5.925U_1} \quad 2.19$$

Denklemdaki  $U_1$  yoğunlaştırulabilir su kalınlığı Leckner'e göre;

$$U_1 = w m \quad 2.20$$

$$w = w^I \left( \frac{P}{1013.25} \right)^{3/4} \cdot \left( \frac{273}{T} \right)^{1/2} \quad 2.21$$

$$w^I = 0.125 \exp(0.295P_v^{0.5} - 0.803) \quad 2.22$$

şeklinde verilmiştir (T; kuru termometre sıcaklığı, K,  $P_v$ ; buhar basıncı, mbar).

$$P_v = \exp\left(26.23 - \frac{5416}{T}\right) \quad 2.23$$

Hoyt (1975), yaptığı çalışmada Leckner 'in ifadesini nümerik olarak irdelemiş sonuçların ortalama %81 doğru olduğunu tespit etmiştir. Davies ve Mc Kay (1982), Robinson ve Sellers'in geliştirdikleri bağıntıyı kullanarak su buharı geçirgenliğini :

$$\tau_w = 1 - 0.0077 (wm)^{0.3} \quad 2.24$$

denklemleri ile vermişlerdir. İfadelerdeki w;

$$w = \exp\left[2.2572 + 0.05454Td\right] \left(\frac{P}{P_0}\right)^{\frac{3}{4}} \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{1}{2}} \quad 2.25$$

ile tespit edilir. Bağıntıda, Td (Çiğ noktası sıcaklığı), T<sub>0</sub> (Çevre sıcaklığı), P (Ortam basıncı), P<sub>0</sub> (Standart atmosfer basıncı), w ise 2.25 denkleminde hesaplanabilir. 2.25 denklemleri ile 2.21 denkleminde hesaplanan değerler arasında % 4 lük bir fark gözlemlenmiştir. Bu ise kullanılan parametrelere bağlanmaktadır.

Robinson (1966), su buharı geçirgenliğini 2.25 ifadesinden faydalanarak :

$$\tau_w = 10^{-\left(0.04w^{0.1} + 0.01w\right).m} \quad 2.26$$

şeklinde vermiştir.

Davies ve McKay, oksijen ve ozon (O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>) dan dolayı yutma ve saçılmayı da içine alan polinom şeklindeki ifadeyi,

$$\tau_r = 0.972 - 0.08262m + 0.00933m^2 - 0.00095m^3 + 0.000437m^4 \quad 2.27$$

olarak vermişlerdir. Kathy ve arkadaşları (1995), oksijen, ozon ve atmosferdeki değişik gazlardan dolayı yutma ve saçılma sonucu geçirgenliği Atwater ve Ball'ın geliştirdikleri denklem yardımı ile incelemiştir.

$$\tau_r = 1.021 - 0.084\left[m(949P * 10^{-5} + 0.051)\right]^{0.5} \quad 2.28$$

(P, kPa cinsinden bölgesel atmosferik basınçtır)

Bird ve Hulstrom (1980), atmosferde bulunan oksijen, ozon gazlarından oluşan yutma ve saçılma sonucu geçirgenliği;

$$\tau_r = \exp(-0.0903 \cdot m^{0.84} (1 + m - m^{1.01})) \quad 2.29$$

şeklinde açıklamışlardır. Robinson (1966), aynı ifadeyi;

$$\tau_r = 10^{-\left(0.054 - 0.0088m + 1.08 \cdot 10^{-3} m^2 - 5.1 \cdot 10^{-5} m^3\right)} m \quad 2.30$$

olarak vermiştir.

Paltridge ve Platt, ozon için yutma oranını Lasic ve Hansen ifadesi ile hesaplamıştır (Kathy, et al., 1995).

$$\alpha_0 = \frac{0.02118U_3}{1 + 0.042U_3 + 3.23 \times 10^{-4} U_3^2} + \frac{1.082U_3}{\left(1 + 138.6U_3\right)^{0.805}} + \frac{0.0658U_3}{1 + \left(103.6U_3\right)^3} \quad 2.31$$

Optik ozon kalınlığını veren  $U_3$  ifadesi; L (ozon kalınlığı) ve m 'in fonksiyonu olarak tanımlanabilir.

$$U_3 = L m \quad 2.32$$

Bird ve Hulstrom (1980), ozon yutması sonucu geçirgenliği benzer şekilde vermektedir.

$$\tau_0 = 1 - [0.161U_3 (1 + 139.48U_3)^{-0.3035} - 0.002715U_3 (1 + 0.044U_3 + 0.0003U_3^2)^{-1}] \quad 2.33$$

### 2.3. Bulutsuz Gökyüzünde Direkt Güneş Işınımı

Carrol (1985), yatay düzleme gelen direkt güneş ışınımını,

$$I_d = I_0 \cos\theta_z \tau_w \tau_r \tau_d \quad 2.34$$

olarak vermiştir. Bağınıta  $I_0$  güneş sabiti,  $\tau_w$ ,  $\tau_r$  ve  $\tau_d$  sırası ile; subuharı yutması sonucu, Rayleigh saçılması sonucu ve toz partiküllerde geçirgenliktir.

Hay (1993), direkt ışınımı  $\tau_w$ ,  $\tau_0$ ,  $\tau_a$ ,  $\tau_r$  'nin fonksiyonu olarak tanımlamıştır. Bu nicelikler sırası ile subuharı, ozon, aerosol ve Rayleigh saçılması sonucu geçirgenliği ifade etmektedir.

$$I_d = I_0 \cos \theta_z [ \tau_0 (U_3 m) \tau_r(m) - \alpha_w(U_1 m)] \tau_a(m) \quad 2.35$$

Yukardaki eşitlikte verilen,  $U_3$  ve  $U_1$  sırası ile ozon ve subuharı optik derinliğini ifade etmektedir. Iqbal (1983), yatay yüzeydeki direkt ışınımı,  $E_0$ ; Güneş - Dünya yörüngesindeki eğrilik olmak üzere,

$$I_d = 0.9751 E_0 I_0 \tau_0 \tau_w \tau_a \tau_r \quad 2.36$$

şeklinde ifade etmiştir. Paltridge ve Platt (1976) ise, ortalama güneş-dünya mesafesindeki direkt ışınımı,

$$I_d = I_0 (\tau_0 \tau_r - \alpha_w) \tau_a \quad 2.37$$

olarak tanımlamışlardır.

#### 2.4. Bulutsuz Gökyüzünde Yayılı Güneş Işınımı

Carrol (1985), tarafından yatay düzleme gelen yayılı ışınım;

$$I_y = f_1 (I_{w1} - I_d) + f_2 (I_{w2} - I_d) + f_3 \quad 2.38$$

olarak verilmekte olup, Carrol 'un ifadesinde  $f_1$ ,  $f_2$  sırası ile Rayleigh saçılması, Mie saçılması ve  $f_3$  yüzey albedosu ise  $0.25(I_{w1})$  şeklinde tanımlanmakta olup  $I_{w1}$  ve  $I_{w2}$  Rayleigh ve Mie saçılması yok iken direkt ışınım bileşenleridir. Davies ve Mc Kay, Atwater ve Ball'ın modelleri aynı gibi gözükmesine rağmen  $f_1$ ,  $f_2$  ve  $f_3$  değerlerine farklı yaklaşımlar getirmektedir. Davies ve Mc Kay (1982), geliştirdikleri modelde  $f_1 = 0.5$  ve  $f_3 = 0$  olarak almışlar ve  $f_2$  değerini ise zenit açısının fonksiyonu olarak aşağıdaki ifade ile tanımlamışlardır.

$$f_2 = \left\{ \begin{array}{l} 0.922 - 1.29 \times 10^{-4} \theta_z + 5.38 \times 10^{-6} \theta_z^2 - 7.54 \times 10^{-7} \theta_z^3 + 9.6 \times 10^{-10} \theta_z^4 \\ \text{veya} \\ 0.6 - 1.29 \times 10^{-4} \theta_z + 5.38 \times 10^{-6} \theta_z^2 - 7.54 \times 10^{-7} \theta_z^3 + 9.6 \times 10^{-10} \theta_z^4 \end{array} \right\} \quad 2.39$$

Carrol'un çalışmasında yer alan, Davies, Schertzer ve Nunez'in modelinde yayılı ışınım parametreleri  $\beta$  Angstrom türbidite katsayısı (0.01 - 0.3)  $I_d$  yatay düzleme gelen direkt ışınım ve  $I_w$  Rayleigh ve Mie saçılmasının olmadığı halde ki direkt ışınım bileşeni olmak üzere yayılı ışınımı aşağıda verildiği gibi ifade etmişlerdir.

$$I_y = (0.5 + 0.3\beta)(\cos \theta_z)^{1/3} \cdot (I_w - I_d) \quad 2.40$$

Paltridge ve Platt, yayılı ışınımı üç bileşene ayırıp ve bu bileşenleri ayrı ayrı incelemişlerdir (Iqbal, 1983).

$$I_y = I_{dr} + I_{da} + I_{dm} \quad 2.41$$

$I_{dr}$ ,  $I_{da}$ ,  $I_{dm}$  sırası ile Rayleigh saçılması, aerosol saçılması, yeryüzü ve atmosfer arasındaki yansımaları ifade etmektedir. Yayılı ışınımın Rayleigh saçılması bileşeni;

$$I_{dr} = I_0 \cos \theta_z \tau_0 [0.5(1 - \tau_r)] \tau_a \quad 2.42$$

şeklinde dir. Yayılı ışınımın Aerosol saçılması bileşeni ise,

$$I_{da} = I_0 \cos \theta_z (\tau_0 \tau_r - \alpha_w) [F_c W_0 (1 - \tau_a)] \quad 2.43$$

şeklinde olup  $F_c$  : aerosol tarafından öne doğru saçılmanın toplam saçılmaya oranını  $W_0$ : aerosol tarafından öne doğru saçılma albedosudur. Bird ve Hulstrom  $W_0$  parametresinin, yerleşim bölgelerinde (şehirlerde) aerosollerin ışınımı hem saçtıklarını hemde yuttuklarını dikkate alarak 0.9 olarak, aerosolde yalnız saçılma var ise 1 olarak tespit etmişlerdir. Yayılı ışınımın atmosfer içerisindeki yansımaları ( $I_{dm}$ )

$$I_{dm} = \frac{(I_d \cos \theta_z + I_{dr} + I_{da}) f_3 \cdot \rho_a^I}{(1 - f_3 \cdot \rho_a^I)} \quad 2.44$$

ifadesi ile hesaplanır ( $f_3$  : yüzey albedosu  $\rho_a^I$  bulutsuz gökyüzü albedosu).

$$\rho_a^I = 0.0685 + 0.17 (1 - \tau_a^I)w_0 \quad 2.45$$

2.45 denkleminde verilen  $\tau_a^I$  değeri 2.12 nolu denklemde  $m$  değerinin yerine  $1.66P/P_0$  yazılması ile elde edilir.

Bird ve Hulstrom'ın yayılı ışınım hesap tarzı temel olarak, Paltridge ve Platt'in ifadesi ile  $I_{dr}$ ,  $I_{da}$ nın haricinde aynıdır. Farklı olarak verilen  $I_{dr}$ ,

$$I_{dr} = \frac{0.79 \cdot I_0 \cdot \cos \theta_Z \cdot \tau_0 \cdot \tau_g \cdot \tau_w \cdot \tau_{aa} \cdot 0.5(1 - \tau_r)}{1 - m + m^{1.02}} \quad 2.46$$

dir. İfadedeki  $\tau_{aa}$ , Direkt ışınım süresince aerosol yutmasından ve  $\tau_g$ ; atmosferdeki çeşitli gazlardan dolayı geçirgenlik ifadesi olup,

$$\tau_{aa} = 1 - (1 - w_0)(1 - m + m^{1.06})(1 - \tau_a) \quad 2.47.a$$

$$\tau_g = \exp(-0.0127m^{0.26}) \quad 2.47.b$$

şeklinde tanımlanabilir. Yayılı ışınımın aerosol saçılması bileşeni  $I_{da}$ ,

$$I_{da} = \frac{0.79 \cdot I_0 \cdot \cos \theta_Z \cdot \tau_0 \cdot \tau_g \cdot \tau_w \cdot \tau_{aa} \cdot F_c \cdot (1 - \tau_{as})}{1 - m + m^{1.02}} \quad 2.48$$

dir. İfadedeki  $\tau_{as}$  ise,

$$\tau_{as} = \frac{\tau_a}{\tau_{aa}} \quad 2.49$$

gibi ifade edilir. Aerosol tarafından öne doğru saçılmanın toplam saçılmaya oranı ( $F_c$ ) değerlerinin Zenit açısı ( $\theta_Z$ ) ile değişimi ise aşağıdaki tabloda verilmiştir.



**Tablo 2.1** Fc -  $\theta_z$  (Derece) değişimi

$\theta_z$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Fc	0.92	0.92	0.90	0.90	0.90	0.85	0.78	0.78	0.6	0.5

### 2.5. Bulutlu Gökyüzünde Güneş Işınımı

Bulutlu havada direkt işınımın aerosollerden geçme kesri  $\tau_a$  ile, gökyüzünün bulutlu kesri c ile gösterilecek olursa bulutlu gökyüzünde direkt işınım şiddeti,

$$I_{db} = I_a \cos \theta_z \tau_a (1-c) \quad 2.50$$

olarak yazılır. Burada  $I_a$  atmosfer dışı işınım olup Garg ve Datta (1993), tarafından;

$$I_a = I_0 \left[ 1 + 0.035 \cdot \cos\left(2\pi \frac{N-4}{366}\right) \right] \quad 2.51$$

şeklinde tanımlanmıştır (N yıl içindeki gün sayısıdır). Atwater ve Ball (1981), bulutlu gökyüzünde güneş işınımını hesaplamak için geliştirdikleri modelde; bulutsuz gökyüzündeki işınımın direkt bileşenini, direkt işınım için bulut geçirgenlik fonksiyonu  $(\tau_b)_d$  ile bulutsuz gökyüzündeki toplam işınımı ise toplam işınım bulut geçirgenlik fonksiyonu  $(\tau_b)$  ile çarpmışlardır.

$$(\tau_b)_d = \sum_{i=1}^n (1 - c_i) \quad 2.52$$

$$(\tau_b) = \sum_{i=1}^n [1 - c_i (1 - \Psi_{bi})] \quad 2.53$$

Burada  $c_i$  bulut miktarı,  $\Psi_{bi}$  ise bulut geçirgenlik fonksiyonudur. Bulut geçirgenlik fonksiyonları optik hava kütlesi (m) ne bağlı olarak Tablo 2.2. de verilmiştir.

**Tablo 2.2.** Bulut tipleri ve geçirgenlik fonksiyonları

Bulut tipi	Geçirgenlik fonksiyonu
Sis	$\Psi_b=0.1626+0.0054m$
Stratus	$\Psi_b=0.2684-0.0101m$
Stratokümülüs	$\Psi_b=0.3658-0.0149m$
Kümülüs	$\Psi_b=0.3658-0.0145m$
Kümülonimbüs	$\Psi_b=0.2363+0.0145m$
Altostratus	$\Psi_b=0.4130-0.0014m$
Altokümülüs	$\Psi_b=0.5456-0.0236m$
Sirrüs	$\Psi_b=0.8717-0.0179m$
Sirrostratus	$\Psi_b=0.9055-0.0636m$

Goldberg ve Klein (1980), bulutlu gökyüzünde toplam güneş ışınımını hesaplamak için, bulutsuz gökyüzündeki toplam ışınım değerlerini  $\tau_b$  ile çarpmışlardır. Araştırmacılar c bulut örtüsü 7 değerinden az olduğunda,

$$\tau_b=1.005-0.229c-0.0010c^2 \quad 2.54$$

formülünü, c'nin 7 ve daha büyük değerlerinde ise;

$$\tau_b=0.116+0.3031c-0.02456c^2 \quad 2.55$$

formülünü kullanmışlardır.

## 2.6. Güneş Işınım Modelleri

Tüm modellerde hava kütlesi, hava basıncı, yoğuşturulabilir su buharı tabaka kalınlığı, türbidite ve dalga boyu katsayıları, yoğuşma noktası sıcaklığı, yatay görüş uzaklığı, zenit açısı ve atmosfer dışı ışınımın düzeltilmiş şekli kullanılarak, saçma ve yutma geçirgenlikleri, daha sonra bulutsuz gökyüzündeki direkt ve yayılı ışınım şiddetleri bulunur. Hesaplamalarda güneş saati kullanıldığından, memleket saati ile güneş saati arasındaki bağıntı:

$$GS = ES - (45 - BY) \frac{4}{60} + \frac{ZD}{60} \quad 2.56$$

olarak verilmiştir. Burada GS güneş saatini, ES Eskişehir saatini, BY boylamı, ZD ise zaman eşitliğini göstermektedir. Eskişehir ili için ZD değeri Ağustos ve Eylül ayları için sırası ile 4.95 ve 3.75 olarak alınmıştır (Kılıç ve Öztürk, 1983). Işınım şiddetlerini beş ayrı model kullanarak hesaplayan bilgisayar program çıktısı ve algoritması Ek-2 de ve modellerde kullanılan ifadeler tablo halinde, Ek-1a,b,c,d,e' de verilmiştir.

### 2.6.1. Birinci ışınım modeli

Geliştirilen birinci modelde Lacis ve Hansen'in ozon geçirgenliği, Paltridge ve Platt'in su buharı yutması, Davies ve Hay'in Rayleigh saçılması, Pinoza ve arkadaşları tarafından verilen aerosol saçılması ifadelerinden yararlanılmıştır. Işınımın direkt bileşeni Paltridge ve Platt'in ifadesi ile hesaplanmıştır. Bu modelde ışınımın yayılı bileşeni 3 alt grupta incelenmiştir. Yayılı ışınımın üç bileşeni sırası ile; Rayleigh saçılması bileşeni, aerosol saçılması bileşeni ile yeryüzü ve atmosfer arasındaki yansımaları ifade etmektedir. Yayılı ışınımın Rayleigh saçılması bileşeni zenit açısının, ozon geçirgenliğinin, aerosol saçılması sonucu geçirgenliğin fonksiyonu olarak incelenmiştir. Aerosol saçılması sonucu olarak oluşan yayılı ışınım, zenit açısı, ozon geçirgenliği, Rayleigh saçılması, su buharı yutması ve aerosol tarafından öne doğru saçılma albedosunun fonksiyonu olarak incelenmiştir. Atmosfer içindeki yansımalar ise; yüzey albedosu, bulutsuz gökyüzü albedosu, direkt ışınım ve yayılı ışınımın Rayleigh saçılması ile aerosol saçılması bileşeninin fonksiyonu olarak incelenmiştir. Su buharı tabaka kalınlığı Leckner'in

geliştirdiği formül ile hesaplanmıştır Rayleigh saçılmasından sonraki geçirgenlik, optik hava kütlesinin fonksiyonu olarak hesaplanmıştır. Bulutluluğuda içine alan bu modelde Goldberg ve Klein çalışmasında verilen bulut geçirgenliği ifadelerinden yararlanılmıştır ( Ek-1.a).

### 2.6.2. İkinci ışınım modeli

Temel olarak birinci ışınım modeli ile aynı olup, farklı araştırmacıların geliştirdiği ifadelerden faydalanılmıştır. Ozon yutması sonucu geçirgenlik ve Rayleigh saçılması Bird ve Hulstrom'un ifadesi ile hesaplanmakta olup, bu modelde ışınımın direkt bileşeni Iqbal'in verdiği ifade ile elde edilmektedir. Yayılı ışınımın Rayleigh saçılması ve aerosol saçılması bileşeni, Bird ve Hulstrom'un geliştirdiği ifadelerle ve modelde yayılı ışınımın atmosfer içindeki yansımaları ise, birinci modelde kullanılan ifade ile bulunmaktadır (Ek-1.b).

### 2.6.3. Üçüncü ışınım modeli

Üçüncü ışınım modelinde Robinson ve Sellers'in çalışmaları sonucu elde ettikleri ifadelerden ve Carrol'un ifadelerinden yararlanılmıştır. Bu modelde atmosferin değişik bileşenlerine ait (subuharı, aerosol, toz, ozon, karbondioksit, oksijen) geçirgenlik değerleri Beer kanunlarına göre yazılmış olup direkt ışınım, zenit açısının, güneş sabitinin ve toplam geçirgenliğin fonksiyonu olarak hesaplanmıştır. Yayılı ışınım iki bileşende incelenmiştir. Bu bileşenler sırası ile Rayleigh ve aerosol saçılmasıdır. Bu modelde yeryüzü ile atmosfer arasındaki yansımalar ihmal edilmiştir (Ek-1.c).

### 2.6.4. Dördüncü ışınım modeli

Bu modelde Davies, Schertzer ve Nunez'in tanımladığı atmosferik geçirgenlik, ifadesi kullanılmıştır. Bu modelde direkt ışınım bileşenleri hesaplanır iken, Rayleigh saçılmasında öne doğru saçılma albedosu 0.5, Mie saçılmasında öne doğru saçılma albedosu  $0.3\beta$  ( $\beta=0.1-0.01$ ) değerini almaktadır. Yayılı ışınım, ilgili modelde yüzey albedosu sıfır alınarak hesaplanmaktadır (Ek-1.d).

### 2.6.5 Beşinci ışınım modeli

Beşinci ışınım modelinde ortalama geçirgenlik değeri tanımlanmıştır  $\tau = f(\tau_r, \tau_w, \tau_d)$ . Yatay düzleme gelen toplam ışınım değeri, yüzey albedosu, yansıtma oranı, zenit açısı ve toplam geçirgenliğin fonksiyonu olarak verilmiştir. Yayılı ışınımın hesabında ise Carrol'un ifadelerinden yararlanılmıştır. Bulutsuz gökyüzünde ise yansıtma oranı 0.0685 olarak alınmıştır (Ek-1.e).

### 2.7. Toplaca Gelen Işınım

Güneş ışınımının eğik düzleme geliş açısı  $\theta_g$  ve zenit açısı  $\theta_z$  açısı olmak üzere, eğik düzleme gelen direkt güneş ışınım  $I_{ed}$ ,

$$I_{ed} = I_d \cdot \cos\theta_g \quad 2.57$$

olarak ifade edilir. Herhangi bir düzleme güneş ışınlarının ilk gelişi, gün doğuşu veya düzleme paralel geldiği ilk an, son gelişi ise gün batışı veya paralel geldiği son an şeklinde tanımlanmıştır. Güneş ışınları yüzeye paralel geldiği an ( $\theta_g=90^\circ$ ) eğik düzleme güneş ışınlarının ilk geliş( $H_{1p}$ ) ve son düşüş ( $H_{2p}$ ) saat açıları,

$$D_1 = \sin a_z \cdot \cos d \cdot \cos s \quad 2.58$$

$$D_2 = \cos d \cdot \cos e \cdot \cos s + \cos a_z \cdot \sin e \cdot \sin s \quad 2.59$$

$$D_3 = \sin d \cdot \sin e \cdot \cos s - \cos a_z \cdot \cos e \cdot \sin s \quad 2.60$$

$$C^2 = D_1^2 + D_2^2 + D_3^2 \quad 2.61$$

çözümleri elde edilir. Burada s toplaç eğimi ve  $a_z$ , güneş azimut açısı olup tam güneye dönük düzlemler için sıfırdır Böylece güneş ışınlarının yüzeye paralel geldiği saat açıları  $C^2 > 0$  olmak üzere,

$$H_{1p} = 2 \arctan \frac{D_1 - C}{D_2 - D_3} \quad 2.62$$

$$H_{2p} = 2 \arctan \frac{D_1 + C}{D_2 - D_3} \quad 2.63$$

şeklinde yazılabilir (Tablo 2.3).  $\theta_g$  ise,

$$\cos \theta_g = D_2 + D_3 \quad 2.64$$

ifadesiyle tespit edilir (Kılıç ve Öztürk, 1983).

**Tablo 2.3.** Eğik düzleme güneşin ilk geliş ve son düşüş saat açıları

$\theta_g$		İLK GELİŞ SAAT AÇISI, $H_1$	SON DÜŞÜŞ SAAT AÇISI, $H_2$
$\cos(\theta_g) > 0$	$C^2 > 0$	$\max(H_{1p}, -H)$	$\min(H_{2p}, H)$
$(\theta_g) < 90^\circ$	$C^2 < 0$	$-H$	$H$
$\cos(\theta_g) < 0$	$C^2 > 0$	$\max(H_{2p}, -H)$	$\min(H_{1p}, H)$
$(\theta_g) > 90^\circ$	$C^2 < 0$	güneş ışını yüzeye gelmez	güneş ışını yüzeye gelmez

Burada  $-H$  ve  $H$ , gün doğuş ve batış saat açılarıdır

Eğik düzleme gelen direkt güneş ışınımının yatay düzleme gelen direkt güneş ışınımına oranı ise:

$$R_d = \frac{I_{cd}}{I_d} = \frac{\cos \theta_g}{\cos \theta_z} = \frac{\cos(e-s) \cdot \cos d \cdot \cosh + \sin(e-s) \cdot \sin d}{\cos e \cdot \cos d \cdot \cosh + \sin e \cdot \sin d} \quad 2.65$$

olarak ifade edilir. Eğik düzleme gelen toplam ışınım, direkt ve yayılı güneş ışınımaları ile yansiyarak gelen ışınımın toplamıdır. Çevrenin yansıtma oranı  $\rho$  ve yatay düzleme gelen toplam ışınım  $I_T$  olduğuna göre, eğik düzleme yansiyarak gelen ışınım,

$$I_{ya} = I_T \cdot \rho \cdot \frac{1 - \cos(s)}{2} \quad 2.66$$

şeklinde yazılabilir. Çevrenin yansıtma oranı  $\rho$ , bitki örtüsüne, topoğrafik yapıya ve kar durumuna bağlı olarak değişir (Tablo 2.4). Tablodan görüleceği üzere, yansıtma oranları açık renkler için büyük, koyu renkler için küçük değerler almaktadır.

**Tablo 2.4.** Yansıtma oranı değerleri

Yüzey	$\rho$	Yüzey	$\rho$
Kar (Yeni yağmış)	0.75	Gazel (Ölü yaprak)	0.30
Su yüzeyleri	0.04	Kuru ot	0.30
Kozalaklı orman (Kışın)	0.07	Yeşil ot	0.20
Ormanlar (Sonbaharda)	0.26	Zifli çatı	0.13
Aşınmış betonarme	0.22	Kırılmış taş yüzeyleri	0.20
Koyu renkli bina yüzeyi	0.27	Açık renkli bina yüzeyi	0.60

Eğik düzleme gelen yayılı ışınım; yatay düzleme bir anda gelen yayılı güneş ışınımı ve toplaç eğimine bağlı olarak,

$$I_{ey} = I_y \cdot \frac{1 + \cos(s)}{2} \quad 2.67$$

şeklinde ifade edilir. Böylece eğik düzlem üzerine gelen toplam ışınımın, direkt yayılı ve yansiyarak gelen ışınımın toplamı olduğu görülür.

$$I_{ET} = I_{cd} + I_{ey} + I_{ya} \quad 2.68$$

Deneylerin yapıldığı günler için, yatay ve eğik düzleme gelen ışınım şiddeti değerleri Ek-3'te verilmiştir.

### 3. TOPLAÇ PERFORMANSININ TESPİTİ

Işınımın ısı geçişinde maddesel temas olmayabilir. Belirli bir sıcaklıkta bulunan bir cisim ısı ışınım neşreder. Işıma enerjisinin elektromanyetik dalgalarla ışık hızında veya foton denilen kütsüz parçacıklarla nakledildiği düşünülebilir. Boşluktaki ışık hızı  $C_0$ ,  $2.997925 \times 10^8$  m/sn olduğuna göre kırma indisi  $n$  olan bir ortamda ışık hızı  $C=C_0/n$  olur. Dalga boyu ile frekans arasındaki  $\lambda\nu=C$  bağıntısından dolayı ışınım farklı kırma indisindeki bir ortama girince, frekansı değişmez ancak dalga boyu değişir.

Işınımı geçiren yüzeye gelen ışınımın belli bir kesri yansıtılırken, bir kısmı yutulur, geriye kalan ışınım ise yüzeyin diğer tarafına geçirilir. Sırası ile yansıtma oranı, yutma oranı, geçirme oranları; ( $\rho$ =Yansıtılan ışınım/gelen ışınım,  $\alpha$ =Yutulan ışınım/gelen ışınım,  $\tau_c$  =Geçirilen ışınım/gelen ışınım) tanımlandığı üzere,

$$\alpha + \rho + \tau_c = 1 \quad 3.1$$

ifadesi yazılabilir. Bu ışınımın korunumu prensibidir. Işınımı geçirmeyen opak yüzeylerde  $\tau_c = 0$  olduğundan dolayı, yansıtma oranı ve yutma oranları,

$$\alpha + \rho = 1 \quad 3.2$$

şeklinde ifade edilebilir.

#### 3.1. Yutma Geçirme Çarpımı

Saydam örtüyü geçerek, yutucu yüzey üzerine gelen güneş ışınımının büyük bir kısmı yüzey tarafından yutulurken, bir kısmı yansıtılır. Yansıtılan ışınım, saydam örtünün alt kısmına gelir ve bir kısmı geçerken bir kısmı yeniden levhaya yansıtılır. Levha tarafından yutulan toplam ışınım kesrine ( $\tau\alpha$ ) yutma geçirme çarpımı denir. Toplayıcı yüzeyin eğim açısı  $s$ , enlem açısı  $e$ , saat açısı  $h$ , ve deklinasyon açısı  $d$  olmak üzere güneş ışınlarının geçirgen örtüye geliş açısı,



$$\cos\theta_g = \sin d \cdot \sin(e - s) + \cos d \cdot \cosh \cdot \cos(e - s) \quad 3.3$$

dır. Böylece yutma katsayısı  $x = \cos\theta_g$  alınarak,

$$\alpha = 1 - \exp(-0.0255 - 6.683 \cdot x + 5.947 \cdot x^2 - 2.48 \cdot x^3) \quad 3.4$$

şeklinde verilir. Havanın ve saydam örtünün kırma indisleri sıra ile  $n_1$  ve  $n_2$  ise kırılma açısı 3.5. bağıntısı ile hesaplanır.

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sin\theta_g}{\sin\theta_k} \quad 3.5$$

Hesaplamalarda  $n_1=1$  ve  $n_2=1.5$  alınır. Buna göre geçirgenliğe etkiyen, açılar ve deklinasyon değerine göre değişen  $r_0$  faktörü,

$$r_0 = 0.5 \cdot \left[ \frac{\sin^2(\theta_k - \theta_g)}{\sin^2(\theta_k + \theta_g)} + \frac{\tan^2(\theta_k - \theta_g)}{\tan^2(\theta_k + \theta_g)} \right] \quad 3.6$$

olarak yazılır. N adet örtü bulunan bir toplayıcıda yutma ihmal edilirse geçirgenlik değeri,

$$\tau_c = \frac{1 - r_0}{1 + (2 \cdot N - 1) \cdot r_0} \quad 3.7$$

olacaktır. Çok örtülü toplayıcılardaki geçirgenlik katsayısı ise,

$$\tau = \tau_c \cdot e^{-\beta_1 \cdot L_{LC}} \quad 3.8$$

şeklinde dir. Burada  $\beta_1$  homojen ortamın ışınımı azaltma katsayısı,  $L_{LC}$  ışınımın katettiği mesafe ( $\delta$  saydam örtünün kalınlığı ve  $\theta_k$  ise kırılma açısı) olmak üzere,

$$L_{LC} = \frac{\delta}{\cos\theta_k} \quad 3.9$$

ile tayin edilir. Örtü sistemi gelen tüm ışınımı geçirmez. Işınımın belli bir kesrini yutar. Bu parametreler dikkate alınarak yutma geçirme çarpımı,

$$\tau\alpha = \frac{\tau(\theta_g)\alpha}{1 - (1-\alpha)\rho} \quad 3.10$$

dır. İfadede,  $\rho$  çift cam örtülü bir sistem için tabaka sayısına bağlı bir katsayı olup yayılı yansımaya katsayısı olarak adlandırılmaktadır.  $\rho$ , tek camlı bir toplayıcı için 0.24 alınabilir. Efektif yutma geçirme çarpımı tek camlı bir toplaç için aşağıdaki bağıntı yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$(\tau\alpha)_{\text{eff}} = \tau\alpha + 0.27(1 - e^{-\beta_1 J_{LC}}) \quad 3.11$$

$\tau\alpha$  ve  $(\tau\alpha)_{\text{eff}}$  değerlerinin gün boyu değişimleri beşinci bölümde verilmiştir.

### 3.2. Toplaç Performansının Sürekli Hal Modeli

Düzlem toplaçlarda, kullanılan performans modelleri, Hottel ve Woertez (1942), Hottel ve Whiller (1958) ve Bliss (1959) tarafından geliştirilmiştir. Bu modellerde, toplaç bileşenlerinin ısıl dirençleri ihmal edilmiştir. Tipik düzlem toplaç, alt ve üst toplama borularını birleştiren, bunlara dik ve daha küçük çaplı borulardan ibarettir. (Şekil 3.1.). Toplaç performansına, toplama borularının etkisi ihmal edilmiştir. İç ısı üretimi düzgün fiziksel özelliklere sahip bir katıda, sürekli hal ısı iletimi denkleminde hareketle;  $(\tau\alpha)_{\text{eff}}$  efektif yutma geçirme çarpımı,  $I$  toplaça düşen ışıma,  $K_K$  toplaç toplam ısı transfer katsayısı,  $T_L$  levha (yutucu tüzey) sıcaklığı,  $T_C$  çevre sıcaklığı,  $k_L$  levhanın ısı iletim katsayısı olmak üzere,  $y$  eksenini boyunca sıcaklık dağılımı,

$$\frac{d^2T}{dy^2} + \frac{(\tau\alpha)_{\text{eff}} \cdot I - K_K(T_L - T_C)}{k_L \cdot \delta_L} = 0 \quad 3.12$$

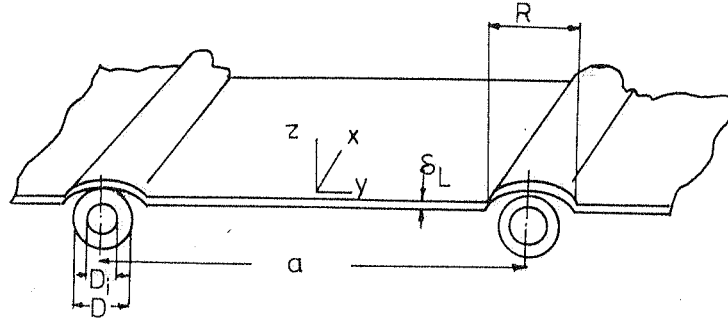
şeklinde yazılabilir.

$$\left[ \frac{dT}{dy} \right]_{y=0,x} = 0, \quad T_Y = \frac{a - R}{2} = T_{b,x} \quad \text{sınır şartları ve } b_L = \sqrt{\frac{K_K}{k_L \cdot \delta_L}} \quad \text{olmak üzere,}$$

sıcaklık dağılımı,

$$T = T_{b,x} = \frac{\cosh(b_L \cdot y)}{\cosh\left[b_L \frac{a-R}{2}\right]} + T_{\zeta} + \frac{I}{K_K} \left[ 1 - \frac{\cosh(b_L \cdot y)}{\cosh\left[b_L \frac{a-R}{2}\right]} \right] \quad 3.13$$

ile ifade edilir.



Şekil 3.1. Düzlem toplaç yutucu levhası

Boruya her iki yan tarafındaki kanattan iletim ile geçen ve borunun direkt güneş ışınımından yuttuğu enerjileri yazarak, birim yüzeyden kazanılan faydalı ısı  $q_f$ ,

$$q_f = [b + F \cdot (a - R)] \cdot [I - K_K \cdot (T_{b,x} - T_{\zeta})] \quad 3.14$$

dir. İfadedeki F kanat verim faktörü,

$$F = \left[ \frac{\tanh b_L \left( \frac{a-R}{2} \right)}{b_L \cdot \frac{a-R}{2}} \right] \quad 3.15$$

ile tayin edilir. Levhadan boruya geçen ısı akışında, dirençler yazılacak olursa,

$$q_f = \frac{T_{b,x} - T_{s,x}}{r_b + r_d + r_i} \quad 3.16$$

ifadesi elde edilir. Burada,  $r_b$ ,  $r_d$ ,  $r_i$  sırası ile, birleştirme parçası, boru cidarı ve boru iç direnci,  $T_{s,x}$  ise x mesafesindeki su sıcaklığına karşılık gelmektedir. Bağlıtadaki, x mesafesindeki boru sıcaklığı  $T_{b,x}$  yok edilerek,

$$q_f = a \cdot F' \cdot [I - K_K \cdot (T_{s,x} - T_\varphi)] \quad 3.17$$

elde edilir. İfadedeki  $F'$  “toplaç verim faktörü” olup aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$F' = \frac{\frac{1}{K_K}}{a \cdot \frac{1}{K_K} \cdot (R + (a - R) \cdot F) + r_b + r_d + r_i} \quad 3.18$$

$dx$  elemanındaki akışkan kütesinin enerji dengesi yazılarak, toplaç verim faktörü  $F'$  nün ve toplaç toplam ısı transfer katsayısı  $K_K$ 'nin sabit olduğu sürece, diferansiyel denklemin çözümünde  $x = L_K$  (levha boyu) konularak, su çıkış sıcaklığı,

$$T_{s\varphi} = \left[ T_\varphi + \frac{I}{K_K} \right] - \left[ \frac{I}{K_K} - (T_{sg} - T_\varphi) \exp\left(-\frac{K_K \cdot F \cdot A_K}{M \cdot C_p}\right) \right] \quad 3.19$$

olur ( $T_{sg}$  su giriş sıcaklığı,  $A_K$  toplaç alanı). Toplam faydalı enerji,  $M$  su akış debisi,  $C_p$  su ısınma ısısı olmak üzere;

$$Q_f = M \cdot C_p \cdot (T_{s\varphi} - T_{sg}) \quad 3.20$$

olur. Bu denklemde  $T_{s\varphi}$  çekilip 3.19 denkleminde yerine yazılırsa,

$$Q_f = A_K \cdot F_R [I - K_K (T_{sg} - T_{s\varphi})] \quad 3.21$$

bulunur. Burada ,

$$F_R = \frac{M \cdot C_p}{A_K \cdot K_K} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{F' \cdot K_K \cdot A_K}{M \cdot C_p}\right) \right] \quad 3.22$$

dır.  $F_R$  ‘e “toplaç ısı kazanç faktörü” denir. Toplayıcılarda toplanan enerjinin, toplayıcı üzerine gelen anlık güneş ışınımına oranı “toplayıcı verimi” olarak tarif edilir. Anlık toplayıcı verimi:

$$\eta_t = F_R \cdot (\tau\alpha)_{\text{eff}} - F_R \cdot K_K \cdot P \quad 3.23$$

$$q_f = a \cdot F' \cdot [I - K_K \cdot (T_{s,x} - T_\varphi)] \quad 3.17$$

elde edilir. İfadedeki  $F'$  “toplaç verim faktörü” olup aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$F' = \frac{\frac{1}{K_K}}{a \cdot \frac{1}{K_K} \cdot (R + (a - R) \cdot F) + r_b + r_d + r_i} \quad 3.18$$

$dx$  elemanındaki akışkan kütesinin enerji dengesi yazılarak, toplaç verim faktörü  $F'$  nün ve toplaç toplam ısı transfer katsayısı  $K_K$ 'nın sabit olduğu sürece, diferansiyel denklemin çözümünde  $x = L_K$  (levha boyu) konularak, su çıkış sıcaklığı,

$$T_{s\varphi} = \left[ T_\varphi + \frac{I}{K_K} \right] - \left[ \frac{I}{K_K} - (T_{sg} - T_\varphi) \exp\left(-\frac{K_K \cdot F \cdot A_K}{M \cdot C_p}\right) \right] \quad 3.19$$

olur ( $T_{sg}$  su giriş sıcaklığı,  $A_K$  toplaç alanı). Toplam faydalı enerji,  $M$  su akış debisi,  $C_p$  su ısınma ısısı olmak üzere;

$$Q_f = M \cdot C_p \cdot (T_{s\varphi} - T_{sg}) \quad 3.20$$

olur. Bu denklemde  $T_{s\varphi}$  çekilip 3.19 denklemine yerine yazılırsa,

$$Q_f = A_K \cdot F_R [I - K_K (T_{sg} - T_{s\varphi})] \quad 3.21$$

bulunur. Burada ,

$$F_R = \frac{M \cdot C_p}{A_K \cdot K_K} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{F' \cdot K_K \cdot A_K}{M \cdot C_p}\right) \right] \quad 3.22$$

dır.  $F_R$  ‘e “toplaç ısı kazanç faktörü” denir. Toplayıcılarda toplanan enerjinin, toplayıcı üzerine gelen anlık güneş ışınımına oranı “toplayıcı verimi” olarak tarif edilir. Anlık toplayıcı verimi:

$$\eta_t = F_R \cdot (\tau\alpha)_{\text{eff}} - F_R \cdot K_K \cdot P \quad 3.23$$

şeklinde ifade edilir. P işletme noktası parametresi olup toplaç su giriş sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve toplaça gelen anlık ışınımın fonksiyonu olarak,

$$P = \frac{T_{sg} - T_{\varphi}}{I} \quad 3.24$$

şeklinde tanımlanır.  $N_c$  adet cam örtüden kaçan  $Q_{\dot{U}}$  ısı,  $(N_c+1)$  adet lineer olmayan denklem sisteminin çözümü, ortalama toplaç levha sıcaklığı,  $T_L$ ; ise levha sıcaklık dağılımının integrasyonu ile elde edilir.

$$T_L = \frac{1}{A_K} \cdot \int_0^{(a-b)z} \int_0^{L_K} T dx \cdot dy \quad 3.25$$

Taner (1988), yaptığı çalışmasında  $Q_{\dot{U}}$  'nün hesaplanabilmesi için, Woertz'un denklemini,

$$Q_{\dot{U}} = \frac{A_K \cdot (T_L - T_{\varphi})}{\frac{N}{C_{eg}} \sqrt[4]{\frac{T_m - T_{\varphi}}{N_c + f_r} + \frac{1}{h_r}}} + \frac{\sigma \cdot A_K (T_L^4 - T_{\varphi}^4)}{\frac{1}{\varepsilon_L} + \left[ \frac{2N_c + f_r + 1}{\varepsilon_c} \right] - N_c} \quad 3.26$$

şeklinde düzenlemiştir. İfadede,  $C_{eg}$ : toplaç eğimine bağlı bir sabite,  $f_r$  ise 0, 10 ve 20 m/h rüzgar hızlarında, 0.76, 0.36 ve 0.24 alınmıştır. Ayrıca  $\sigma$ , Stefan Boltzman sabiti ( $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ )  $\varepsilon_L$  levha,  $\varepsilon_c$  cam emisivitelidir.  $h_r$  cam ile çevre arasındaki film katsayısı olup 3.29. bağıntısı ile tayin edilebilir.

Klein'e göre (1973), toplaç üst kayıp katsayısı,

$$K_{\dot{U}} = \left[ \frac{N_c}{344 \left[ \frac{T_L - T_{\varphi}}{N_c + f_{k\dot{u}}} \right]^{0.31} + \frac{1}{h_r}} \right]^{-1} + \frac{\sigma \cdot (T_L + T_{\varphi})(T_L^2 + T_{\varphi}^2)}{\left[ \varepsilon_L + 0.0425N_c(1 - T_L) \right]^{-1} \left[ \frac{2N_c + f_{k\dot{u}} - 1}{\varepsilon_c} \right] - N_c} \quad 3.27$$

$$f_{k\dot{u}} = (1 - 0.04h_r + 5 \cdot 10^{-4}h_r^2)(1 + 0.058N_c) \quad 3.28$$

şeklindedir. K.S.Ong (1974), yaptığı çalışmasında toplaç levhası taşınım ısı transfer katsayısı için Hottel ve Woertz'in bağıntısı

$$h_L = \frac{1}{N_c} + \frac{\sigma(T_m^2 - T_c^2)(T_m^2 + T_c^2)}{\frac{1}{\varepsilon_L} + \frac{2N_c + f_h - 1}{\varepsilon_c} - N_c} \quad 3.29$$

$$C_h \left( \frac{T_m - T_c}{N_c + f_h} \right)^4 + \frac{1}{h_r}$$

nı kullanmıştır. ( $T_m$  sistem sıcaklığı,  $C_h=0.19$ ,  $N_c = 1$  adet,  $\varepsilon_L=\alpha_L$  ve  $h_r = 407 \text{ Btu/h ft}^2 \text{ F}$ ,  $\sigma = 0.1723 \cdot 10^{-8} \text{ Btu/ft}^2 \text{ F}^4$ ).

Mc. Adams'a göre  $h_r$ , rüzgar hızına bağlı olarak,

$$h_r = 5.7 + 3.8V \quad 3.30$$

şeklindedir ( $V$ , rüzgar hızı; m/sn). S.A.Klein (1975), toplaç üstünden kaybolan ısı için aşağıdaki bağıntıları geliştirmiştir (Bağıntılardaki  $s^\circ$  cinsinden toplaç eğimidir.).

$$Q_U = \frac{(T_L - T_c) \cdot A_k}{N_c} + \frac{\sigma(T_L^4 - T_c^4)A_k}{\frac{1}{T_L + 0.05N_c(1 - T_L)} \frac{2N_c + f_u - 1}{T_c} - N_c} \quad 3.31$$

$$\frac{C_U \left[ \frac{T_L - T_c}{N_c + f_U} \right]^{0.33}}{T_L} + \frac{1}{h_r}$$

$$f_u = (1 - 0.04h_r + 0.0005h_r^2)(1 + 0.091N_c) \quad 3.32$$

$$C_U = 365.9(1 - 0.00883s + 0.0001298s^2) \quad 3.33$$

$Q_A$  toplaç altından kaybolan ısı olup,  $L_i$  izolasyon kalınlığı,  $k_{izo}$  izolasyon malzemesinin ısı iletim katsayısı,  $h_a$  arka taraftaki taşınım ile ısı transfer katsayısı olduğuna göre;

$$Q_A = \frac{A_k(T_L - T_c)}{\frac{L_i}{k_{izo}} + \frac{1}{h_a}} \quad 3.34$$

şeklinde yazılabilir. Tabor  $h_a$  için 12.5 ila 25  $\frac{W}{m^2K}$  değerlerini tavsiye etmiştir. Toplaç kenarlarından ısı kaybı,  $A_C$  toplaç yanal yüzeyi,  $h_k$  kenar yüzeyinden çevreye taşınım ile ısı transfer katsayısı  $T_{yü}$  yanal yüzey sıcaklığı olmak üzere aşağıdaki gibidir.

$$Q_K = h_k A_C (T_{yü} - T_C) \quad 3.35$$

$$h_k = 0.5 \frac{W}{m^2K} \text{ tavsiye edilmektedir.}$$

Sonuç olarak toplaçın toplam ısı transfer katsayısı,

$$K_K = \frac{Q_{\ddot{U}} + Q_A + Q_K}{A_K \cdot (T_L - T_c)} \quad 3.36$$

olacaktır.

### 3.3. Depodan Çevreye Isı Kaybı

Depo ile çevre arasındaki ısı geçişi, silindirik depolarda, depo ve çevre sıcaklıkları sırası ile  $T_d$  ve  $T_c$  olmak üzere,

$$\frac{1}{K_d} = \frac{1}{h_d} + \frac{D_d \cdot \ln \frac{D_d}{D_i}}{k_{izo}} \quad 3.37$$

ile tayin edilir. İfadedeki  $K_d$ , deponun toplam ısı kayıp katsayısı,  $D_d$  ve  $D_i$  deponun izolasyonlu ve izolasyonsuz çapları, deponun dış yan yüzeyindeki taşınım ile ısı kayıp katsayısı  $h_d$  ise,

$$h_d = 1.42 \left( \frac{T_{dy} - T_c}{L} \right)^{0.25} \quad 3.38$$

dir.  $T_{dy}$  depo dış yüzey sıcaklığı,  $L$  tankın boyuna karşılık gelmektedir. 3.37 ve 3.38 bağıntıları yardımı ile hesaplanan, toplam kayıp katsayısı  $K_d$  ve dış yan yüzeydeki taşınım ile ısı kayıp katsayısı  $h_d$  değerlerinin, saatlik değişimleri beşinci bölümde verilmiştir.



Depo içindeki ısı değiştiricisinin tesirliliği ise ( $T_{dg}$  depo giriş sıcaklığı,  $T_{dc}$  depo çıkış sıcaklığı olmak üzere),

$$\varepsilon = \frac{T_{dg} - T_{dc}}{T_{dg} - T_d} \quad 3.39$$

ile hesaplanır. Kılıç ve ztrk (1983), Bir n zamanındaki depodaki suyun ortalama sıcaklığını,  $\Delta t$  süre önceki sıcaklığın ( $T_{d,(n-1)}$ ) ve  $\Delta t$  süresince sisteme enerji girişinin fonksiyonu olarak (depo kayıpları ihmal)

$$T_{dn} = \frac{1}{A+1} \left[ \frac{1}{2K_K} (I_n + I_{n-1}) + A \cdot T_{n-1} + \frac{1}{2} (T_{\varphi} - T_{\varphi,n-1}) \right] + T_{d,n-1} \quad 3.40$$

ile hesaplanmışlardır. İfadedeki A değeri,

$$A = \frac{M \cdot C_p}{A_K \cdot F_R \cdot K_K \cdot \varepsilon \cdot \Delta t} \quad 3.41$$

dır. Sistemde depo kayıpları göz önüne alındığında,

$$T_{dn} = \frac{1}{A+B+1} \left[ \frac{1}{2K_K} (I_n + I_{n-1}) + A \cdot T_{n-1} + \frac{1+B}{2} (T_{\varphi} - T_{\varphi,n-1}) \right] \quad 3.42$$

$$B = \frac{K_D \cdot A_D}{A_K \cdot F_R \cdot K_K \cdot \varepsilon} \quad 3.43$$

yazılabilir ( $A_D$  depo alanı). Hahne and Kallweit (1988), depo sıcaklığını, deneysel çalışmada elde edilen sıcaklık değerlerini kullanarak 3.44. deki gibi tanımlamışlardır.

$$T_{dn} = (T_{d,n-1} - T_{\varphi}) \left[ \frac{\exp(-K_D \cdot A_D \Delta t)}{M \cdot C_p} \right] + T_{\varphi} \quad 3.44$$

Geliştirilen teorik analiz sonucu elde edilen, yutucu yüzey, toplaç su çıkış, i depo, dış depo, depo ortalama su sıcaklıkları, beşinci bölümde ayrıntılı olarak verilmektedir.

#### 4. TERMOSİFON AKIŞLI SICAK SU SİSTEMLERİ

Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin en yaygın kullanılanı termosifon akışlı su ısıtma sistemidir. Sistem, düz toplayıcılardan, yalıtılmış bir depodan ve bunları bağlayan ızalasyonlu borulardan ibarettir. Açık veya kapalı devreli olduğu gibi şebeke basınçlı veya atmosfer basınçlı da olabilir. Toplayıcılarda ısınan su genişerek toplaçın üst kısmından depoya gider, yerini deponun altındaki soğuk su alır. Güneş ışınımının olduğu ve toplayıcı sıcaklığının depo sıcaklığından daha büyük olduğu müddetçe sirkülasyon devam eder. Sirkülasyonun olabilmesi için gerekli toplayıcı sıcaklığı ile depo sıcaklığı arasındaki fark, toplayıcının üst noktası ile deponun alt noktası arasındaki mesafeye ve borulardaki sürtünme kayıplarına bağlıdır. Yoğunluk farkıyla oluşan termosifon kuvvetin sürtünme kuvvetinden büyük olduğu süreç içerisinde sirkülasyon devam eder. Sirkülasyonun daha rahat olabilmesi için deponun toplayıcıdan daha yüksekte olması ve toplayıcının üst noktası ile deponun alt noktası arasındaki mesafe 40 cm, olmalıdır.

Doğal dolaşimli sıcak su sistemlerinde, akışkanın hareketi küçük yoğunluk farklarından meydana geldiği için, borulardaki sürtünme kayıpları ve yerel kayıplar (vana, dirsek, v.b) düşük olmalıdır. Bu nedenle toplayıcı ile depo arasındaki boru çaplarının minimum 20 mm olması gerekir (Uyarel ve Öz, 1987).

Doğal dolaşimli sıcak su sistemlerinin ısı analizini oldukça karmaşıktır. Sistemde dolaşan akışkanın debisi; toplayıcı üzerine gelen güneş ışınımı, toplayıcı ile depo arasındaki mesafe, sürtünme ve yerel kayıplar ile toplayıcı konstrüksiyonu gibi çok sayıda değişkene bağlıdır. Genel olarak doğal dolaşimli basit bir sıcak su sisteminde, akışkanın toplayıcı giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki farkın 10 °C, ve akışkan debisi için birim toplayıcı yüzey alanı başına debinin 0.009 kg/sn olması tavsiye edilir (Kılıç ve Öztürk, 1983).

##### 4.1. Termosifon Akışlı Güneş Toplaçlı Sıcak Su Üretim Sistemleri Üzerine Yapılmış Çalışmalar

Termosifon akışlı su ısıtma sistemi, Close'un (1962) öncülüğünde, Gupta ve Garg (1968) ile Ong (1976) tarafından yapılan araştırmalara konu olmuştur. Ong tarafından

yapılan çalışma çok daha detaylıdır. Çalışmada kullanılan toplaçlar 1.67 m uzunlukta ve 0.914 m genişlikte olup bakır levha üzerine 6 adet 4.7 mm dış çapında bakır borulardan oluşan, yutucu yüzeyi mat siyah ahşap boyası ile boyanmış, alttan 10 cm izole edilmiş, yutucu yüzey üzerine ise 3 mm lik cam yerleştirilmiştir. Depo 0.1 m<sup>3</sup> hacminde bakır malzemedan yapılmıştır. Toplaç eğimi 7.5° güneye dönük yerleştirilmiştir. Ong'un modelinde, tasarımın ekvatora yakın bir bölge için yapılmasından dolayı, toplacın yatayla yaptığı açı çok küçüktür.

Gupta ve Garg (1968), termosifon akışlı sıcak su sistemlerinin termal performansını nümerik yolla hesaplamak için bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir. Close tarafından yapılan çalışmada içine alan bu modelde, 2 farklı çapta toplaç borusundaki sirkülasyonun boru çapı ile değişimi incelenmiştir.

Orlando, Goldstein ve Magnoli (1978), çift akışkanlı sistem için matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Geliştirilen modelde kütlenin korunumu, enerji ve momentum eşitliklerini sistemin her parçası için ayrı ayrı yazmışlar ve denklemleri nümerik olarak çözmüşlerdir. Araştırmacılar teori ile deneysel veriler arasındaki %30'a varan sapmanın güneş ışınlarında meydana gelen ani dalgalanmadan olduğunu savunmuşlardır.

Shitzer ve arkadaşları (1979), kollektör boruları boyunca sıcaklık dağılımlarını, debi değerlerini deneysel olarak ölçmüşler ve ölçülen değerler ile teorik hesaplamalar arasında %33 lük bir fark olduğunu tespit etmişlerdir.

W.A.Kamal (1983), doğal dolaşimli düzlem toplaçlı sıcak su üretim sistemlerinin optimizasyonu üzerine araştırmalar yapmıştır. Dizayn kriteri olarak, depodaki ortalama sıcaklığın hesaplamalar sonunda maksimum olması alınmıştır. Mısır-İskenderiye iklim şartlarında depo yüksekliğinin depo boyuna eşit, depo izolasyonunun 4-5 cm cam yünü , depo alt seviyesi ile toplaç üst seviyesi arasındaki mesafenin sıfır, depoya giriş borusunun, depo üstünden depo boyunun %20' si kadar uzunlukta bir mesafe kadar aşağıda ve dönüş borusunuda depo altından, depo boyunun %10'u uzunlukta bir mesafe kadar üste bağlanması, toplaç ve bağlantı borularının çapları, toplaç boru çaplarından üç kat büyük olması ve optimum toplaç yalıtımının 6-7 cm olması gerektiğini göstermiştir.

yapılan çalışma çok daha detaylıdır. Çalışmada kullanılan toplaçlar 1.67 m uzunlukta ve 0.914 m genişlikte olup bakır levha üzerine 6 adet 4.7 mm dış çapında bakır borulardan oluşan, yutucu yüzeyi mat siyah ahşap boyası ile boyanmış, alttan 10 cm izole edilmiş, yutucu yüzey üzerine ise 3 mm lik cam yerleştirilmiştir. Depo 0.1 m<sup>3</sup> hacminde bakır malzemeden yapılmıştır. Toplaç eğimi 7.5° güneye dönük yerleştirilmiştir. Ong'un modelinde, tasarımın ekvatora yakın bir bölge için yapılmasından dolayı, toplacın yatayla yaptığı açı çok küçüktür.

Gupta ve Garg (1968), termosifon akışlı sıcak su sistemlerinin termal performansını nümerik yolla hesaplamak için bir bilgisayar programı geliştirmişlerdir. Close tarafından yapılan çalışmada içine alan bu modelde, 2 farklı çapta toplaç borusundaki sirkülasyonun boru çapı ile değişimi incelenmiştir.

Orlando, Goldstein ve Magnoli (1978), çift akışkanlı sistem için matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Geliştirilen modelde kütlelerin korunumu, enerji ve momentum eşitliklerini sistemin her parçası için ayrı ayrı yazmışlar ve denklemleri nümerik olarak çözmüşlerdir. Araştırmacılar teori ile deneysel veriler arasındaki %30'a varan sapmanın güneş ışınlarında meydana gelen ani dalgalanmadan olduğunu savunmuşlardır.

Shitzer ve arkadaşları (1979), kollektör boruları boyunca sıcaklık dağılımlarını, debi değerlerini deneysel olarak ölçmüşler ve ölçülen değerler ile teorik hesaplamalar arasında %33 lük bir fark olduğunu tespit etmişlerdir.

W.A.Kamal (1983), doğal dolaşimli düzlem toplaçlı sıcak su üretim sistemlerinin optimizasyonu üzerine araştırmalar yapmıştır. Dizayn kriteri olarak, depodaki ortalama sıcaklığın hesaplamalar sonunda maksimum olması alınmıştır. Mısır-İskenderiye iklim şartlarında depo yüksekliğinin depo boyuna eşit, depo izolasyonunun 4-5 cm cam yünü, depo alt seviyesi ile toplaç üst seviyesi arasındaki mesafenin sıfır, depoya giriş borusunun, depo üstünden depo boyunun %20' si kadar uzunlukta bir mesafe kadar aşağıda ve dönüş borusunda depo altından, depo boyunun %10'u uzunlukta bir mesafe kadar üste bağlanması, toplaç ve bağlantı borularının çapları, toplaç boru çaplarından üç kat büyük olması ve optimum toplaç yalıtımının 6-7 cm olması gerektiğini göstermiştir.

Mertol (1981), çalışmasında Dutre, Cypers, Berghmans ve Dobbescher'in, termosifon sistem için hesapladıkları, akışkanın sıcaklığa bağlı termofiziksel özelliklerini ve De Winter'in, çift akışkanlı termosifon sistemde, ısı değiştiricilerinin sistem verimine etkisi konulu araştırmalardan yararlanmıştı.

Mertol ve Grief (1986), termosifon akışlı sistemlerin teorik analizi için geliştirdikleri modelde; suyun hızını ve termosifon konveksiyon parametresini, 4.1 ve 4.2 bağıntıları ile vermişlerdir.

$$V_{SU} = \frac{\pi \cdot D_p^2}{4} \left( \frac{g \cdot \beta_{SU} \cdot L_p \cdot \Delta T}{4 \cdot C_p \mu_0} \right)^{\frac{1}{2}} \quad 4.1$$

( $D_p$  bağlantı boru çapı,  $L_p$  sistemdeki toplam boru uzunluğu,  $\mu_0$  suyun ortalama dinamik viskozitesi,  $\beta_{SU}$  suyun genleşme katsayısı,  $\Delta T$  toplaç giriş ve çıkışındaki sıcaklık farkı,  $g$  yer çekimi ivmesi,  $C_p$  suyun ısınma ısısı )

$$\Gamma = 4 \cdot Ri \cdot \left( \frac{L_p}{D_p} \right)^2 \quad 4.2$$

Ri; Richardson sayısı,

$$Ri = \frac{g \cdot D_p \cdot \beta_{SU} \cdot \Delta T}{\rho_0 \cdot C_p \cdot V_{SU}^3} = \frac{Gr}{Re^2} \quad 4.3$$

şeklinde bulunur. 4.3 denkleminde,  $\rho_0$  ortalama sıcaklıktaki su yoğunluğuna,  $Gr$  Grashof sayısına ve  $Re$  Reynolds sayısına karşılık gelmektedir.

$$Re = \frac{\rho_0 \cdot V_{SU} \cdot D_p}{\mu_0} \quad 4.4$$

$$Gr = \frac{g \cdot \rho_0 \cdot D_p^3 \cdot \beta_{SU} \cdot \Delta T}{\mu_0^2 \cdot C_p \cdot V_{SU}} \quad 4.5$$

Y.F. Wang (1982), çalışmasında termosifon sisteme ait kollektör giriş ve çıkış sıcaklıkları ile ışınlam değerlerini ölçmüş, termosifon düşüsü ( $h_L$ ),

$$h_L = \frac{128vL_p M}{\pi g D_p^4} + \frac{8KM^2}{g\pi^2 D_p^4 \rho_{su}} \quad 4.6$$

olarak vermiştir. İfadede  $\rho_{su}$ , suyun yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ ),  $v$  kinematik viskozite ( $\text{m}^2/\text{sn}$ ) dir. Akış parametresi (K),

$$K = \frac{L}{D_p^4} \quad 4.7$$

dir. Kütleli debi (M),

$$M^3 + \frac{16v\Delta\rho_{su} \cdot L_p \pi}{K} M^2 + \frac{vg\pi^2 D_p^4}{16KC_p} = 0 \quad 4.8$$

şeklinde verilmiştir. Araştırmacının verdiği kütleli debi, kinematik viskozitenin, akış parametresinin, bağlantı boru çapı ve uzunluğu ile yoğunluğun fonksiyonudur.

Uhlemann ve Bansal (1985), termosifon akışlı sistemde, şebeke basınçlı iken deneysel verimin %41 basınçsız halde %47 olduğunu ve sistemden su çekildiği durumda her iki sistemin veriminin % 40' a düştüğünü tespit etmişlerdir. Uhlemann ve Bansal'ın termosifon debi için geliştirdikleri bağıntıda,  $\mu_0$ : suyun ortalama dinamik viskozitesi ( $\text{kg/msn}$ ), I: kollektör üzerine gelen ışınlam ( $\text{W/m}^2$ ),  $A_K$ : toplaç alanı ( $\text{m}^2$ ),  $H_x$ : ortalama tank yüksekliği (m),  $L_p$  bağlantı boruları toplam uzunluğu (m),  $\beta_{su}$  ( $1/K$ ): suyun hacimsel genişleme katsayısı ve  $F_R$  toplaç ısı çıkarma faktörüdür. Araştırmacılara göre kütleli debi,

$$M = 0.627 \cdot D_p^2 \cdot \rho_{su} \cdot \left( \frac{F_R \cdot I \cdot A_K \cdot \beta_{SU} \cdot H_x}{C_p \mu_0 \cdot L_p} \right)^{\frac{1}{2}} \quad 4.9$$

şeklindedir.

M.F.Young ve J.B.Bergquam (1984), termosifon akışlı güneş toplaçlı sıcak su sistemlerini, deneysel olarak araştırmışlar ve aşağıdaki ısı denge denklemlerini kullanarak termosifon sistem debisini,

$$M = \frac{\Delta Q_d + \Delta Q_y + \Delta Q_k}{C_p \cdot (T_{dg} - T_{dç})} \quad 4.10$$

şeklinde vermişlerdir.  $\Delta Q_d$  depodaki ısı kazancı,

$$\Delta Q_d = \sum_{i=1}^{N_d} \left( \frac{M_d \cdot C_p \cdot \Delta T_d}{\Delta t} \right)_i \quad 4.11$$

dir.  $\Delta Q_y$  kullanıma giden ısı,

$$\Delta Q_y = M_y \cdot C_p (T_y - T_{vs}) \quad 4.12$$

dir.  $\Delta Q_k$  depodan kaybolan ısı,

$$\Delta Q_k = \sum_{i=1}^{N_d} \left[ K_y \cdot A_{y_i} \cdot (T_i - T_{ç}) + K_{\bar{u}} \cdot A_{\bar{u}_i} \cdot (T_i - T_{ç}) \right] + K_a \cdot A_a \cdot (T_{N_d} - T_{ç}) \quad 4.13$$

dir ( $M_d$ : depodaki su ağırlığı,  $\Delta T_d$ :  $\Delta t$  zamanında depodaki sıcaklık değişimi). Deponun yan yüzeyinde ( $K_y$ ) ile alt yüzey ( $K_a$ ) ve üst yüzey ( $K_{\bar{u}}$ ) ısı transfer katsayıları,

$$K_y = \frac{1}{\left( \frac{1}{h_d} \right) + \left( \frac{D_d - D_i}{2 \cdot k_{izo}} \right) + \left( \frac{1}{h_i} \right)} \quad 4.14$$

$$K_{\bar{u}} = K_a = \frac{1}{\left( \frac{1}{h_d} \right) + \left( \frac{D_d - D_i}{2 \cdot k_{izo}} \right) + \left( \frac{1}{h_i} \right)} \quad 4.15$$

şeklinde dir. Çıkarılmış formülasyonda depo  $N_d$  parçaya bölünmüştür.  $T_1$  depo üst,  $T_{N_d}$  depo alt bölgesinin ortalama sıcaklığıdır.  $T_i$ :  $i$ . tabakanın sıcaklığı,  $K$  toplam ısı transfer katsayısı ve  $A$  ise ısı transfer yüzeyidir,  $d$ ,  $y$ ,  $k$  alt indisleri ise; depo, yük ve kayıp anlamında kullanılmıştır.  $h$ , film katsayısı olup  $d$  ve  $i$  indisleri: dış ve iç tarafı,  $k_{izo}$  izolasyon malzemesinin ısı iletim katsayısını temsil etmektedir. Depo çapı  $D$  ile verilmektedir. Depoya verilen suyun sıcaklığı  $T_{vs}$  ile gösterilmiştir.  $K_y$ ,  $K_{\bar{u}}$  ve  $K_a$ ; yan, üst ve depo altında toplam ısı transfer katsayılarıdır.

B.J.Huang ve C.T.Hsieh (1985), çalışmaları sonucunda geliştirdikleri modelde termosifon düşüsünü ikinci dereceden polinom şeklinde vermiştir. Denklemlerde  $v$ : kinematik viskozite ve  $B_0, B_1$  denklem sabitleridir.

$$H_L = B_0 \cdot v \cdot M + B_1 \cdot M^2 \quad 4.16$$

$$v(T) = \frac{1}{2.1482 \left( (T - 8.435) + \left[ 8078.4 + (T - 8.435)^2 \right]^{0.5} \right)} [\text{cm}^2/\text{sn}] \quad 4.17$$

Burada  $v(T)$ ; kinematik viskozitenin sıcaklıkla ( $^{\circ}\text{C}$ ) değişimini ifade etmektedir.

G.L.Morrison ve D.B.J.Ranatunga (1979), toplaktaki debi/sistemden çekilen debi oranı bire eşit olduğunda tank performansının yüksek olduğunu tespit ederek, yatay ve düşey tanklardaki güneş ışınlarının kırılmasını araştırarak, yatay tanktaki güneş ışınlarının kırılma değerinin düşey tank sisteminden %7 daha az olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada termosifon akış analizinde suyun yoğunluğu;  $\rho_{su}$ ,  $T_o$  ortalama sistem sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ) olmak üzere,

$$\rho_{su} = 1000 - 0.039 T_o - 0.00405 T_o^2 \quad 4.18$$

dır. Böylece sistemdeki termosifon düşü;

$$H_L = \frac{\int \frac{1}{451} \rho_{su} \cdot g \cdot dz - \int \frac{1}{124} \rho_{su} \cdot g \cdot dz}{\rho_{su} \cdot g} \quad 4.19$$

olacaktır. Burada  $z$  düşey eksendir.

#### 4.2. Kapalı Devre Termosifon Akışlı Güneş Toplaçlı Sistemin Teorik Analizi

Kapalı devre termosifon akışlı güneş toplaçlı sistemde, akış laminar kabul edilerek termosifon sistem su debisinin, toplayıcı giriş ve çıkış sıcaklık farklarını, sistemdeki basınç kaybını, depo sıcaklıklarının hesaplanmasını sağlayan matematiksel model geliştirilmiş olup teorik modelden yararlanarak, yazılan bilgisayar programı yardımı ile elde edilen veriler grafikler halinde beşinci bölümde verilmiştir. Formülasyonlarda kullanılan,  $D$  depo



ile toplaç arasındaki boruların iç çapı,  $D_f$  toplaç borusu iç çapı,  $D_h$  toplama borusu iç çapı,  $D_p$  bağlantı elemanları (dirsek, fittings, vb) iç çapına karşılık gelmektedir.

#### 4.2.1. Termosifon çevrimde mekanik enerji denklemi

Termosifon çevrimde,  $dz$  uzunluğundaki boru için Bernoulli denklemi yazılarak, sürtünme kaybı ;

$$dh_f = dp + \frac{\rho_{su} \cdot v \cdot dv}{g} + \frac{\rho_{su} \cdot g \cdot dz}{g} \quad 4.20$$

olur. Termosifonik sistemde hız ( $V$ ) ve basınç ( $P$ ) çok küçüktür. Kapalı çevrim için 4.20 denklemi integre edilerek,

$$h_f = \int \rho_{su} g \cdot dz \quad 4.21$$

ifadesi elde edilir. Sistemdeki sıcaklık farkı nedeni ile yoğunluk değişimi ise,

$$\rho_{su} - \rho_0 = \rho_0 \beta_{su} \cdot (T_0 - T) \quad 4.22$$

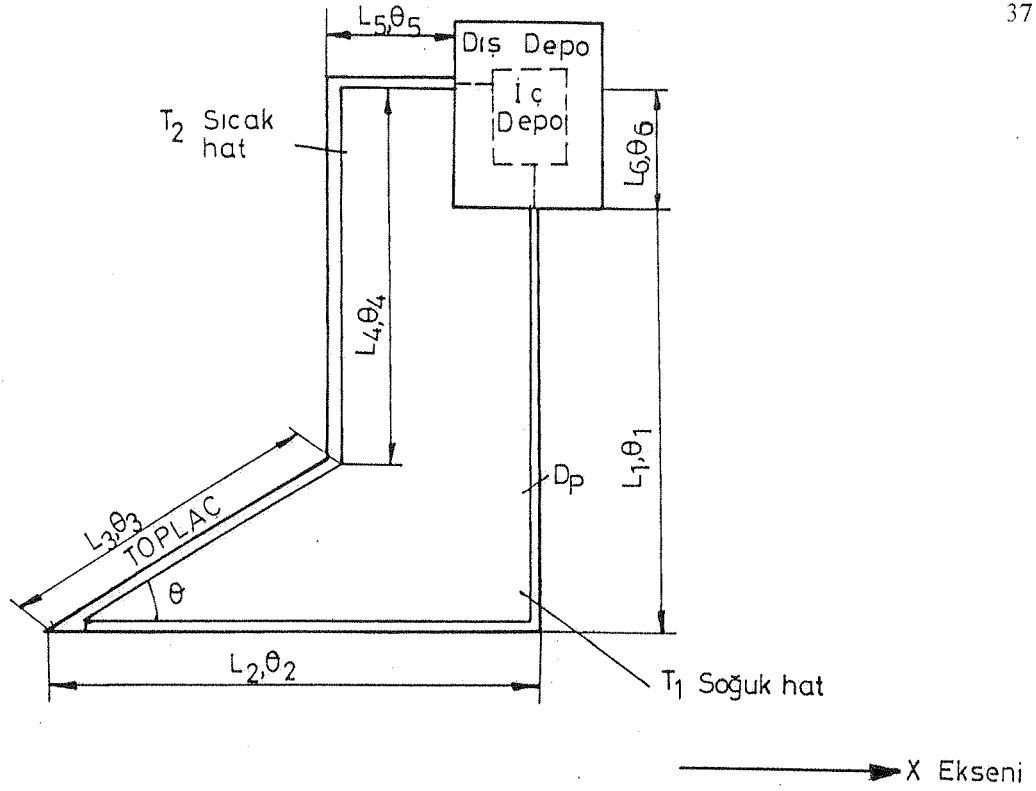
olur. Burada  $\beta_{su}$ : suyun hacimsel genleşme katsayısıdır. 4.22 denklemi 4.21 de yerine yazılacak olursa,

$$h_f = \rho_0 g \int (1 - \beta_{su} (T - T_0)) dz \quad 4.23$$

ifadesi bulunur. İfadedeki  $\rho_0$ ; ortalama sıcaklıktaki referans yoğunluktur. 4.23 denklemi termosifon sistem üzerinde integre edildiğinde, sürtünme kaybı bağıntısı,

$$\begin{aligned} h_f = & \rho_0 g (1 - \beta_{su} \cdot (T_1 - T_0)) \cdot L_1 \cdot \sin \theta_1 + \rho_0 g (1 - \beta_{su} \cdot (T_1 - T_0)) \cdot L_2 \cdot \sin \theta_2 + \\ & \rho_0 g (1 - \beta_{su} \cdot (\frac{T_1 + T_2}{2} - T_0)) \cdot L_3 \cdot \sin \theta_3 + \rho_0 g (1 - \beta_{su} \cdot (T_2 - T_0)) \cdot L_4 \cdot \sin \theta_4 + \\ & \rho_0 g (1 - \beta_{su} \cdot (T_2 - T_0)) \cdot L_5 \cdot \sin \theta_5 + \rho_0 g (1 - \beta_{su} \cdot (\frac{T_1 + T_2}{2} - T_0)) \cdot L_6 \cdot \sin \theta_6 \end{aligned}$$

şeklini alır.  $\theta_1 = 90^\circ$ ,  $\theta_2 = 180^\circ$ ,  $\theta_3 = 37^\circ$ ,  $\theta_4 = -90^\circ$ ,  $\theta_5 = 0^\circ$ ,  $\theta_6 = 90^\circ$  (Şekil 4.1) ve  $T_0 = (T_1 + T_2)/2$  dir.  $\theta$ , x ekseni ile boruların yaptığı açıdır.



Şekil 4.1. Deneysel çalışmanın yapıldığı termosifon sistemin şematik resmi

Böylece  $h_f$ ,

$$h_f = \rho_0 g ((L_1 - L_3 \cdot \sin \theta_3 - L_4 + L_6) + \frac{1}{2} \beta_{su} \cdot (T_2 - T_1) \cdot (L_1 + L_4)) \quad 4.24$$

olur (Şekil 4.1).

$$L_1 - L_3 \sin \theta_3 - L_4 + L_6 = 0 \quad (\text{şekil 4.1'den}) \quad 4.25$$

dır. Böylece,

$$h_f = \frac{1}{2} \rho_0 g \beta_{su} \cdot (L_1 + L_4) (T_2 - T_1) \quad 4.26$$

bağıntısı elde edilir. Sonuçta tanımlı parametre  $C_0$  ve  $C_1$ ,

$$C_0 = \frac{1}{2} \rho_0 g \beta_{su} \cdot (L_1 + L_4) \quad 4.27$$

$$C_1 = \frac{C_0}{\rho_0 g} \quad 4.28$$

olarak bulunur. L boyundaki boruda termosifon düşü için:

$$h_L = C_1 \cdot (T_2 - T_1) \quad 4.29$$

bağıntısı yazılır.

#### 4.2.2. Laminer akışta boru girişinde kütle akış oranı ve düşü

Sıkıştırılmayan akışkanlarda düşü, 4.30 bağıntısı ile ifade edilmektedir.

$$h_L = f \cdot \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad [\text{mSS}] \quad 4.30$$

4.30 bağıntısında f (sürtünme katsayısı), Re sayısının fonksiyonu olup laminer akışta aşağıdaki gibi verilir. Geçiş bölgesinde sürtünme faktörü,  $f = f(\text{Re}, e/d)$  dir (e/d; izafi pürüzlülük ve e ortalama pürüz yüksekliği, d boru çapıdır).

$$f = \frac{64}{\text{Re}} \quad 4.31$$

Reynolds sayısı, kütle akış oranı cinsinden:

$$\text{Re} = \frac{4M}{\pi \cdot \mu \cdot D} \quad 4.32$$

şeklindedir. Denklem 4.32, denklem 4.31 deki yerine yazılırsa,

$$f = \frac{64 \cdot \pi \cdot \mu \cdot D}{4M} \quad 4.33$$

şeklini alır. Suyun ortalama hızı , kütle akış oranı cinsinden,

$$V_{su} = \frac{4M}{\pi \cdot \rho_{su} \cdot D^2} \quad 4.34$$

dir. Denklem 4.33 ve denklem 4.34, 4.30 numaralı denklemdeki yerlerine yazılırsa L boyundaki boruda düşü ifadesi,

$$h_L = \frac{128 \cdot v \cdot L \cdot M}{\pi \cdot g \cdot D^4 \cdot \rho_{su}} \quad 4.35$$

olacaktır. Boru bağlantılarıdaki düşü ise,  $K_r$  : bağlantı elemanının direnç katsayısı olmak üzere:

$$h_L = \frac{K_r \cdot V_{su}^2}{2g} \quad 4.36$$

olduğuna göre, denklem 4.31 deki gibi ifade edilecek olursa,  $K_r$

$$K_r = f \frac{L}{D_p} \quad 4.37$$

olur. Carrier ve arkadaşları (1959), Farklı akış bağlantı elemanlarında eşdeğer boru boyu ( $\alpha_n = \frac{L}{D}$ ) değerlerini, standart T şeklindeki bağlantı elemanında, doğru akımda akış ayırıcı iken  $\alpha_1$ , dallı akım halinde akış ayırıcı iken  $\alpha_2$ , doğru ve dallı akım halinde  $\alpha_3$ , standart dirsek ( $90^\circ$ )  $\alpha_4$ , olarak adlandırmış ve sırası ile akış direnç katsayısı  $K_r$  için boru çıkışında 1, boru girişinde ise 0.78 değerlerini öngörmüştür. Denklem 4.35 Şekil 4.1 de gösterilen akış elemanları için ayrı ayrı yazılabilir.

i.) Düz boru boyunca akışta  $h_L$ :

$$h_L = \frac{128v \cdot M \cdot L}{\pi \cdot g \cdot D^4 \cdot \rho_{su}} \quad 4.38$$

ii.) T ve dirsekler boyunca akışta  $h_L$ :

$$h_L = \frac{128 \cdot v \cdot \alpha \cdot M}{\pi \cdot g \cdot D_p^3 \cdot \rho_{su}} \quad 4.39$$

iii.) Boru çıkışlarında  $h_L$ :

$$h_L = \frac{8M^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^4 \cdot \rho_{su}^2} \quad 4.40$$

iv.) Boru girişlerinde  $h_L$ :

$$h_L = \frac{6.24M^2}{\pi \cdot g \cdot D^4 \cdot \rho_{su}^2} \quad 4.41$$

olacaktır.

### 4.3. Toplaç Borularındaki Farklı Akış Oranları İçin Teorik Yaklaşım

Termosifon akışlı güneş toplacına ait borularda genel olarak eşit miktarlarda akışkan dolaştığı kabul edilmektedir. Pratikte farklı toplaç borularında farklı kütle akış oranları mevcuttur. Toplaç boruları şematik olarak şekil 4.2. de gösterilmiştir. Toplaç borularındaki akış tipleri sırası ile :

- i.) Laminer akış
- ii.) Laminer ve geçiş bölgesi akışı
- iii.) Laminer, geçiş, türbülanslı akış
- iv.) Geçiş ve türbülanslı akış
- v.) Türbülanslı akış

şeklinde olmasına rağmen laminer akış diğer akış tiplerine nazaran sistemde daha çok görülür. Bunun sebebi ise termosifon akışta, yoğunluk farkı nedeni ile hareketin sağlanmasıdır. Teorik analizlerde akış laminer kabul edilmiştir. Termosifon düşüsü aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$H = \frac{\pi \cdot \rho_{su} \cdot g \cdot h_L}{128v} \quad 4.42$$

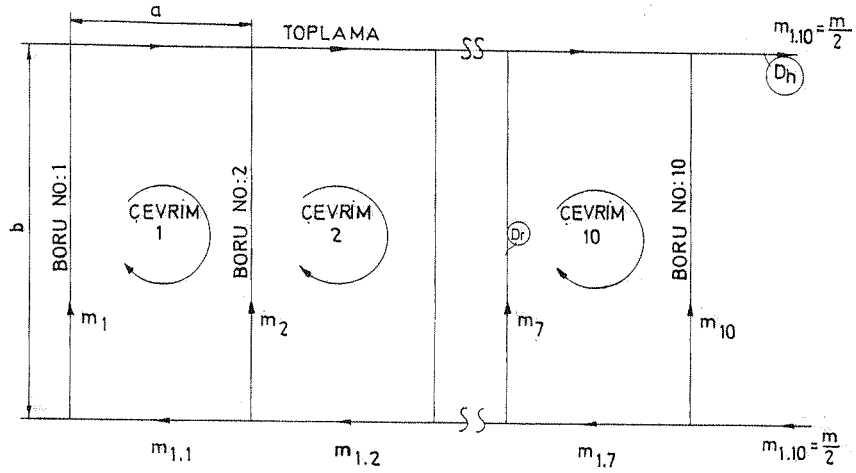
$$H = K \cdot M \quad 4.43$$

Quiston ve Parker'e göre (1982), K hidrolik direnç değerleri, boru ve bağlantı elemanları için ,

$$\text{Boruda: } K = \frac{L}{D^4}$$

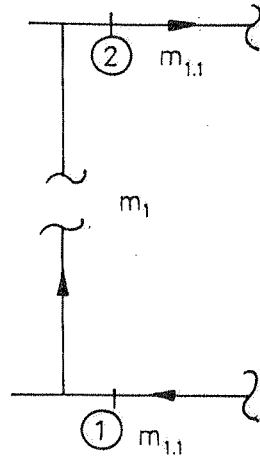
Bağlantı elemanında:  $K = \frac{\alpha}{D_p^3}$

şeklinde tanımlanmıştır.



Şekil 4.2. Toplaç boruları şematik resmi

I nolu boruda yapılan analizde (Şekil 4.3), girişteki T, borudaki akış ve çıkıştaki T dirençleri gözönüne alınarak 1 ve 2 noktaları arasında ortaya çıkan düşü kaybı,



Şekil 4.3. I nolu boru bağlantısı

$$H_1 = K_1 \cdot M_{1,1}$$

4.44

Böylece,  $K_1$  (tanımlı parametre),  $M_{1,1}$  (I nolu borudaki kütleli debi) ve  $H_1$  (I nolu boruya ait düşü kaybı) olmak üzere,

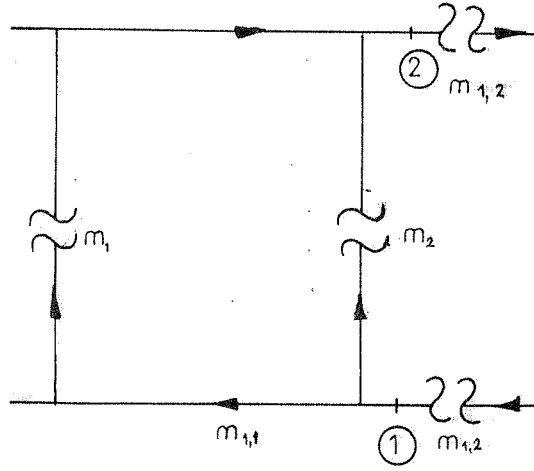
$$K_1 = \frac{\alpha_2}{D_h^3} + \frac{b}{D_r^4} + \frac{\alpha_3}{D_r^3} \quad 4.45$$

$$M_{1,1} = M_1 \quad 4.46$$

$$H_1 = \frac{\pi \cdot \rho \cdot g \cdot h_{11}}{128v} \quad 4.47$$

bağıntıları yazılabilir.

I nolu çevrim için yapılan analizde düşü kayıpları (Şekil 4.4), I ve II nolu borulardaki akış dirençleri ile T lerdeki ve toplaç borusu ile akış toplayıcı dirençleri toplanarak bulunur.



Şekil 4.4. I nolu çevrim

Böylece  $H_2$ ,  $K_2$ ,  $M_{1,2}$  tanımları,

$$H_2 = K_2 \cdot M_{1,2} \quad 4.48$$

$$K_2 = \frac{\left( \frac{\alpha_1 + \alpha_3}{D_h^3} + \frac{2 \cdot a}{D_h^4} + K_1 \right)}{1 + \gamma_1} \quad 4.49$$

$$\gamma_1 = \frac{\frac{\alpha_1 + \alpha_3}{D_h^3} + \frac{2a}{D_h^4} + K_1}{\frac{\alpha_2}{D_h^3} + \frac{b}{D_r^4} + \frac{\alpha_3}{D_r^3}} \quad 4.50$$

$$M_1 + M_2 = M_{1,2} \quad 4.51$$

şeklindedir. I nolu çevrimde Bernoulli denklemi;

$$H_2 = \left( \frac{\alpha_1 + \alpha_3}{D_h^3} + \frac{2a}{D_h^4} + K_1 \right) \cdot M_{1,1} = \left( \frac{\alpha_2}{D_h^3} + \frac{b}{D_r^4} + \frac{\alpha_3}{D_r^3} \right) \cdot M_2 \quad 4.52$$

şeklindedir. 4.51 ve 4.52 birleştirilecek olursa,  $M_{1,1}$  ve  $H_2$  için,

$$M_{1,1} = \frac{1}{1 + \gamma_1} \cdot M_{1,2} \quad 4.53$$

$$H_2 = \frac{\pi \cdot \rho_{su} \cdot g \cdot h_{L2}}{128v} \quad 4.54$$

ifadeleri yazılır. Toplaç borularına ait diğer çevrimlerde I nolu çevrime benzemektedir. Bu sebeple son çevrim olana IX nolu çevrime ait teorik analiz şu şekilde ifade edilmektedir.

$$H_{10} = K_{10} \cdot M_{1,10} \quad 4.55$$

$$K_{10} = \frac{\frac{\alpha_1 + \alpha_3}{D_h^3} + \frac{2a}{D_h^4} + K_9}{1 + \gamma_9} \quad 4.56$$

$$\gamma_9 = \frac{\frac{\alpha_1 + \alpha_3}{D_h^3} + \frac{2a}{D_h^4} + K_9}{\frac{\alpha_2}{D_h^3} + \frac{b}{D_r^4} + \frac{\alpha_3}{D_r^3}} \quad 4.57$$

$$M_{1,9} + M_{10} = M_{1,10} \quad 4.58$$



$$H_{10} = \left( \frac{\alpha_1 + \alpha_3}{D_h^3} + \frac{2a}{D_h^4} + K_9 \right) \cdot M_{1,9} = \left( \frac{\alpha_2}{D_h^3} + \frac{b}{D_r^4} + \frac{\alpha_3}{D_r^3} \right) \cdot M_{10} \quad 4.59$$

$$M_{1,9} = \frac{1}{1 + \gamma_9} \cdot M_{1,10} \quad 4.60$$

$$H_{10} = \frac{\pi \cdot \rho_{su} \cdot g \cdot h_{L,10}}{128v} \quad 4.61$$

$$M_{1,10} = \frac{M}{2} \quad 4.62$$

Denklem 4.55, 4.61 ve 4.62 birlikte düşünüldüğünde toplam karakteristik değeri olan  $h_{L,10}$ , kütle akış oranı cinsinden:

$$h_{L,10} = \frac{64v \cdot K_{10} \cdot M}{\pi \cdot \rho_{sy} \cdot g} \quad 4.63$$

olarak ifade edilir (b toplam borularının uzunluğu, a topaçta iki boru arasındaki mesafe).

#### 4.4. Termosifon Akışlı Sistemde Kütleli Debi Değerinin Tespiti İçin Teorik

##### Yaklaşım

Kapalı çevrim olan termosifon deney düzeneğinde (Şekil 4.1): boru giriş ağzı, T akış ayırıcı, toplayıcı boruları, toplayıcıdan çıkış borusu ve dirsek kayıpları dikkate alınarak termosifon akışlı sistemdeki toplam düşü, denklem 4.64 deki gibi ifade edilir.

$$h_L = \frac{6.24M^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D_h^4 \cdot \rho_{su}^2} + \frac{128 \cdot v \cdot L_1 \cdot M}{\pi \cdot g \cdot D_p^4 \cdot \rho_{su}} + \frac{128 \cdot v \cdot \alpha_4 \cdot M}{\pi \cdot g \cdot D_p^3 \cdot \rho_{su}} + \frac{128 \cdot v \cdot L_2 \cdot M}{\pi \cdot g \cdot D_p^4 \cdot \rho_{su}} + \frac{64 \cdot v \cdot \alpha_2 \cdot M}{\pi \cdot g \cdot D_h^3 \cdot \rho_{su}} +$$

$$\frac{64 \cdot v \cdot a \cdot M}{\pi \cdot g \cdot D_h^4 \cdot \rho_{su}} + \frac{64v \cdot K_{10} \cdot M}{\pi \cdot g \cdot \rho_{su}} + \frac{64 \cdot v \cdot a \cdot M}{\pi \cdot g \cdot D_h^4 \cdot \rho_{su}} + \frac{64 \cdot v \cdot \alpha_3 \cdot M}{\pi \cdot g \cdot D_h^3 \cdot \rho_{su}} + \frac{128 \cdot v \cdot L_4 \cdot M}{\pi \cdot g \cdot D_p^4 \cdot \rho_{su}} +$$

$$\frac{128 \cdot v \cdot \alpha_4 \cdot M}{\pi \cdot g \cdot D_p^3 \cdot \rho_{su}} + \frac{128 \cdot v \cdot L_5 \cdot M}{\pi \cdot g \cdot D_p^4 \cdot \rho_{su}} + \frac{8 \cdot M^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D_h^4 \cdot \rho_{su}^2}$$

4.64 de basitleştirilmelerle,

$$h_L = C_2 \cdot M^2 + C_3 \cdot M \quad 4.65$$

elde edilir. Tanımlanan  $C_2$  ve  $C_3$  değerleri denklem 4.66 ve 4.67 de açıklanmıştır.

$$C_2 = \frac{14.24}{\pi^2 \cdot g \cdot D_h^4 \cdot \rho_{su}^2} \quad 4.66$$

$$C_3 = \left[ \frac{128(L_1 + L_2 + L_4 + L_5)}{D_p^4} + \frac{2\alpha_4}{D_p^3} + \frac{\alpha_2 + \alpha_3}{2D_h^3} + \frac{a}{D_h^4} + \frac{K_{10}}{2} \right] \frac{1}{\pi \cdot \rho_{su} \cdot g} \quad 4.67$$

4.66 ve 4.67 nolu denklemler 4.29 da yerine yazılırsa,

$$C_2 M^2 + C_3 M = C_1 (T_2 - T_1) \quad 4.68$$

elde edilir.  $T_1$  ve  $T_2$  sırası ile toplaç giriş ve çıkış sıcaklıklarıdır. Toplaçta enerji dengesi,

$$Q_f = M \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1) \quad 4.69$$

ile verilmiştir. 4.69 nolu denklem 4.68 de yerine yazıldığında,

$$M^3 + C_4 M^2 + C_5 = 0 \quad 4.70$$

elde edilir. Burada  $C_4$  ve  $C_5$  sabitleri izleyen denklemlerde sırası ile verilmiştir.

$$C_4 = \frac{C_3}{C_2} \quad 4.71$$

$$C_5 = \frac{-C_1 \cdot Q_f}{C_p \cdot C_2} \quad 4.72$$

## 5. DENEYSEL ÇALIŞMA VE GELİŞTİRİLEN TEORİK YAKLAŞIMLARA AİT SONUÇLAR

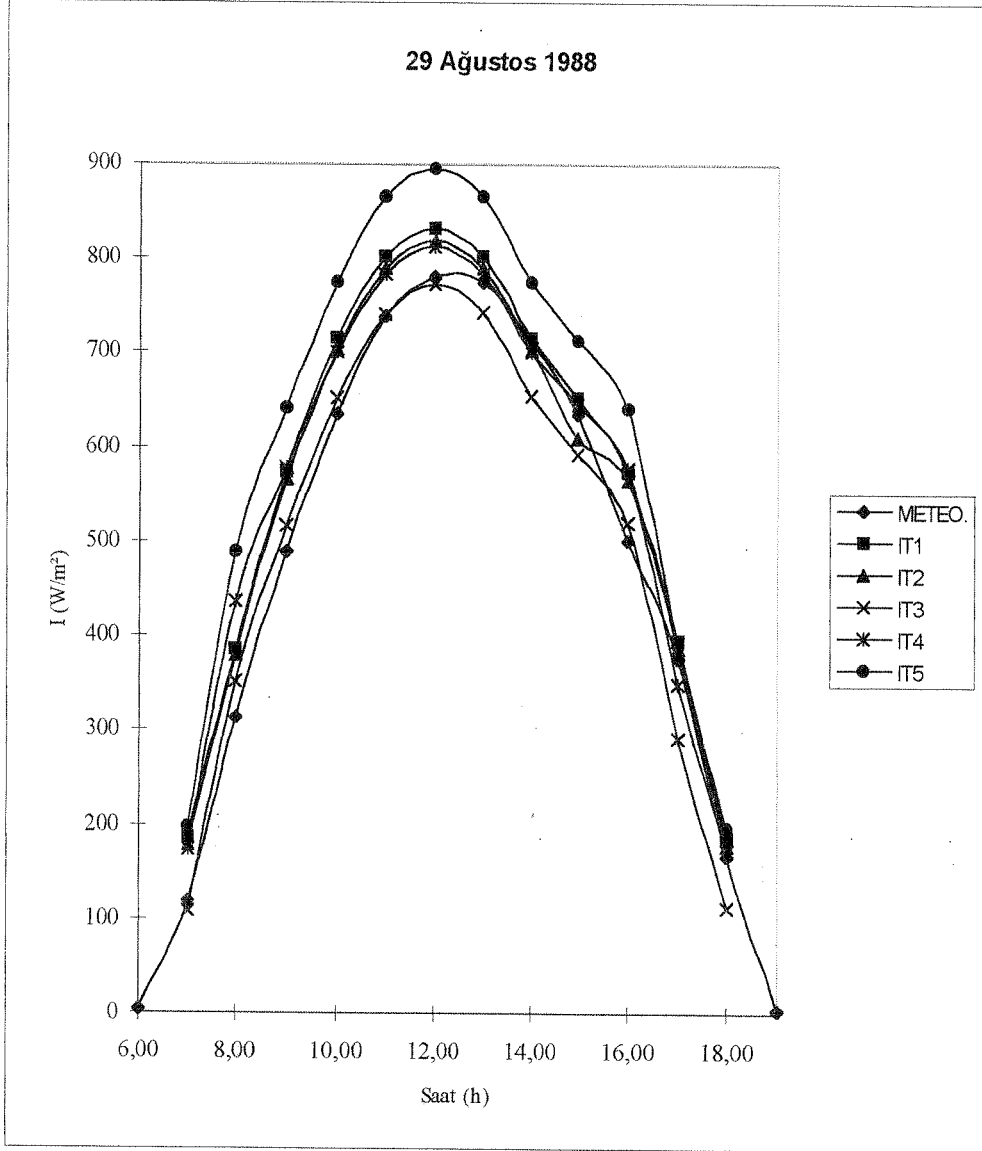
Deneysel çalışmanın yapıldığı termosifon akışlı düzlemsel toplaç, yatay ile  $37^\circ$  eğimli ve tam güneşe dönük olarak yerleştirilmiş olup  $2.2 \times 1.1 \text{ m}^2$  boyutlarında 2 adet düz güneş toplacı ile içiçe iki depodan ve toplaç ile depo arasında 25 mm çapında toplam 4.7 m bağlantı borusundan oluşmaktadır. Toplaç kayıp katsayısı  $6.196 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  dir. Saydam yüzey olarak, ışınım azaltma katsayısı 30 l/m olan  $1 \times 1 \text{ m}^2$  boyutunda dört adet pencere camı ve toplaç ile depo izolasyonunun sağlanması için, ısı iletim katsayısı  $0.036 \text{ W/m K}$  olan 10 cm kalınlığında cam yünü, kullanılmıştır. Yutucu levha olarak ısı iletim katsayısı  $386 \text{ W/m K}$  olan 0.2 mm kalınlığında üzeri mat siyah boya ile boyanmış levha kullanılmıştır. Deney setine ait teknik resimler Ek-5’te verilmiştir. İkinci, üçüncü ve dördüncü bölümlerde matematiksel ifadeleri verilen değişkenlerin, geliştirilen teorik analizlerden elde edilen sonuçları bu bölümde incelenecektir. Teorik analiz sonuçlarının yorumları ise sonuç ve öneriler bölümünde verilmiştir.

### 5.1. Yatay Düzleme Gelen Saatlik Işınım Şiddetleri

Termosifon akışlı güneş toplacı ile deneyler, 29 Ağustos, 31 Ağustos, 1 Eylül 1988 tarihlerinde yapılmış olup, bu günlere ait beş modelden elde edilen toplam ışınım değerleri ile Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden alınan rasatların, MAPE istatistiki test yöntemi ile karşılaştırılması, Tablo 5.1 , 5.2. ve 5.3. de verilmiştir. Modellerden elde edilen sonuçlar ile meteoroloji ölçümleri ise şekil 5.1, 5.2, 5.3’ de verilmiştir. Şekilde düşey eksen  $I(\text{W/m}^2)$  ışınım şiddetini, yatay eksen ise saat’i göstermektedir.

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{e_i}{M_i} \right| \quad 5.1$$

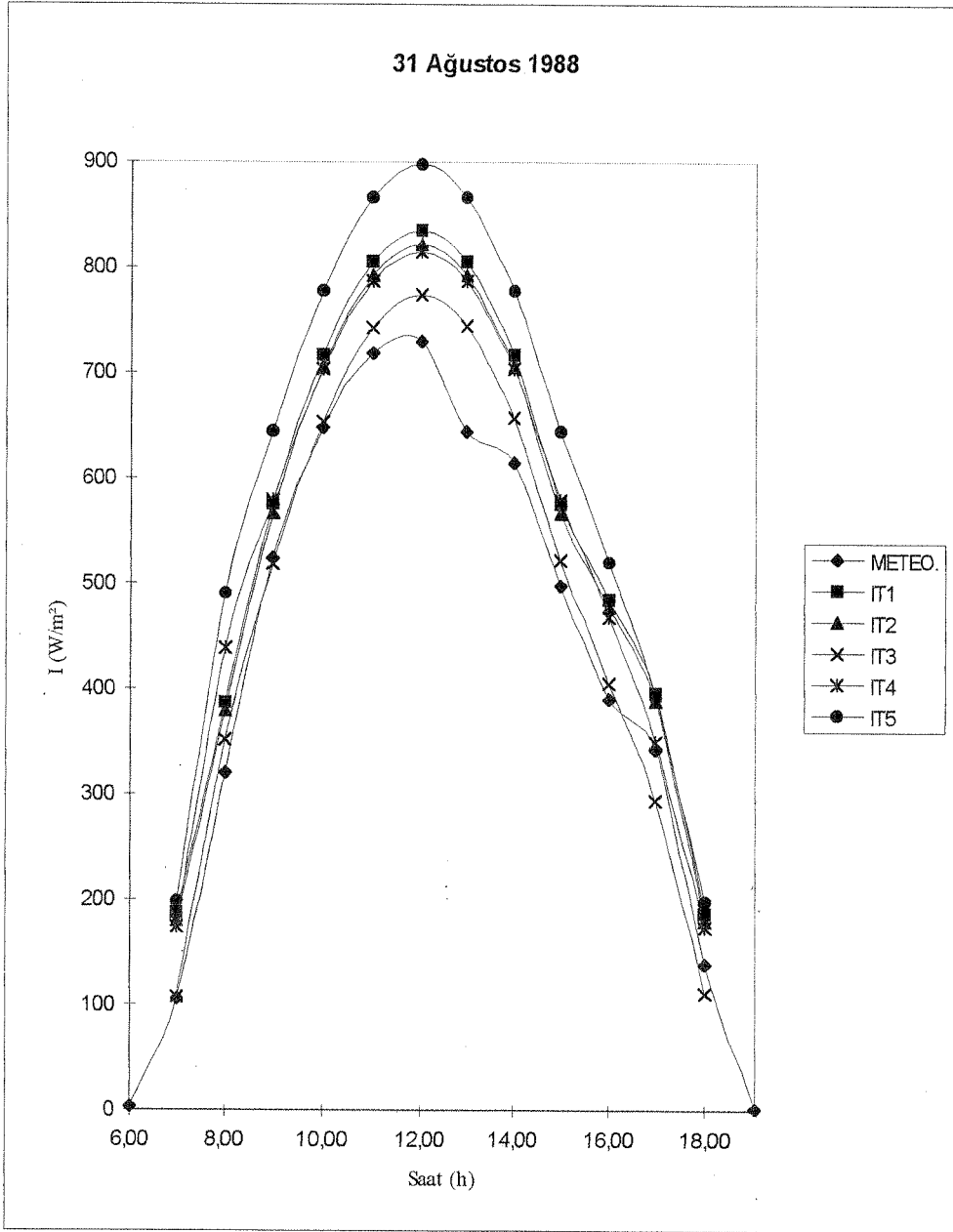
burada  $e_i$  : hatayı temsil etmekte olup:  $C_i$  ; hesaplanan değer,  $M_i$  ; ölçülen değer olmak üzere  $e_i = C_i - M_i$  şeklinde ifade edilmekte ve n toplam gözlem sayısıdır.



**Şekil 5.1.** Deneyin yapıldığı ilk güne ait meteoroloji ve modellere ait ışımm şiddetleri

**Tablo 5.1.** Modeller ve meteoroloji rasatları MAPE değerleri (29/8/1988)

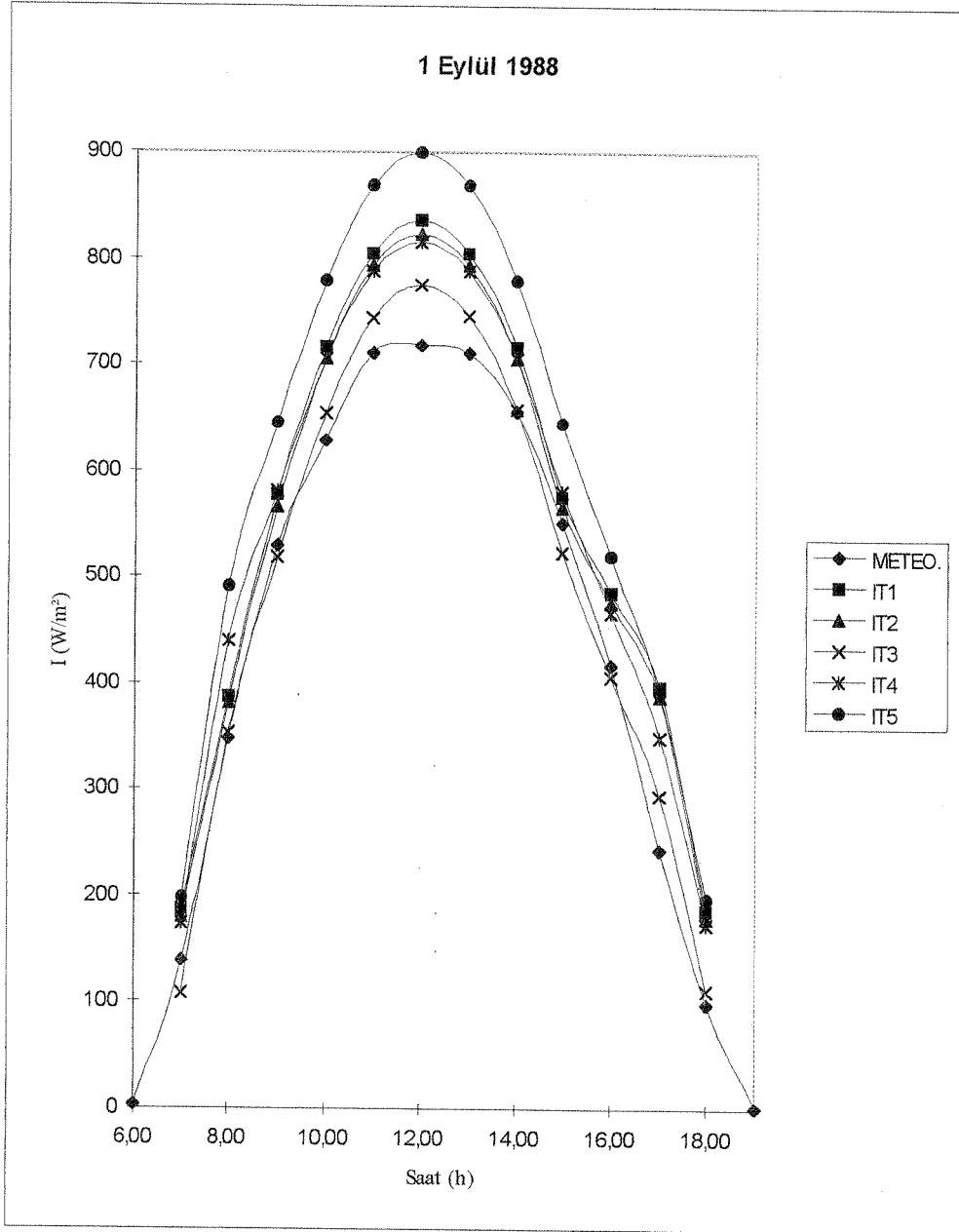
MODEL	1	2	3	4	5
MAPE	13.492	9.131	8.322	13.192	19.984



**Şekil 5.2.** Deneyin yapıldığı ikinci güne ait meteoroloji ve modellere ait ışınım şiddetleri

**Tablo 5.2.** Modeller ve meteoroloji rasatları MAPE değerleri (31/8/1988)

MODEL	1	2	3	4	5
MAPE	23.129	15.438	6.167	19.857	26.892



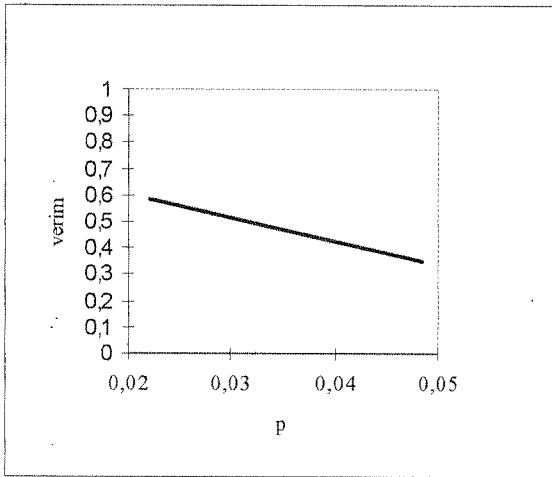
**Şekil 5.3.** Deneyin yapıldığı üçüncü güne ait meteoroloji ve modellere ait ışınım şiddetleri

**Tablo 5.3.** Modeller ve meteoroloji rasatları MAPE değerleri (1/9/1988)

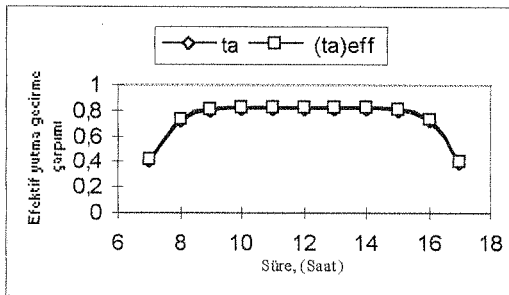
MODEL	1	2	3	4	5
MAPE	24.085	15.033	5.6160	20.073	26.995

## 5.2. Toplaç Verimi

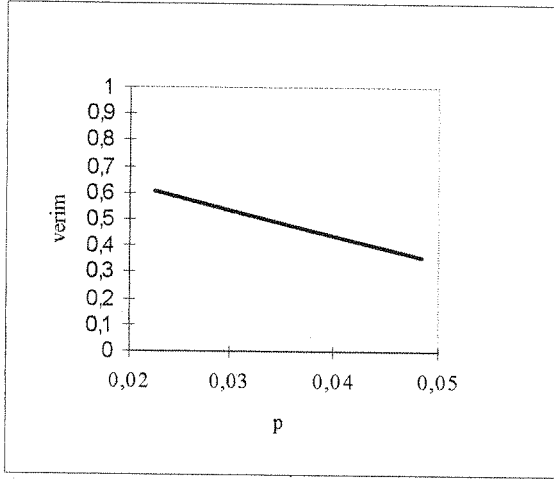
Toplaç verimi, işletme noktası parametresi ( $P$ ), efektif yutma geçirme çarpımı  $(\tau\alpha)_{\text{eff}}$ , toplaç kayıp katsayısı ( $K_K$ ) ve toplaç ısı kazanç faktörü ( $F_R$ ) nün fonksiyonu olmak üzere, deneysel çalışmanın yapıldığı günlere göre şekil 5.4 ve 5.6'da,  $\tau\alpha$  ve  $(\tau\alpha)_{\text{eff}}$  değerleri ise şekil 5.5 ve 5.7'de verilmiş olup toplaça ait teknik resimler ise Ek-5'te verilmiştir.



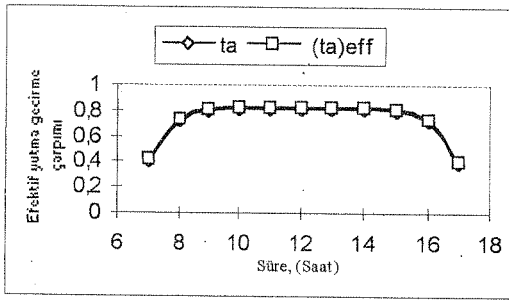
Şekil 5.4. Deneysel çalışmanın yapıldığı ilk günde toplaç verim değerlerinin işletme noktası parametresi ile değişimi (31/8/1988)



Şekil 5.5. Deneysel çalışmanın yapıldığı ilk günde  $\tau\alpha$  ve  $(\tau\alpha)_{\text{eff}}$  değerlerinin gün boyu değişimi (31/8/1988)



**Şekil 5.6.** Deneysel çalışmanın yapıldığı ikinci günde toplaç verim değerlerinin işletme noktası parametresi ile değişimi (1/9/1988)

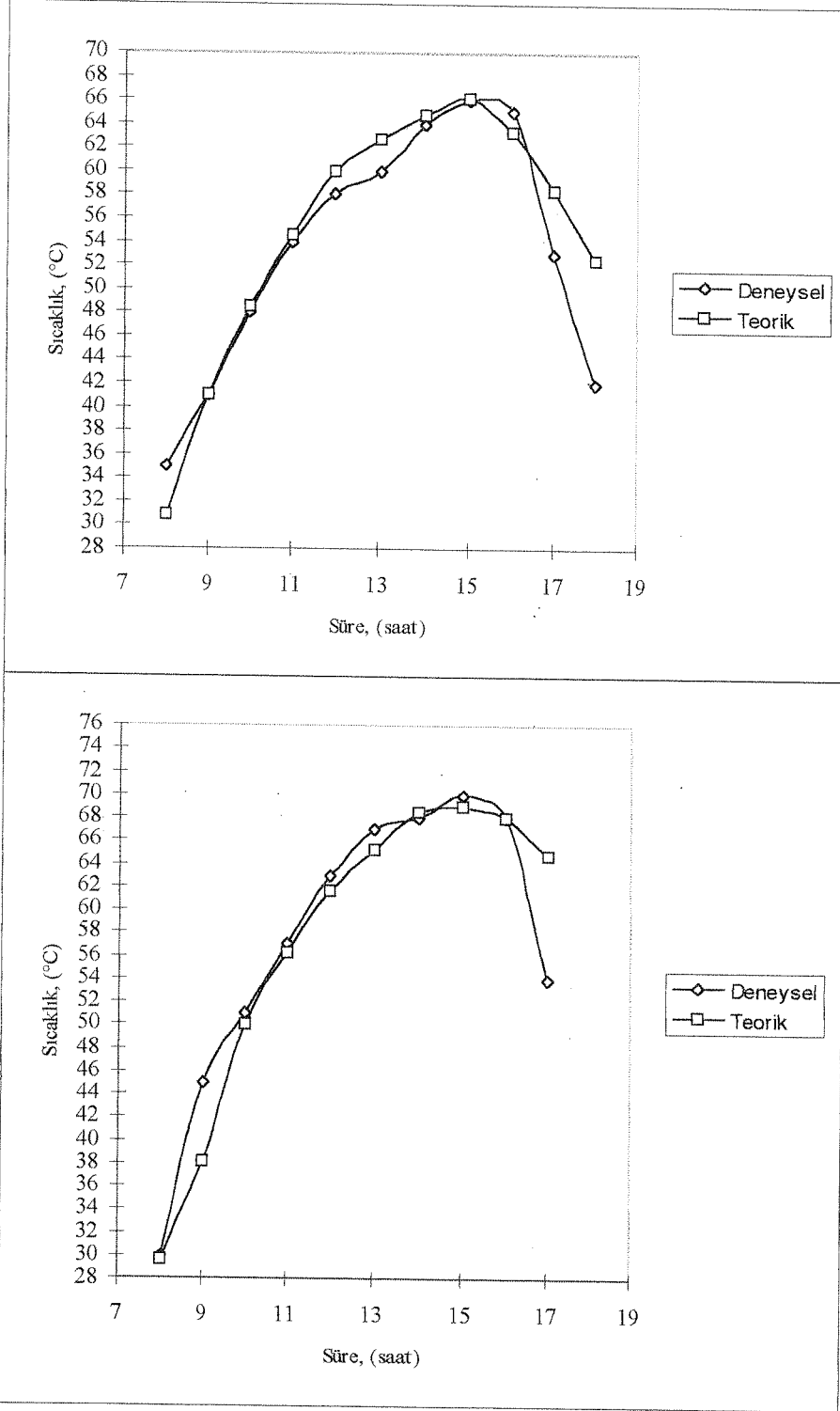


**Şekil 5.7.** Deneysel çalışmanın yapıldığı ikinci günde  $\tau\alpha$  ve  $(\tau\alpha)_{eff}$  değerlerinin gün boyu değişimi (1/9/1988)

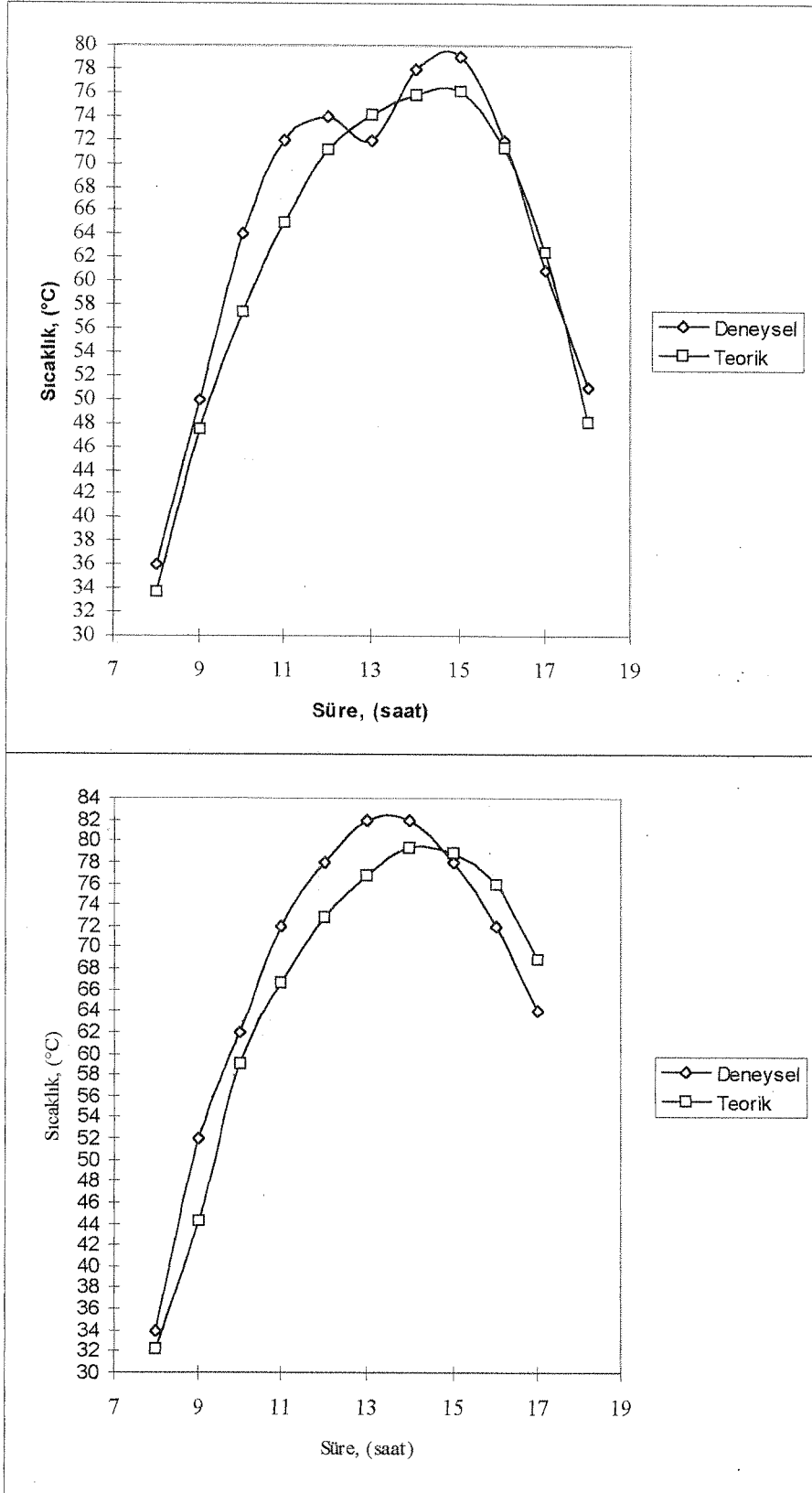
### 5.3. Deneysel ve Teorik Sıcaklıkların Karşılaştırılması.

Birinci ışınım modelinden elde edilen değerler kullanılarak hesaplanan toplaç çıkış, yutucu levha, içdepo, dışdepo sıcaklıkları ile bunların deneysel değerleri bu bölümde incelenmiştir. Deneysel çalışmanın yapıldığı günlerde ışınım modellerinden elde edilen değerlerin kullanılması ile teorik analiz sonucu elde edilen sıcaklık değerlerine ait MAPE hata oranları Ek-4' de ayrıntılı olarak verilmiştir.

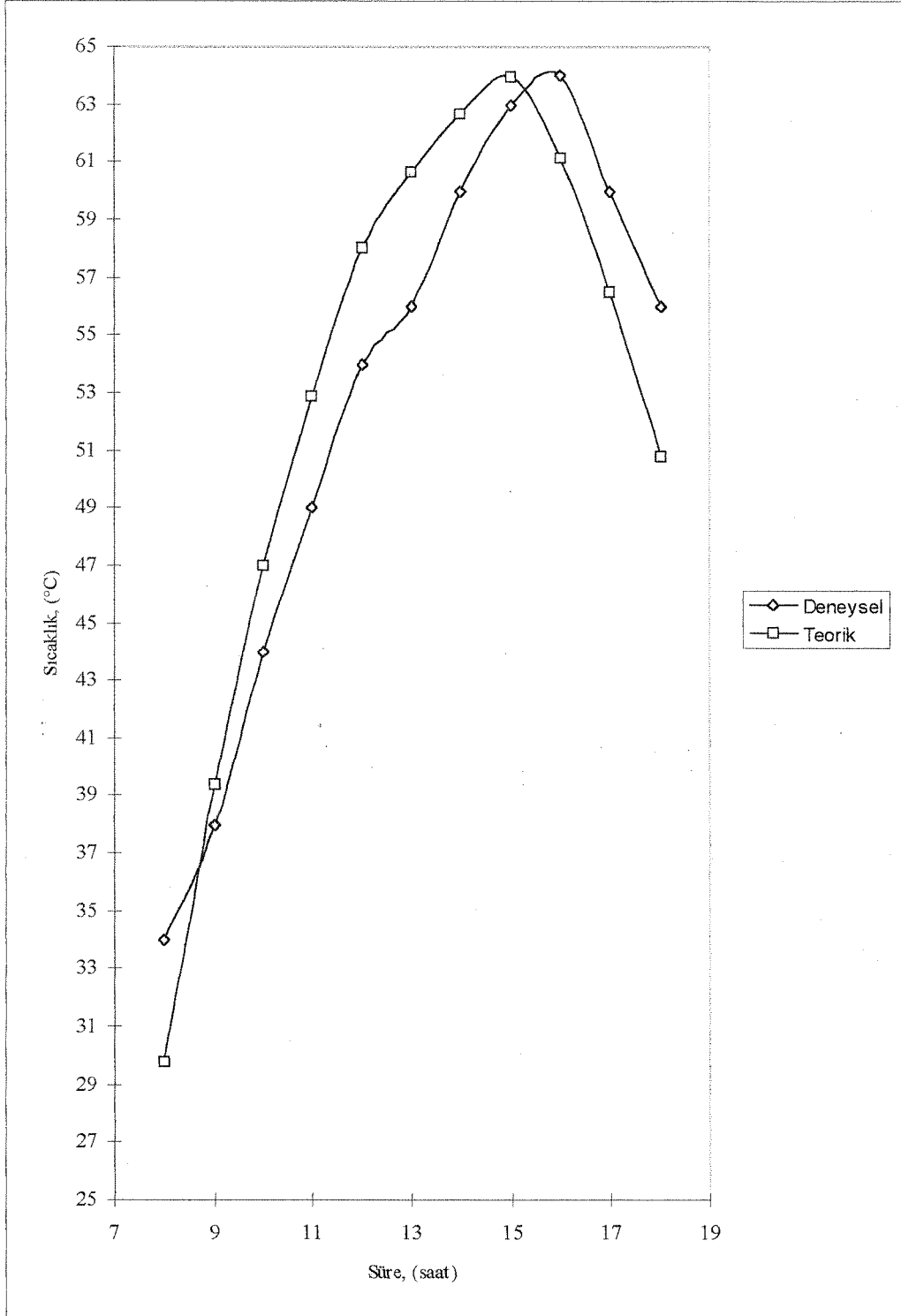




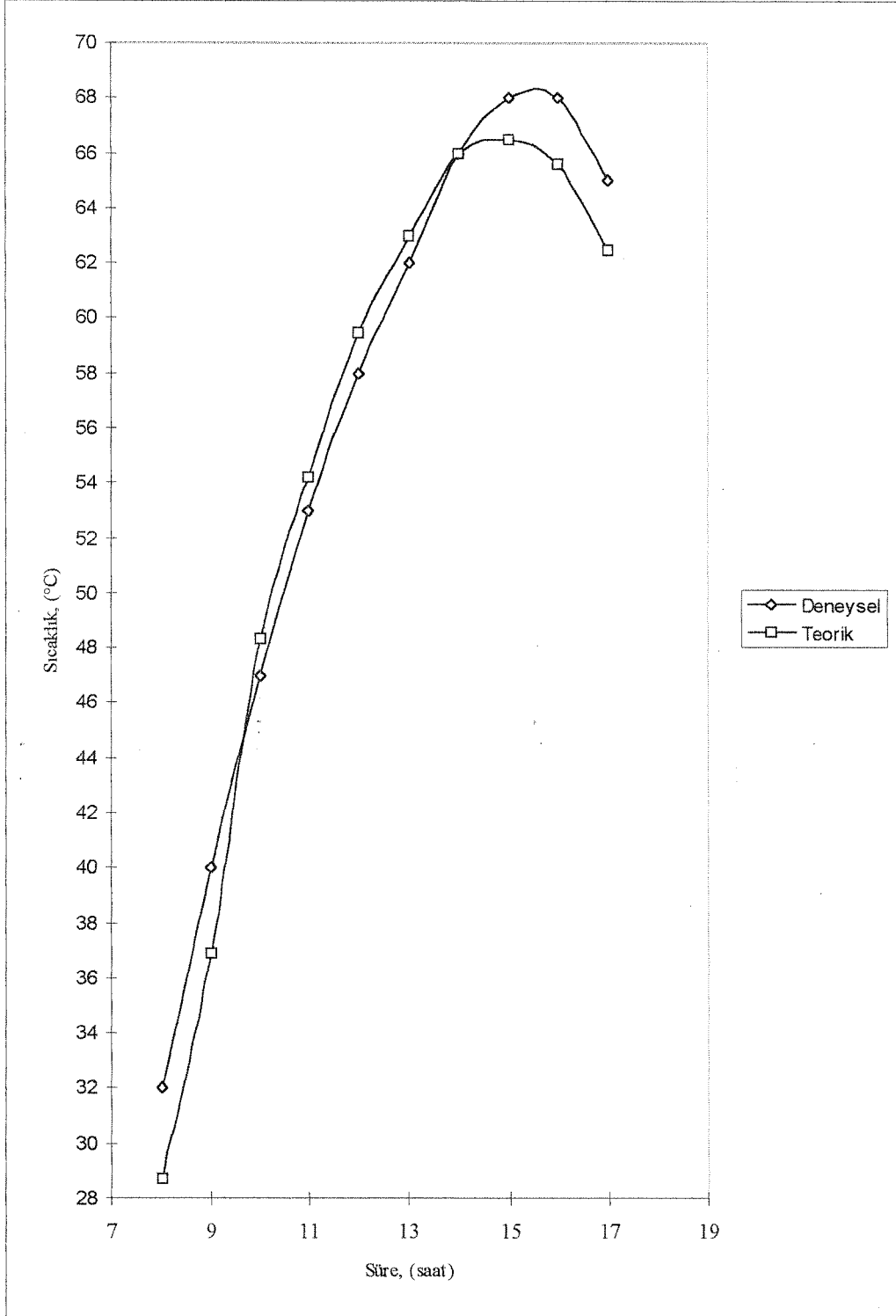
Şekil 5.8. Teorik ve deneysel toplaç çıkış sıcaklıkları (1. ve 2.Deney)



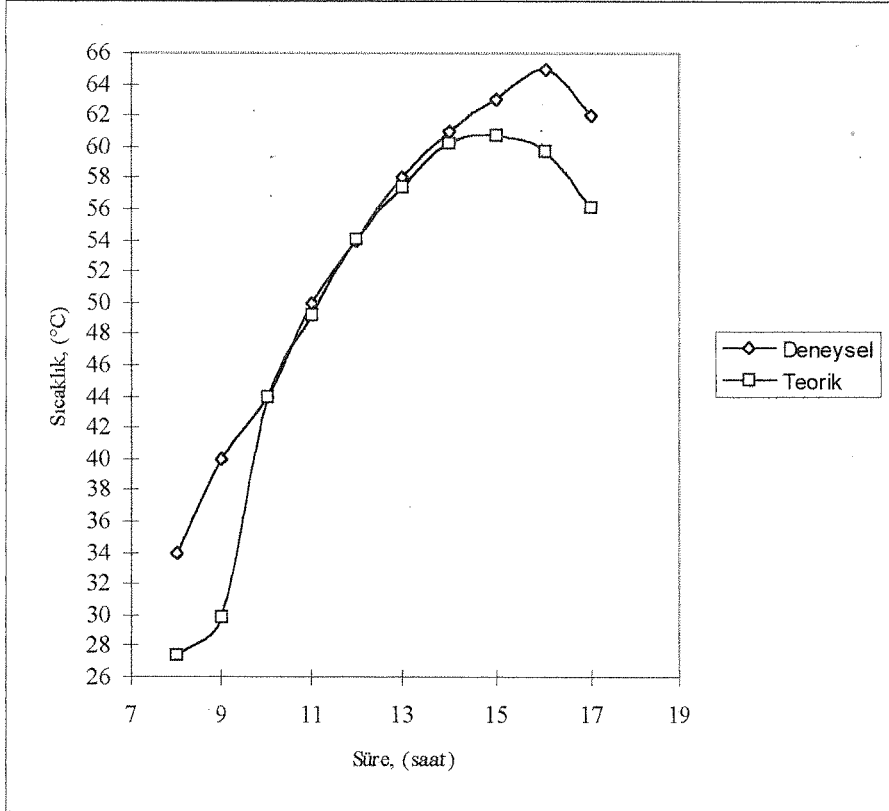
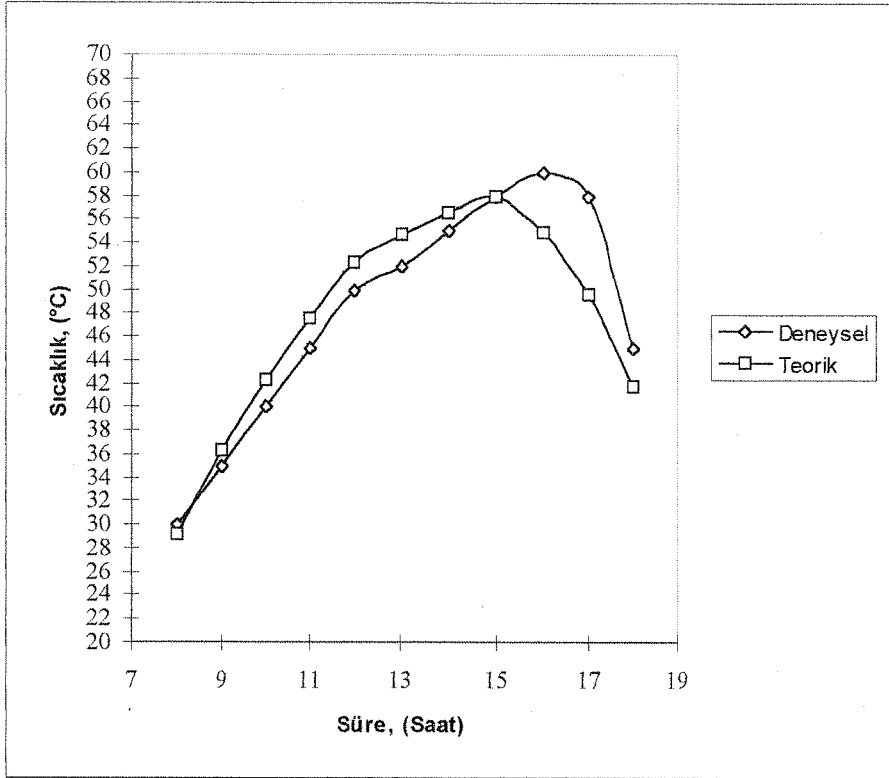
Şekil 5.9. Teorik ve deneysel yutucu levha sıcaklıkları (1. ve 2. Deney)



Şekil 5.10. Teorik ve deneysel içdepo sıcaklıkları (1. Deney)



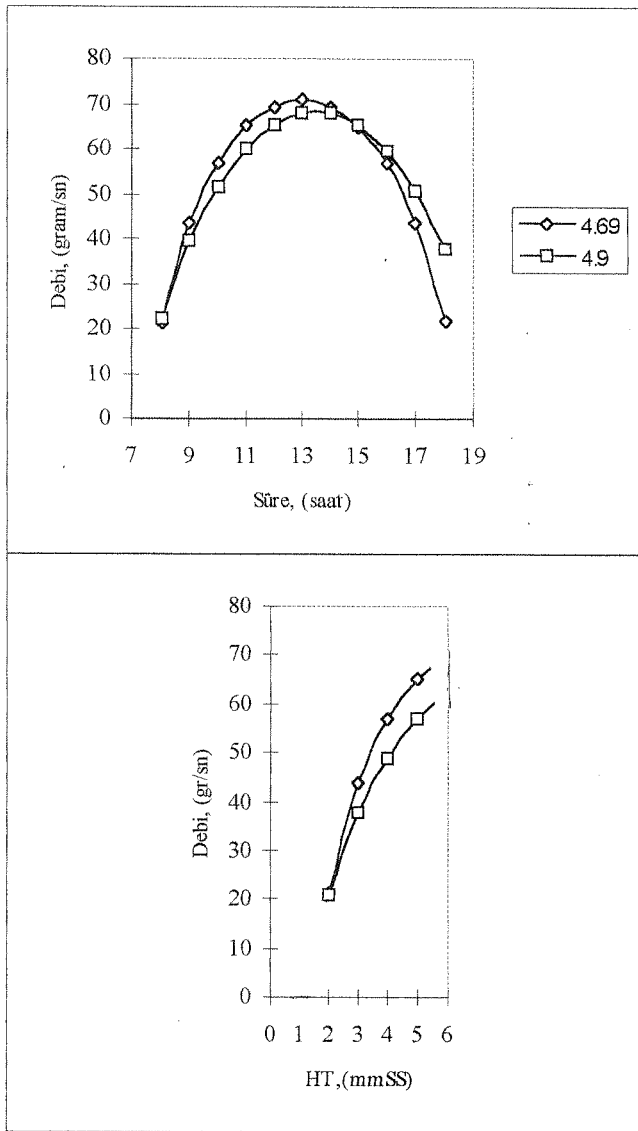
Şekil 5.11. Teorik ve deneysel içdepo sıcaklıkları (2. Deney)



Şekil 5.12. Teorik ve deneysel dışdepo sıcaklıkları (1. ve 2. Deney)

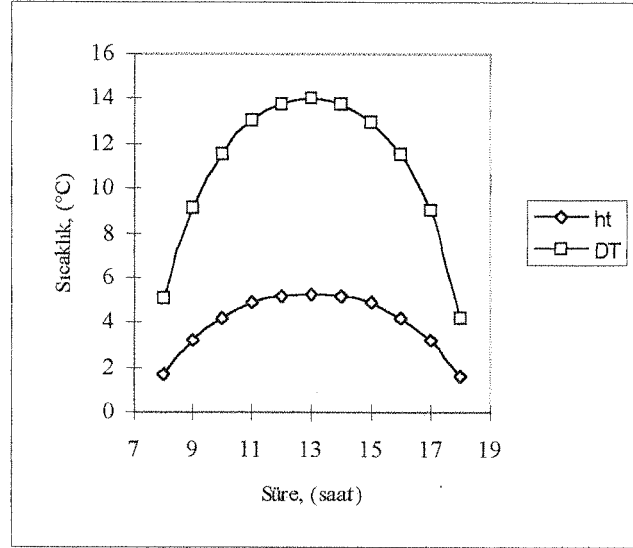
#### 5.4. Termosifon Sistem Teorik Debisi ve Toplaç Giriş -Çıkış Sıcaklık Farkı

Termosifon sistem teorik debi değerleri Uhlemann ve Bansal'ın verdiği 4.9 denklemine göre ve çalışmada geliştirilen 4.69 denklemine göre tespit edilmiştir. İki farklı ifadeden elde edilen sonuçlar izleyen şekilde verilmiştir..



Şekil 5.13. Termosifon debinin ve termosifon düşünün 4.9 ve 4.69 ifadesine göre değişimi

Termosifon sistemde toplaç giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark ile dūřu değerleri arasındaki ilişki Őekil 5.13’de verilmiştir.



Őekil 5.14. Termosifon sistem dūřüsü ile toplaç giriş ve çıkış sıcaklık farkları

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ilk olarak Güneş ışınım şiddetinin detaylı matematiksel model taraması yapılmış ve benzer boylam bölgelerinde yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen matematiksel ifadeler irdelenerek, Eskişehir ilinde uygulanabilir olanları seçilmiş ve beş ayrı ışınım modeli derlenmiştir. Işınım modellerinden elde edilen yatay düzleme gelen saat'lik ışınım şiddetleri ile Meteoroloji rasatları arasında, 29-31 Ağustos-1 Eylül 1988 tarihlerinde sırası ile maksimum: %19,984, %26.892, %26.995' lik bir fark gözlenmiştir. Meteoroloji rasatları ile uyumlu değerler üçüncü ışınım modelinden elde edilmiş olup, bu modelde atmosfer ile yeryüzü arasındaki yansımalar, yayılı ışınım hesabında gözardı edilmiştir. Bulutluluğuda içine alan birinci modelden 27/8/1995 tarihli meteoroloji rasatları yardımı ile Eskişehir ilinde yatay düzleme gelen ışınım şiddeti hesaplanmıştır (Şekil 5.4.). Meteoroloji tarafından bulutluluk saat 7<sup>00</sup> , 14<sup>00</sup> ve 21<sup>00</sup> de ölçülüyor olup saatlik değerler mevcut olmadığı için ışınım modelinde hesap yapılır iken saat 7<sup>00</sup> ve 14<sup>00</sup> de verilen bulutluluk değerleri kullanılmıştır. Bunun sonucunda ise öğleden sonraki ışınım şiddetlerinde sapmalar oluşmuştur.

Ülkemizde bu konu ile ilgili araştırma yapan araştırmacılar, A.Ecevit, H. Ögelman, A. Öztürk ve A. Kılıç meteoroloji rasatlarının hatalı olduğunu belirtmektedir. Çalışmada derlenen güneş ışınım modellerinden elde edilen sonuçlar literatüre uymaktadır. Kılıç ve Öztürk (1983), Meteoroloji tarafından yapılan rasatları teori ile karşılaştırdığında ise %20-%40 arasında farkın oluştuğunu gözlemiştir.

Termosifon debi ve düşüyü hesaplamak için geliştirilen denklem (4.69), üçüncü derece bir fonksiyon olup buna benzer bir denklem Wang tarafından 1982'de yapılan bir çalışmada yer almaktadır. Denklem 4.69 kütleli debi değerinin, 4.68 toplaç giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki farkın, tespitinde başarılı sonuçlar vermiştir. Kütleli debi için geliştirilen (4.69) denklemi ile Uhlemann ve Bansal'ın vermiş olduğu denklem (4.9) sonuçları %95 oranında benzerlik (%5 hata) arzietmekte olup 4.69 denklemi, termosifon akışlı güneş toplaçlarının teorik debi değerlerinin tespitinde kullanılabilir. Saat 13<sup>00</sup>'de 4.69 denkleminden hesaplanan maksimum kütleli debi ve termosifon düşü sırası ile 70.9 gr/sn ve 5.4 mmSS dir. Aynı saatte 4.9 denkleminden hesaplanan maksimum



kütlesel debi 64.8 gr/sn, termosifon düşü 5.3 mmSS olarak gerçekleşmektedir. Toplaç giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki fark saat 13<sup>00</sup>'de maksimum değerine (14.0470 °C) ulaşmaktadır.

Işınım modellerinde hesaplanan değerler, termosifon akışlı güneş toplacı için geliştirilen teorik analiz metodunda ayrı ayrı denenmiş ve şu kanılara varılmıştır.: termosifon akışlı güneş toplacı yutucu yüzey deneysel sıcaklığı ile teorik analiz sonucu hesaplanan değerler arasındaki hata; birinci ışınım modeli verilerine göre %4.8, ikinci ışınım modeli verilerine göre % 4.5, Üçüncü ışınım modeli verilerine göre % 8.7, dördüncü ışınım modeli verilerine göre % 6.2, beşinci ışınım modeli verilerine göre % 7.3 oranlarında olmaktadır. Bu uyum toplaç çıkış sıcaklığı, içdepo su sıcaklığı, dışdepo su sıcaklığı değerlerindedeki gözlenmektedir. Depo sıcaklıklarının hesabında Kılıç ve Öztürk'ün vermiş olduğu ifadelerden yararlanarak, kendi sistemimiz için yazılan denklem başarılı sonuç vermiştir. İç depo ve ısı değiştirici olmaksızın yapılan ortalama depo sıcaklığında ise %7.45 lik bir fark gözlenmiştir.

Deneysel çalışmanın yapıldığı ilk gün maksimum toplaç verimi %60 olarak gerçekleşirken, ikinci gün verimin maksimum değeri %62 olarak gerçekleşmiştir. Toplaç veriminin düşük olmasının sebebi ise, yutucu levhaya boruların tespitinin kaynakla yapılması gerekirken fazla maliyet getireceği için yutucu levhaya boruların tellerle tespitinin yapılması gösterilebilir. Bu bağlantı şeklinde yutucu levha ile borular arasında tam temas sağlanamaz ve arada kalan boşluk bir ısıl direnç oluşturmaktadır.

Farklı bağlantı boru çaplarında ve uzunluklarında termosifon debi ve düşü tespiti ile farklı tipteki ısı değiştiricilerin sistem performansına etkileri, ileride yapılacak çalışmaların ana hatları olarak özetlenebilir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Atagündüz, G.**,1989, *Güneş Enerjisi Temelleri ve Uygulamaları*, Ege Üniversitesi Yayınları No:2, Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova-İzmir
- Atwater, M.A,** and Ball, J.J., 1981, "A Surface Radiation Model For Cloudy Atmospheres", *Weather Review*, N:109, pp 878-888.
- Bird, R.**, and Hulstrom, 1981, R.L., "Direct Insolation Models", *ASME*, Vol:103, pp:182-192
- Carrol, J.J.**, 1985, "Global Transmissivity and Diffuse Fraction of Solar Radiation for Clear and Cloudy Skies as Measured and as Predicted by Bulk Transmissivity Models", *Solar Energy*, Vol:35, No:2, pp 105-118.
- Davies,J.A,** et all., 1975, "Estimating Global Solar Radiation", *Baundry-Layer Metrology.*, N:9, pp:33-52.
- Davies,J.A,** and Mc Kay,D.C., 1982, "Estimating Solar Irradiance and Components", *Solar Energy*, Vol:29, pp:55-64
- Duffie,J.A,** and Beckman, W.A., 1980, *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Willey and Sons, Inc.
- Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı,1990, "Genel Enerji Planlaması Çalışmalarının İlk Sonuçları", TÜRKİYE 5. Enerji Kongresi, 22-26 Ekim 1990, Ankara.
- Garg, H.P,** and Datta,G., 1993, "Fundamentals and Characteristic of Solar Radiation", *Reneawable Energy*, Vol:3, N:4/5, pp:305-319.
- Goldberg, B,** and Klein, W,H., 1980, "A model for Determining the spectral Quality of Daylight on a Horizontal Surface at any Geographical Location" *Solar Energy*, Vol.24, pp:351-357.
- Gupta,C.L,** and Garg,H.P., 1968, "System Design in Solar Water Heaters with Natural Circulation", *Solar Energy*, Vol:12, pp:163-182.
- Hahne,E.**, Kubler,J., Kallweit,J., 1988, "Convection Effects on Stratification During Charging of a Hot Water Store", *Energy Storage Systems: Fundamentals & Applications*, June27-July8, İzmir/Türkiye, pp:139-153
- Hanke,J.E,** and Reitsch, A.G., 1992, *Business Forecasting*, Fourth Edition, Allyn and Bacon, A Division of Simon & Schuster, Inc., Boston, U.S.A.
- Hay, E.J.**, 1993, "Calculating Solar Radiation for Horizontal Surfaces-I. Theoretically Based approaches", *Renewable Energy*, Vol:3, N:4/5, pp:357-364

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Holman**,J.P., 1976, *Heat Transfer*, Fourth Edition, Mc Graw-Hill, Kogakusha Ltd.,Tokyo.
- Hoyt**, C. H., 1975, "A Simple Model For Estimating The Transmittance Of Direct Solar Radiation Through Clear Atmospheres", *Solar Energy*, Vol:18, pp:129-134
- Huang**,B.J., and Hsieh, C.T., 1985, "A Simulation Method for Solar Thermosyphon Collector", *Solar Energy*, Vol:35, N:1, pp:31-43.
- Huang**,B.J., 1980, "Similarity Theory of Solar Water Heater with Natural Circulation", *Solar Energy*, Vol:25, pp:105-116.
- Iqbal**, M., 1983, *An Introduction To Solar Radiation*, Academic Press, Toronto.
- Kamal**,W.A., 2-8, Dec.,1983, "On Optimization of the Naturally Circulating Flat Plate Collector System Dimensions and Operating Conditions", First Arab Energy Conference, Kuwait pp:14-20.
- Kathy**,L., at all., 1995, "Simple Approaches to Modelling Solar Radiation in the Arctic", *Solar Energy*, Vol:54, N:1, pp:33-40.
- Kılıç**, A, ve Öztürk A., 1983, *Güneş Enerjisi*, Kipaş Dağıtımçılık, İstanbul.
- Klein**,S.A., 1975, "Calculation of Flat Plate Collector Loss Coefficients", *Solar Energy*, Vol:17, pp:75-80.
- Kreider**, J.F, and Kreith, F., 1975, *Solar Heating and Cooling*, Mc Graw-Hill Book Company, New York, U.S.A.
- Mertol**, A, et all., 1981, "Detailed Loop Model (D.L.M.) Analysis of Liquid Solar Thermosyphons with Heat Exchangers",*Solar Energy*, Vol:27, No:25, pp:367-386.
- Mertol**, A, and Grief, R., 1986, "Rewiew of Termosyphon Solar Water Heaters", *Solar Energy Utilization Fundamentals & Applications*, pp:194-226 June 23-July 4, İzmir-TÜRKİYE.
- Morrison**, G.L, and Ranatunga, D.B.J., 1980, "Trensient Response of Thermosyphons Solar Collectors", *Solar Energy*, Vol:24, pp:55-61.
- Ong**, K.S., 1974, "A Finite Difference Method to Evaluate the Thermal Performance of a Solar Water Heater", *Solar Energy*, Vol:26, pp:137-147.
- Ong**, K.S., 1976, "An Improved Computer Program for the Thermal Performance of a Solar Water Heater", *Solar Energy*, Vol:18, pp:183-191.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Pinoza, J. M, at all.,** 1995, "A New Method To Determine Anström's Turbidity Coefficient: It's Application for Valencia", Solar Energy, Vol:54, No: 4, pp:219-226
- Sayigh, A.A.M.,** 1979, Solar Energy Application in Buildings, Academic Press, Inc., U.S.A.
- Sellers, W.D.,** 1965, Physical Climatology, University of Chicago Press, Chicago.
- Shitzer, A, at all.,** 1979, Experiments With a Flat Plate Solar Water Heating System in Thermosiphonic Flow, Solar Energy, Vol:22, pp:27-35.
- Şahin, M, ve Sağıroğlu R.,** 1988, Güneş Enerjisi, Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, Bitirme Ödevi, Eskişehir.
- Taner, K.,** 1988, Güneş Işınımı, *Termosifon Akışlı Toplaç Ayna Sistemlerinde Isıl ve Akış Analizi*, Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları, No:44
- Taner, K.,** 1980, Güneş Enerjisinin Atmosferden Geçerken Sönümü, E.D.M.M.A. Dergisi, Sayı:4, syf:75-97.
- Türk Standartları 3680, Nisan 1994, Güneş Enerjisi Toplayıcılar Düz.
- Türk Standartları 3817, Aralık 1994, Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemlerinin Yapım Tesisi Ve İşletme Kuralları.
- Türk Standartları 4801, Nisan 1986, Güneş Enerjisi Toplayıcıları Isıl Performans Deney Metodları.
- Uhlemann, R, and Bansal, N.K.,** 1985, Side by Side Comparison of a Pressurized and a Nonpressurized Solar Water Heating Thermosiphon Systems, Solar Energy, Vol:34, No:4/5, pp:317-328.
- Ünsal M (Danışman), İlyas Erdoğan,** "An Experimental and Theoretical Investigation of the Thermosiphon Solar Water Heater", Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 1983
- Uyarel, A. Y., ve Öz, E.S.,** 1987, Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, Emel Matbacılık Sanayii, Ankara
- Wang, Y.F, at all.,** 1982, A Once Through Solar water Heating Systems, Solar Energy, Vol:29, No:6, pp:541-547.
- Young, M.F, and Bergouam., J.B.,** 1984, "Solar Domestic Hot Water System With Hot Water Removal". Solar Energy, Vol:32, N:5, pp:655-658

**EK-1 BİLGİSAYAR PROGRAMINDA KULLANILAN MATEMATİKSEL İFADELER**

EK-1.a)

## 1. IŞINIM MODELİ

$$m = \frac{P}{101325(\cos\theta_z + 0.15(93.885 - \theta_z))^{-1.253}} \quad 2.9$$

$$\tau_a = 0.12445\lambda - 0.0162 + (1.003 - 0.125\lambda) \exp[-\beta m(1.089\lambda + 0.5123)] \quad 2.12$$

$$\tau_r = 0.972 - 0.08262m + 0.00933m^2 - 0.00095m^3 + 0.000437m^4 \quad 2.27$$

$$\alpha_0 = \frac{0.02118U_3}{1 + 0.042U_3 + 3.23 \times 10^{-4}U_3^2} + \frac{1.082U_3}{(1 + 138.6U_3)^{0.805}} + \frac{0.0658U_3}{1 + (103.6U_3)^3} \quad 2.31$$

$$\alpha_w = \frac{2.9U_1}{(1 + 141.5U_1)^{0.635} + 5.925U_1} \quad 2.19$$

$$I_d = I_0 (\tau_0 \tau_r - \alpha_w) \tau_a \quad 2.37$$

$$I_y = I_{dr} + I_{da} + I_{dm} \quad 2.41$$

$$I_{dr} = I_0 \cos \theta_z \tau_0 [0.5(1 - \tau_r)] \tau_a \quad 2.42$$

$$I_{da} = I_0 \cos \theta_z (\tau_0 \tau_r - \alpha_w) [F_c w_0 (1 - \tau_a)] \quad 2.43$$

$$I_{dm} = \frac{(I_d \cos \theta_z + I_{dr} + I_{da}) f_3 \cdot \rho_a^I}{(1 - f_3 \cdot \rho_a^I)} \quad 2.44$$

$$\rho_a^I = 0.0685 + 0.17 (1 - \tau_a^I) w_0 \quad 2.45$$

$$c < 7 \quad \tau_b = 1.005 - 0.229c - 0.0010c^2 \quad 2.54$$

$$c > 7 \quad \tau_b = 0.116 + 0.3031c - 0.02456c^2 \quad 2.55$$

$$I_{Tb} = I_T \cdot \tau_b$$

EK-1.b)

2. IŞINIM MODELİ

$$\tau_a = \exp[-K^{0.873} (1 + K + K^{0.7088}) m^{0.9108}] \quad 2.15$$

$$\tau_r = \exp(-0.0903 \cdot m^{0.84} (1 + m - m^{1.01})) \quad 2.29$$

$$\tau_w = 1 - \frac{2.9U_1}{(1 + 141.5U_1)^{0.635} + 5.925U_1} \quad 2.19$$

$$\tau_0 = 1 - [0.161U_3 (1 + 139.48U_3)^{-0.3035} - 0.002715U_3(1 + 0.044U_3 + 0.0003U_3^2)^{-1}] \quad 2.33$$

$$I_d = 0.9751 E_0 I_0 \tau_0 \tau_w \tau_a \tau_r \tau_g \quad 2.36$$

$$I_{dm} = \frac{(I_d \cos \theta_z + I_{dr} + I_{da}) f_3 \cdot \rho_a^I}{(1 - f_3 \cdot \rho_a^I)} \quad 2.44$$

$$I_{dr} = \frac{0.79 \cdot I_0 \cdot \cos \theta_z \cdot \tau_0 \cdot \tau_g \cdot \tau_w \cdot \tau_{aa} \cdot 0.5(1 - \tau_r)}{1 - m + m^{1.02}} \quad 2.46$$

$$\tau_g = \exp(-0.0127m^{0.26}) \quad 2.47.b$$

$$I_{da} = \frac{0.79 \cdot I_0 \cdot \cos \theta_z \cdot \tau_0 \cdot \tau_g \cdot \tau_w \cdot \tau_{aa} \cdot F_c \cdot (1 - \tau_{as})}{1 - m + m^{1.02}} \quad 2.48$$

$$\tau_{as} = \frac{\tau_a}{\tau_{aa}} \quad 2.49$$

$$I_T = I_d + I_{dr} + I_{da} + I_{dm}$$

EK-1.c)

### 3.İŞİNİM MODELİ

$$m = \frac{P}{101325(\cos\theta_z + 0.15(93.885 - \theta_z))^{-1.253}} \quad 2.9$$

$$\tau_a = 10^{-0.02m} \quad 2.14$$

$$\tau_w = 10^{-(0.04w^{0.1} + 0.01w)} \cdot m \quad 2.26$$

$$\tau_r = 10^{-(0.054 - 0.0088m + 1.08 \cdot 10^{-3}m^2 - 5.1 \cdot 10^{-5}m^3)} \cdot m \quad 2.30$$

$$\alpha_0 = \frac{0.02118U_3}{1 + 0.042U_3 + 3.23 \times 10^{-4}U_3^2} + \frac{1.082U_3}{(1 + 138.6U_3)^{0.805}} + \frac{0.0658U_3}{1 + (103.6U_3)^3} \quad 2.31$$

$$I_d = 0.9751 E_0 I_0 \tau_0 \tau_w \tau_a \tau_r \quad 2.36$$

$$I_y = I_{dr} + I_{da} \quad 2.41$$

$$I_{dr} = I_0 \cos \theta_z \tau_0 [0.5(1 - \tau_r)] \tau_a \quad 2.42$$

$$I_{da} = I_0 \cos \theta_z (\tau_0 \tau_r - \alpha_w) [F_c W_0 (1 - \tau_a)] \quad 2.43$$

$$I_T = I_d + I_{dr} + I_{da}$$



EK-1.d)

#### 4. IŞINIM MODELİ

$$m = \frac{P}{101325(\cos\theta_z + 0.15(93.885 - \theta_z))^{-1.253}} \quad 2.9$$

$$P = 101325 \exp(-0.0001184z) \quad 2.10$$

$$\tau_d = K^m \quad 2.16$$

$$\tau_w = 1 - 0.0077 (wm)^{0.3} \quad 2.24$$

$$w = \exp[2.2572 + 0.05454Td] \left(\frac{P}{P_0}\right)^{\frac{3}{4}} \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{1}{2}} \quad 2.25$$

$$\tau_r = 0.972 - 0.08262m + 0.00933m^2 - 0.00095m^3 + 0.000437m^4 \quad 2.27$$

$$I_d = I_0 \cos\theta_z \tau_w \tau_r \tau_d \quad 2.34$$

$$I_y = (0.5 + 0.3\beta)(\cos\theta_z)^{\frac{1}{3}} \cdot (I_w - I_d) \quad 2.40$$

$$I_T = I_d + I_y$$

EK-1.e)

## 5. IŞINIM MODELİ

$$m = \frac{P}{101325(\cos\theta_z + 0.15(93.885 - \theta_z))^{-1.253}} \quad 2.9$$

$$\tau_d = K^m \quad 2.16$$

$$\alpha_w = \frac{2.9U_1}{(1 + 141.5U_1)^{0.635} + 5.925U_1} \quad 2.19$$

$$U_1 = w m \quad 2.20$$

$$\tau_r = 1.021 - 0.084[m(949P * 10^{-5} + 0.051)]^{0.5} \quad 2.28$$

(P, kPa cinsinden bölgesel atmosferik basınçtır)

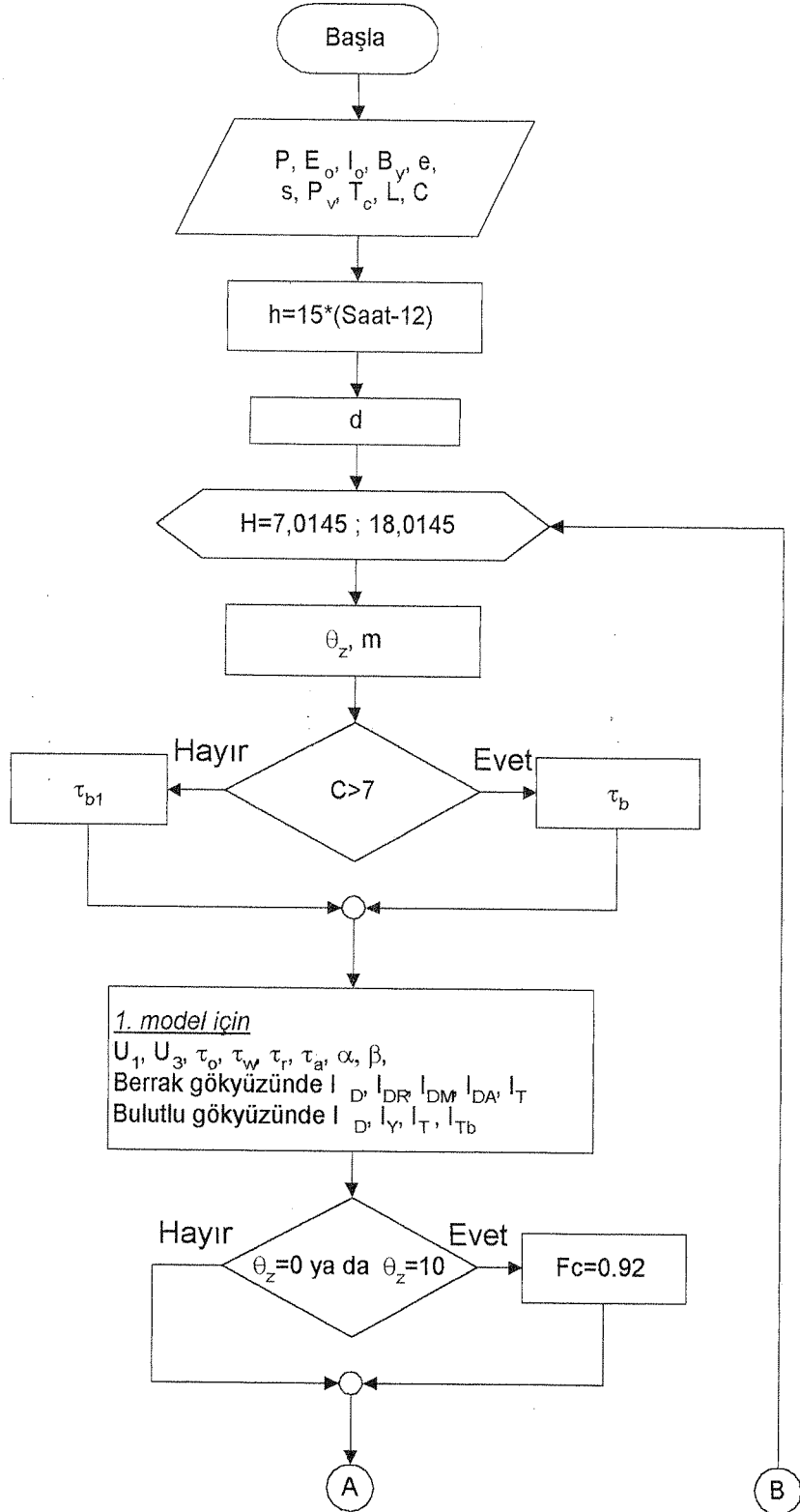
$$I_d = I_0 \cos\theta_z \tau_w \tau_r \tau_d \quad 2.34$$

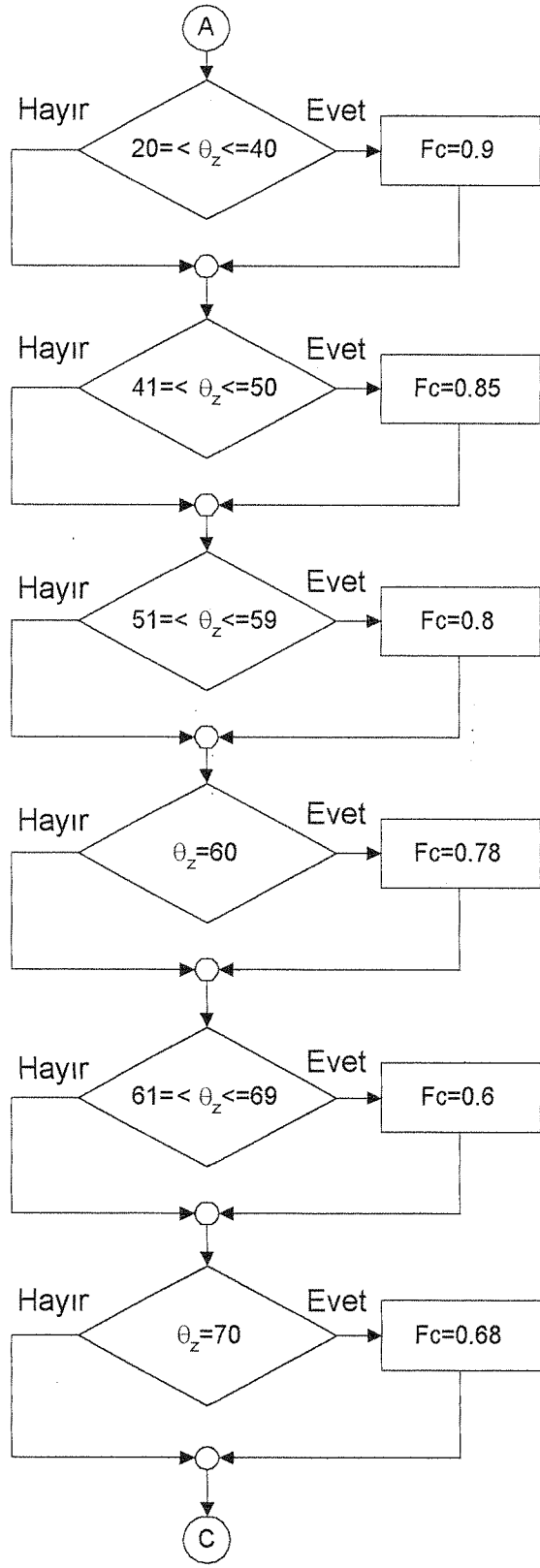
$$I_y = f_1 (I_{w1} - I_d) + f_2 (I_{w2} - I_d) + f_3 \quad 2.38$$

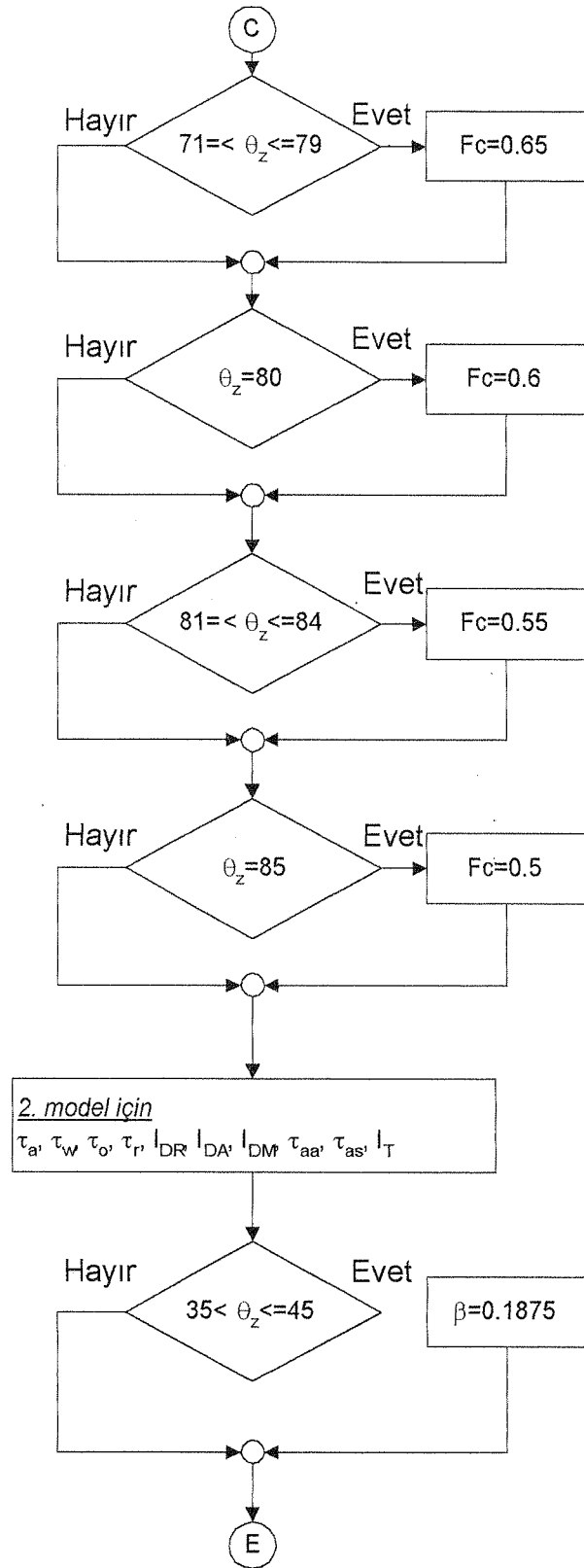
$$I_T = I_d + I_y$$

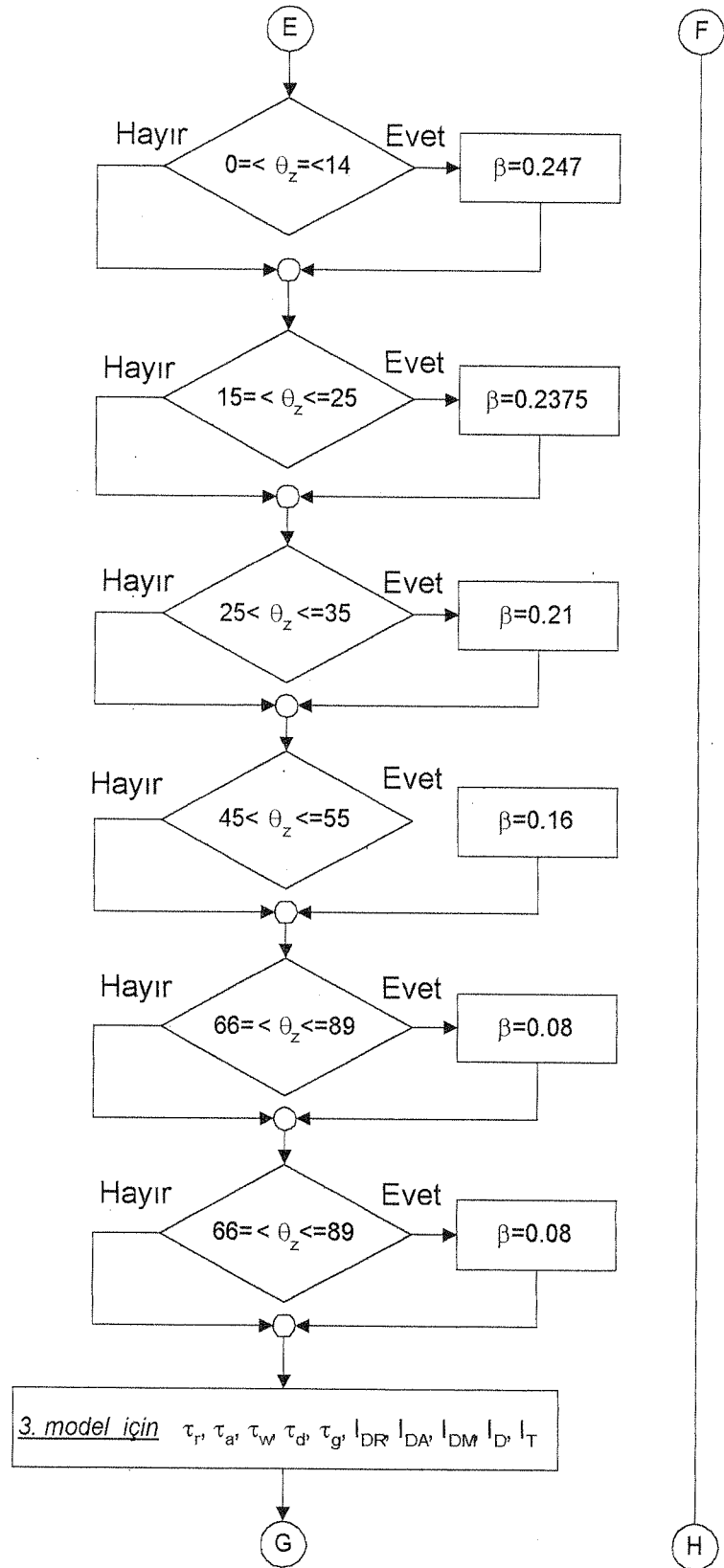
**EK-2 ESKİŞEHİR İLİNDE YATAY DÜZLEME GELEN GÜNEŞ İŞİNİMİNİN VE  
TERMOSİFON AKIŞLI GÜNEŞ TOPLACININ TEORİK ANALİZİ İÇİN  
YAZILAN BİLGİSAYAR PROGRAM ALGORİTMASI İLE PROGRAM LİSTESİ**

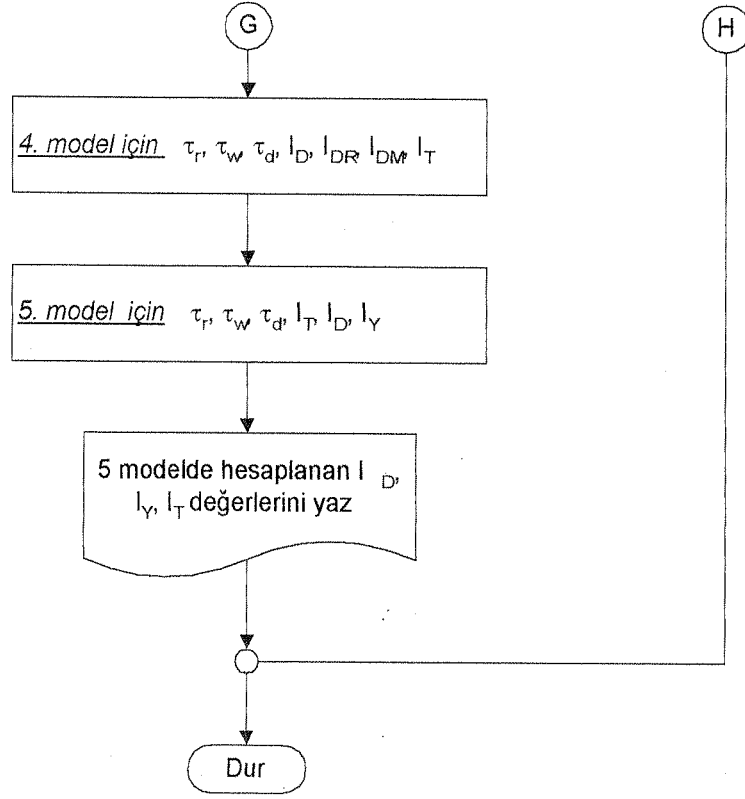
**EK-2.a) ESKİŞEHİR İLİNDE YATAY DÜZLEME GELEN IŞINIM  
ŞİDDETLERİNİ HESAPLAYAN BİGİSAYAR PROGRAM ALGORİTMASI**













**EK-2.b) ESKİŞEHİR İLİNDE YATAY DÜZLEME GELEN İŞİNİM  
ŞİDDETLERİNİ HESAPLAYAN BİLGİSAYAR PROGRAMI**

```
10 P=924.7
20 E0=1.01495:SC=1371
30 BY=30.31
40 PI=3.141592654#
50 R=PI/180
60 EN=39.46
70 E=EN*R
80 S=37
90 SA=S*R
100 READ NG,c
110 DATA 243, 8
115 If c>7 then TBG=tb else TBG=tb1
120 D=23.45*R*SIN(((NG+284)*2*PI)/365)
130 DA=D*180/PI :Tb=0.116+0.3031*(c/10)-0.02456*(c/10)^2:Tb1=1.005-
0.229*(c/10)-0.0010*(c/10)^2
140 REM SAAT AÇISI (H) GÜN UZUNLUĞU (TG)
150 FOR SAAT=7.0145 TO 17.0145 STEP 1
160 H=15*(SAAT-12)
170 HA=H*R
180 REM ZENİT AÇISI Z
190 X=COS(D)*COS(E)*COS(HA)+SIN(D)*SIN(E)
200 ZE=-ATN(X/SQR(-X*X+1))+PI/2
210 Z=ZE*180/PI
220 F=1+.033*COS(R*NG*360/365)
230 ISC=SC*F
240 MR=(COS(Z*R)+.15*(93.885-Z)^-1.253)^-1
250 MA=MR*(P/1013.25)
260 REM YOGUSTURULABİLİR SU KALINLIĞI (mm) (Pv mbar, T kelvin) (L ozon Cn)
270 PV=10.1 :TA=16.8:T=TA+273:L=.3
280 WU=.125*EXP(.295*PV^.5 - .803)
290 W=WU*10*(P/1013.25)^(3/4)*(273/T)^.5
300 U3=L*MR
310 U1=W*MR
320 REM OZON GECİRGENLİĞİ
330 A1=.02118*U3/(1+.042*U3+.000323*((U3)^2))
340 A2=1.082*U3/(1+138.6*U3)^.805
350 A3=6.580001E-02*U3/(1+(103.6*U3)^3)
360 TO3=1-(A1+A2+A3)
370 REM SU BUHARI YUTMASI
380 ALFW=2.9*U1/(((1+141.5*U1)^.635)+5.925*U1)
390 REM RAYLEIGH SACILMASI
400 TR=.972-.0862*MA+.00933*MA^2-.00095*MA^3+.000437*MA^4
410 REM VISIBILITY NIN BULUNMASI (ANGSTROM DENK.YARDIMI İLE)
420 REM AERESOL AZALMASI 0.38-0.5 MİKRONM DE OLUR(IQBAL)
430 K1=.087:K2=.069:K3=.5:K4=.38
440 ALFA=(LOG(K1/K2))/(LOG(K3/K4))
450 BETA=K1*(K4)^ALFA
460 TA=(.1254*ALFA-.0162)+(1.003-.125*ALFA)*EXP(-
BETA*MA*(1.089*ALFA+.5123))
470 REM DİREKT İŞİNİM İD
480 ID=.975*ISC*(TO3*TR-ALFW)*TA*COS(Z*R)
490 REM DİFUZ İŞİNİM PARAMETRELERİ VE TOPLAM DİFUZ İŞİNİM
```

```

500 IDR=1.01495*ISC*COS(Z*R)*TO3*(.5*(1-TR))*TA
510 IF Z=0 THEN LET FC=.92
520 IF Z=10 THEN LET FC=.92
530 IF Z=20 THEN LET FC=.9
540 IF Z>=21 AND Z<=40 THEN LET FC=.9
550 IF Z>=41 AND Z<=49 THEN LET FC=.875
560 IF Z=50 THEN LET FC=.85
570 IF Z>=51 AND Z<=59 THEN LET FC=.8
580 IF Z=60 THEN LET FC=.78
590 IF Z>=61 AND Z<=69 THEN LET FC=.6
600 IF Z=70 THEN LET FC=.68
610 IF Z>=71 AND Z<=79 THEN LET FC=.65
620 IF Z=80 THEN LET FC=.6
630 IF Z>=81 AND Z<=84 THEN LET FC=.55
640 IF Z=85 THEN LET FC=.5
650 W0=.95 :W1=.2
660 IDA=ISC*(COS(Z*R))*(TO3*TR-ALFW)*(FC*W0*(1-TA))
670 DU=1.66*P/1013.25
680 TAU=(.12445*ALFA-.0162)+(1.003-.125*ALFA)*EXP(-
BETA*DU*(1.089*ALFA+.5123))
690 ROAU=.0685+.17*(1-TAU)*W0
700 IDM=(ID+IDR+IDA)*W1*ROAU/(1-W1*ROAU)
710 IT=ID+IDR+IDA+IDM:ITB=(IT-IDA)*TBG
715 IYAYILI=IDR+IDM+IDA
720 REM IKINCI ISINIM MODELI
730 TR2=EXP((-0.0903*MA^.84)*(1+MA-MA^1.01))
740 REM OZON GECIRGENLIGI
750 TOZ2=1-(.1611*U3*(1+139.48*U3)^(-.3035) -
.002715*U3*(1+.044*U3+.0003*U3^2)^-1)
760 TG2=EXP(-.0127*MA^.26)
770 TW2=1-2.4959*U1*((1+79.034*U1)^.6828 + 6.835*U1)^-1
780 KA2=.275:KA3=.087:KA4=.35:KA5=.069
790 KA=KA2*KA3+KA4*KA5
800 TA2=EXP(-KA^(.873)*(1+KA-KA^(.7088)))*MA^.9108)
810 I2=.9751*ISC*TR2*TOZ2*TG2*TW2*TA2
820 ID2=I2*COS(Z*R)
830 REM MODEL2 DIFUZ HESABI
840 TAA2=1-(1-W0)*(1-MA+MA^1.06)*(1-TA2)
850 TAS=TA2/TAA2
860 RO2U=.0685+(1-FC)*(1-TAS)
870 IDR2=.79*ISC*COS(Z*R)*TOZ2*TG2*TW2*TAA2*.5*(1-TR2)/(1-MA+MA^1.02)
880 IDA2=.79*ISC*COS(Z*R)*TOZ2*TG2*TW2*TAA2*FC*(1-TAS)/(1-MA+MA^1.02)
890 IDM2=(ID2+IDR2+IDA2)*W1*RO2U/(1-W1*RO2U)
900 IT2=ID2+IDM2+IDR2+IDA2
905 IYAY2=IDM2+IDR2+IDA2
910 REM UCUNCU ISINIM MODELI (RSC)
920 IF Z>=0 AND Z<=14 THEN LET BETA3=.247
930 IF Z>=15 AND Z<25 THEN LET BETA3=.2375
940 IF Z>=25 AND Z<35 THEN LET BETA3=.21
950 IF Z>=35 AND Z<45 THEN LET BETA3=.1875
960 IF Z>=45 AND Z<55 THEN LET BETA3=.16
970 IF Z>=66 AND Z<=89 THEN LET BETA3=.08
980 GAMA3=.054-.0088*MA+(.00108)*MA^2 - (.000051)*MA^3
990 W3=3
1000 TA3=10^(-.02*MA)
1010 US=-(.04*W3^.1+.01*W3)*MA
1020 TW3=10^US

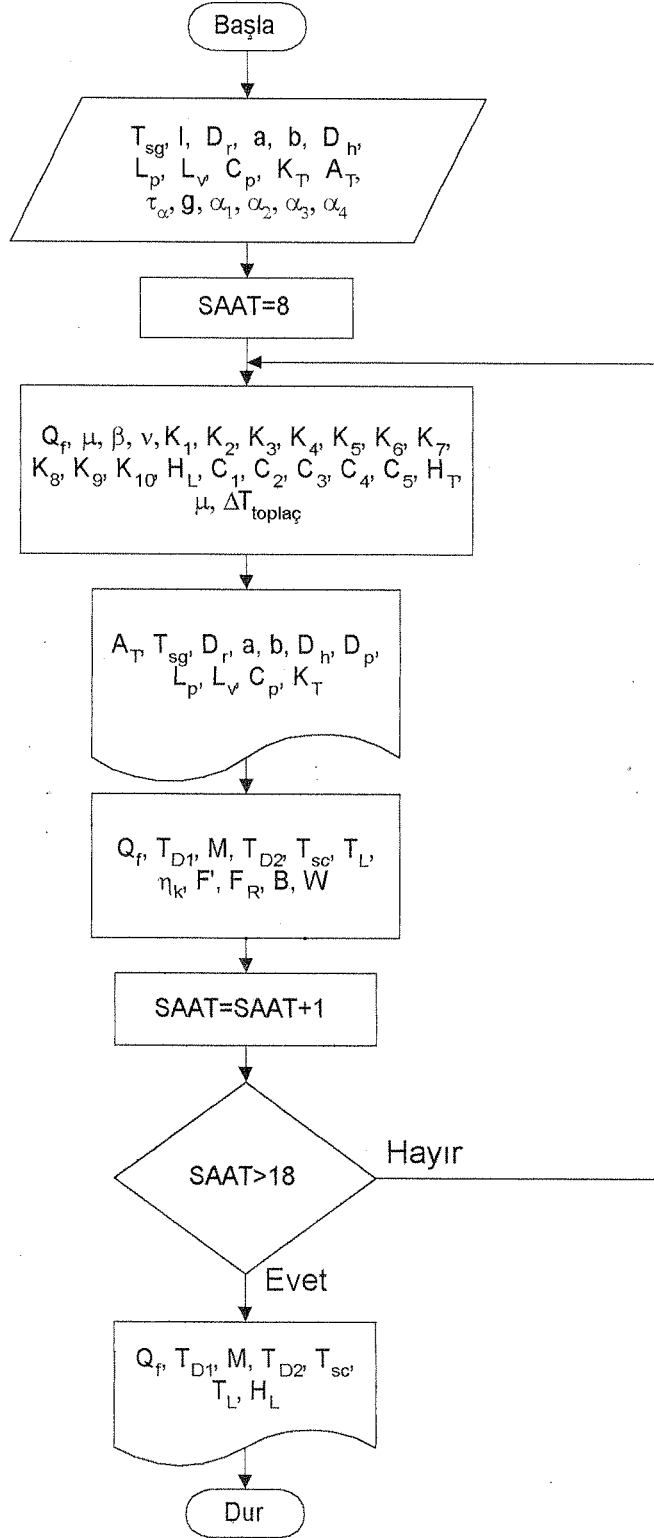
```

```

1030 TP3=10^(-.666*BETA3*MA)
1040 TR1TR2=10^(-GAMA3*MA)
1050 IDR3=1.01495*SC*COS(Z*R)*TA3*TW3*(1-TR1TR2)*TP3
1060 IDA3=1.01495*SC*(COS(Z*R))*TP3*TR1TR2*W0*(1-TA3)
1070 IDM3=(ID3+IDR3+IDA3)*W1*ROAU/(1-W1*ROAU)
1080 ID3=1.01495*SC*COS(Z*R)*TA3*TW3*TP3*TR1TR2
1090 IT3=ID3+IDA3+IDR3+IDM3
1095 IYAY3=IDR3+IDA3+IDM3
1100 REM DORDUNCU ISINIM MODELI (DSN)
1110 REM DSN MODELİNDE DIFUZ ISINIM SADECE SACILMAYI ICERIR
1120 TR4=.972-.08262*MA+.00933*MA^2-.00095*M^3+.0000437*MA^4
1130 TW4=1-.077*(W3*MA)^.3
1140 TP4=TP3
1150 ID4=1.01495*SC*COS(Z*R)*TR4*TW4*TP4
1160 IDR4=1.01495*SC*COS(Z*R)*TR4*TW4*(1-TR4)*TP4
1170 IDM4=.5*IDR4
1180 IT4=ID4+IDR4+IDM4
1190 IYAY4=IDR4+IDM4
1200 PABG=92.24
1210 TATR1TR2=1.021-.084*(MA*(PABG*.00949 + .051))^.5
1220 TW5=2.9*U1/(((1+141.5*U1)^.635)+5.925*U1)
1230 TP5=TP3
1240 IT5=ISC*COS(Z*R)*TATR1TR2*TP5*(1/(1-W1*.0685))
1250 IW5=ISC*COS(Z*R)
1260 IYA5=IW5-IT5
1270 ID5=IT5-IYA5
1280 'PRINT IT,      IT2,      IT5,      IT4,      SAAT
1340 PRINT IT,IT2,IT3,IT4,IT5
1360 NEXT

```

**EK-2. c) TERMOSİFON AKIŞLI GÜNEŞ TOPLAÇLI SİSTEM  
PARAMETRELERİNİ HESAPLAYAN BİLGİSAYAR PROGRAMI  
ALGORİTMASI**



**EK-2. d) TERMOSİFON AKIŞLI GÜNEŞ TOPLAÇLI SİSTEM  
PARAMETRELERİNİ HESAPLAYAN BİLGİSAYAR PROGRAMI**

TERS21.BAS

```
40 T= 30: QI =1.177: DR = .015: A = .1: B = 1.94: DH = .03: DP = .025: LP
= 4.7: LV = 2.2
50 CB = 4.174: UL = 6.196: CA = 4.84: TA = 24.6: TP = .427:
TC=13.6:QS=0:TAG=30:CLS
60 BY = 0
65 DOSYAŞ="Ters21.txt"
66 OPEN DOSYAŞ FOR OUTPUT AS #1
70 PRINT "1) Kollektor Giriş Sıcaklığı.....T="; T
80 PRINT "2) Kollektöre Gelen Işınım(Kw).....QI="; QI
90 PRINT "3) Boru Giriş Çapı (m).....DR="; DR
100 PRINT "4) İki Boru Arası Mesafe (m).....A="; A
110 PRINT "5) Boru Uzunluğu (m).....b="; B
120 PRINT "6) Kafa Giriş Çapı (m).....DH="; DH
130 PRINT "7) Bağlantı Borusu Giriş Çapı (m).....DP="; DP
140 PRINT "8) Bağlantı Borusu Toplam Uzunluğu (m).....LP="; LP
150 PRINT "9) Yatay Bağlantı Boruları (m).....LV="; LV
160 PRINT "10) Akışkan Özgül Isı (Kj/Kg °C).....CB="; CB
170 PRINT "11) Kollektör Kayıp Katsayısı (W/m2°C).....UL="; UL
180 PRINT "12) Kollektör Alanı (m2).....CA="; CA
190 PRINT "13) Ortam Sıcaklığı (°C).....TA="; TA
200 TG = T
210 QF = QI
220 PRINT
230 INPUT "Değişecek Değerin Numarası="; SS
235 IF SS = 0 THEN GOTO 390
240 ON SS GOTO 250, 260, 270, 280, 290, 300, 310, 320, 330, 340, 350,
360, 370
250 INPUT "1) Kollektor Giriş Sıcaklığı.....T="; T: GOTO
380
260 INPUT "2) Kollektöre Gelen Işınım(Kw).....QI="; QI: GOTO
380
270 INPUT "3) Boru Giriş Çapı (m).....DR="; DR: GOTO
380
280 INPUT "4) İki Boru Arası Mesafe (m).....A="; A: GOTO
380
290 INPUT "5) Boru Uzunluğu (m).....b="; B: GOTO
380
300 INPUT "6) Kafa Giriş Çapı (m).....DH="; DH: GOTO
380
310 INPUT "7) Bağlantı Borusu Giriş Çapı (m).....DP="; DP: GOTO
380
```

```

320 INPUT "8) Bağlantı Borusu Toplam Uzunluğu (m).....LP="; LP: GOTO
380
330 INPUT "9) Yatay Bağlantı Boruları (m).....LV="; LV: GOTO
380
340 INPUT "10) Akışkan Özgül Isı (Kj/Kg °C).....CB="; CB: GOTO
380
350 INPUT "11) Kollektör Kayıp Katsayısı (W/m²°C).....UL="; UL: GOTO
380
360 INPUT "12) Kollektör Alanı (m²).....CA="; CA: GOTO
380
370 INPUT "13) Ortam Sıcaklığı (°C).....TA="; TA: GOTO
380
380 IF SS = 0 GOTO 390 ELSE GOTO 60
390 DW = 986: G = 9.810001: F1 = 20: F2 = 60: F3 = 40: F4 = 30: PI =
3.1416
400 GOSUB 660
410 GOSUB 670
420 GOSUB 690
430 GOSUB 710
440 GOSUB 730
450 GOSUB 840
460 GOSUB 860
470 GOSUB 870
480 GOSUB 910
490 GOSUB 920
500 FL = FL + 1
510 IF FL = 5 THEN FL = 0: GOTO 530
520 TAE=T: T = TG + TF / 2: GOTO 390
530 IF BY = 1 THEN GOTO 550
540 HFG = HFG + 1: GOSUB 930
550 D1 = QI: D2 = QF - QI: D3 = M: D4 = TF: D5 = HT
560 REM CLS
570 REM PRINT "          "; d1, d2, d3, d4, d5
575 REM IF QF > 3.3 THEN QF = .25: by = 0: INPUT afaf: GOTO 60
580 QE = QF: READ QF, TP,TC,TAG: IF QF = 0 AND TP=0 AND TC = 0 AND TAG=0
THEN END
590 GOTO 400
660 QI = QF * TP- (UL) * (T - TA) * .001: RETURN
670 A1 = 2.1482: A2 = -8.435001: A3 = 8078.4: A4 = 8.435001: A5 = 120
680 DV = .1 / ((A1 * ((T + A2) + (A3 + (T - A4) ^ 2) ^ .5)) - A5): RETURN
690 T1 = T * 9 / 5 + 32
700 K = (.34 + .000416 * (T1 - 50)) / .5778: RETURN
710 A1 = 6.48E+10: A2 = -1.438E+09
720 CE = (A1 + A2 * (60 - T)) * K * DV / (G * DW ^ 2 * CB) / 1000: RETURN
730 K1 = F2 / DH ^ 3 + B / DR ^ 4 + F3 / DR ^ 3: KE = (F1 + F3) / DH ^ 3
+ 2 * A / DH ^ 4
740 K2 = (K1 + KE) * K1 / (2 * K1 + KE)
750 K3 = (K2 + KE) * K1 / (K2 + KE + K1)
760 K4 = (K3 + KE) * K1 / (K3 + KE + K1)
770 K5 = (K4 + KE) * K1 / (K4 + KE + K1)
780 K6 = (K5 + KE) * K1 / (K5 + KE + K1)
790 K7 = (K6 + KE) * K1 / (K6 + KE + K1)
800 K8 = (K7 + KE) * K1 / (K7 + KE + K1)
810 K9 = (K8 + KE) * K1 / (K8 + KE + K1)
820 K10 = (K9 + KE) * K1 / (K9 + KE + K1)
830 HC = 64 * DV * K10 / (PI * DW ^ 2 * G): RETURN
840 C2 = 14.24 / (PI ^ 2 * DW ^ 2 * G * DH ^ 4)

```

```

850 C3 = (128 * DV / (PI * DW ^ 2 * G)) * (LP / DP ^ 4 + 2 * F4 / DP ^ 3
+ .5 * (F2 + F3) / DH ^ 3 + A / DH ^ 4 + .5 * K10): RETURN
860 C1 = .5 * CE * LV: RETURN
870 C4 = C3 / C2: C5 = -C1 * QI / (CB * C2)
880 Q = -(C4 ^ 2) / 9: R = (-27 * C5 - 2 * C4 ^ 3) / 54
890 X = (R / (-Q ^ 3) ^ .5)
895 AC = -ATN(X / SQR(-X * X + 1)) + PI/2
900 M = 2 * (-Q) ^ .5 * COS(AC / 3) - C4 / 3: RETURN
910 HT = C2 * (M ^ 2) + C3 * M: RETURN
920 TF = QI / (M * CB): RETURN
930 IF HFG = 1 THEN CLS
935 IF HFG >= 2 THEN GOTO 1050
940 PRINT "Kollektör Alanı (m²).....="; CA
950 PRINT "Kollektör Giriş Sıcaklığı (°C)....="; T
960 PRINT "Boru Giriş Çapı (m).....="; DR
970 PRINT "İki Boru Arasındaki Uzaklık (m)....="; A
980 PRINT "5) Boru Uzunluğu (m).....="; B
990 PRINT "6) Kafa Giriş Çapı (m).....="; DH
1000 PRINT "7) Bağlantı Borusu Giriş Çapı (m)..="; DP
1010 PRINT "8) Bağlantı Borusu Toplam Uzunluğu(m)..="; LP
1020 PRINT "9) Yatay Bağlantı Boruları (m).....="; LV
1030 PRINT "10) Akışkan Özgül Isı (Kj/Kg °C).....="; CB
1040 PRINT "11) Kollektör Kayıp Katsayısı (W/m² °C).="; UL
1045 PRINT #1, " QF "; " HT "; " M "; " TYY "; "
TCIK"; " TORT "; " TID "; " TDD"
1050 IF QF = 0 AND TP = 0 THEN END
1053 GOSUB 1165
1055 PRINT #1, USING "####.##"; (QF*1000/CA); : PRINT " ";
1056 PRINT #1, " ";
1060 PRINT #1, USING "##.####"; HT; : PRINT #1, " ";
1065 PRINT #1, USING "##.####"; M; : PRINT #1, " ";
1070 PRINT #1, USING "##.####"; TYY ; : PRINT #1, " ";
1080 PRINT #1, USING "##.####"; TCIK; : PRINT #1, " ";
1090 PRINT #1, USING "##.####"; TORT; : PRINT #1, " ";
1091 PRINT #1, USING "##.####"; TID; : PRINT #1, " ";
1092 PRINT #1, USING "##.####"; TDD
1100 RETURN
1105 CLOSE #1
1110 DATA
2.356,0.731,14,36,3.453,0.812,23,40,4.381,0.826,26.2,44,4.938,0.826,28,48
,5.123,0.827
1120 DATA
29,50,4.9271,0.826,29.2,52,4.360,0.826,28.8,54,3.467,0.812,27.6,52,2.3211
,0.730,26.8,48,1.143,0.421,25,42,0,0,0,0
1160 RETURN
1165 VERK=.95:PR=4.35:HSU=215
1180 PAY=1/UL
1270 PAYDA=((1/UL)/(DR+A*VERK)+(1/(PI*DR*HSU)))*(DR+A)
1275 FV=PAY/PAYDA
1280 CAR=M*CB*1000/(CA*UL)
1290 CIK=EXP((-UL*CA*FV)/(M*CB*1000))
1300 FT=CAR*(1-CIK)
1305 QN=(QF+QS)/2:QS=QF
1310 SL=EXP(-UL*CA*FV/(M*CB*1000))
1320 NL=(TAG-TC-((QN*1000/CA)/(UL)))
1339 TCIK=(TC+((QN*1000/CA)/(UL))+NL*SL

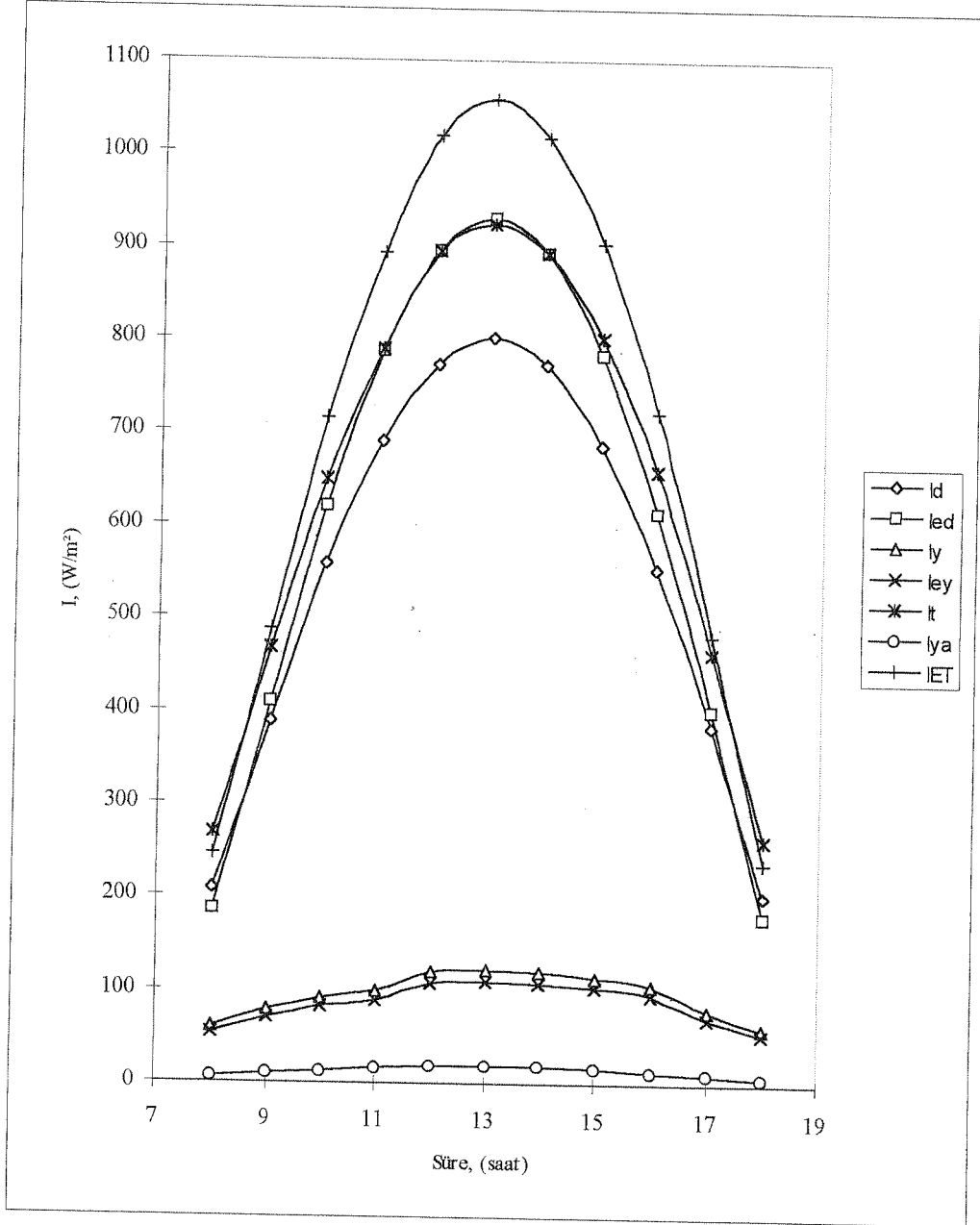
```

```
1340 TYY=TAG-(TAG-TC-(QN*TP*1000/(CA*UL)))*(1-
(FT/FV)*((DR+A*VERK)/(DR+A)))+TF
1341 KUT=.075*DW:KUT1=.24*DW
1342 W1=KUT1*CB*1000/(CA*UL*FT*.6*3600)
1350 W=KUT*CB*1000/(CA*UL*FT*.6*3600)
1351 KDEP=3!:ADEP=1.8
1352 B=KDEP*ADEP/(CA*FT*UL*.6)
1353 TORT=(1/(1+W))*((QN*FT*TP*1000/(CA*UL))+TC+W*TAG)
1354 TDD=(1/(1+W1+B))*((QN*FT*TP*1000/(CA*UL))+(1+B)*TC+W1*TAG)
1355 TID=(TCIK-TC)*EXP(-KDEP*ADEP*3600/(KUT*CB*1000))+TC
1400 RETURN
```



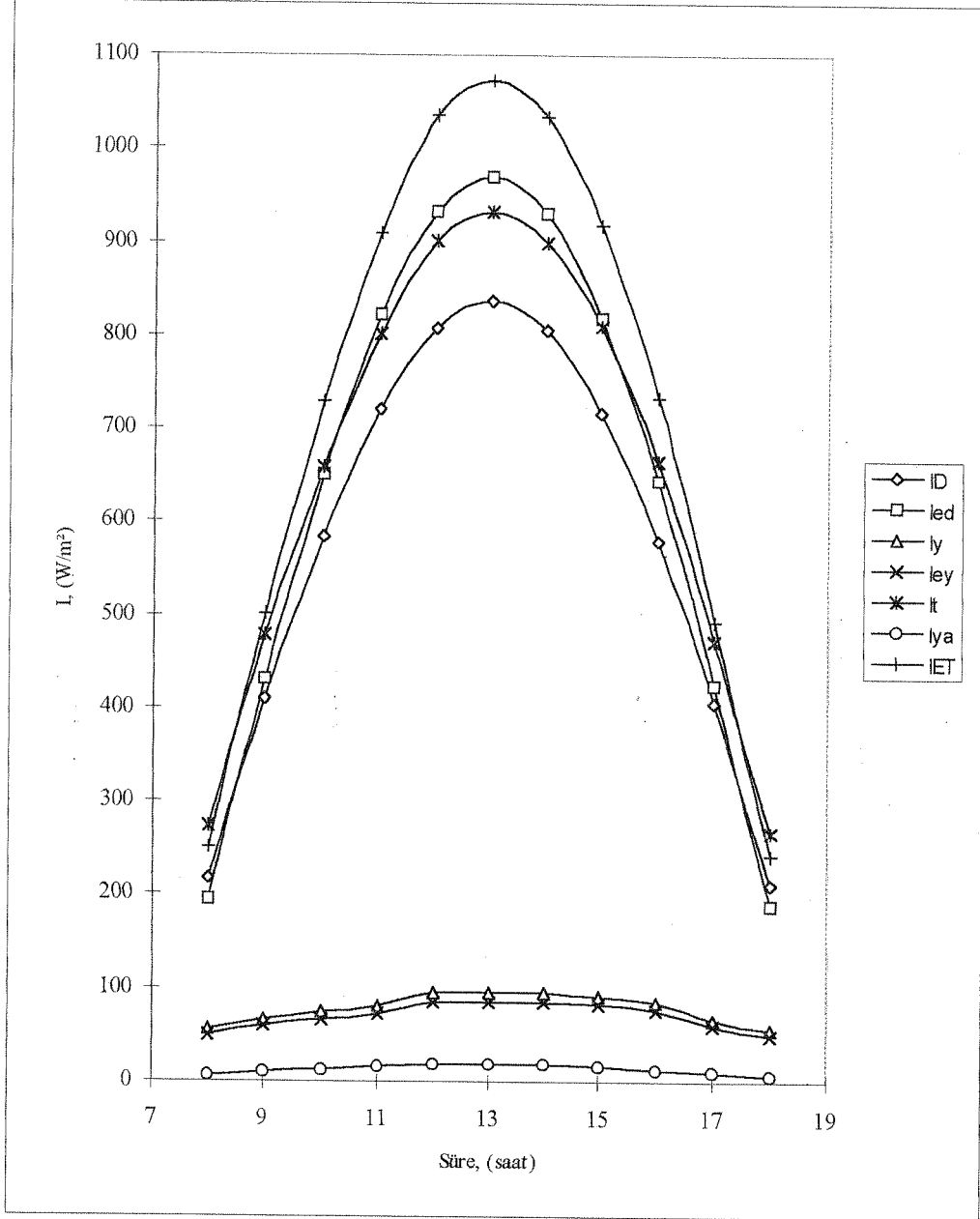
**EK-3 ESKİŞEHİR İLİNDE DENEYLERİN YAPILDIĞI GÜNLERDE YATAY VE  
EĞİK DÜZLEME GELEN İŞİNİM ŞİDDETLERİ**

**EK-3**  
**YATAY VE EĞİK DÜZLEME GELEN IŞINIM ŞİDDETLERİ**



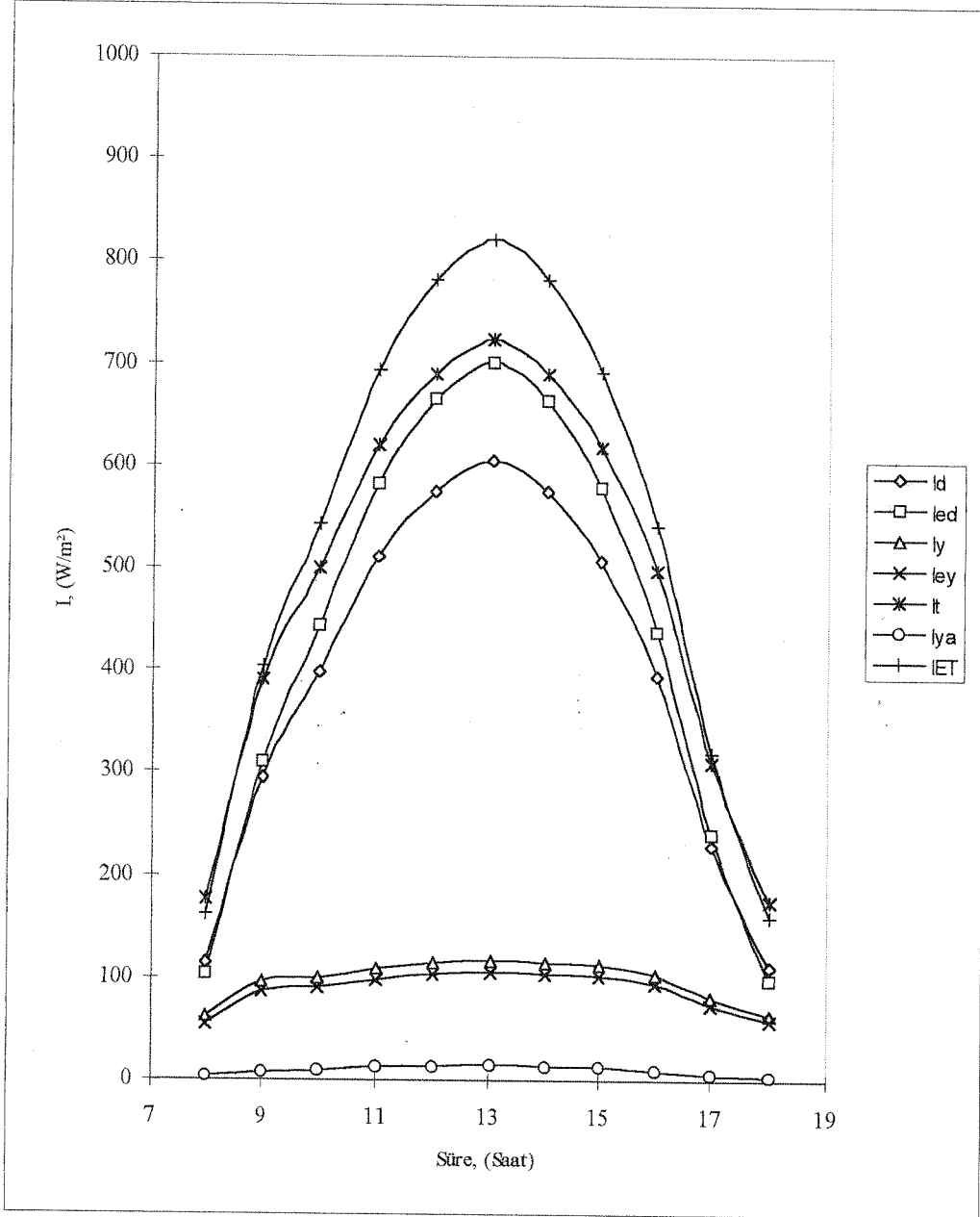
29/8/1988 Tarihinde 1. ışınım modelinden elde edilen, yatay ve eğik düzleme gelen ışınım şiddetleri

### EK-3 (devam)



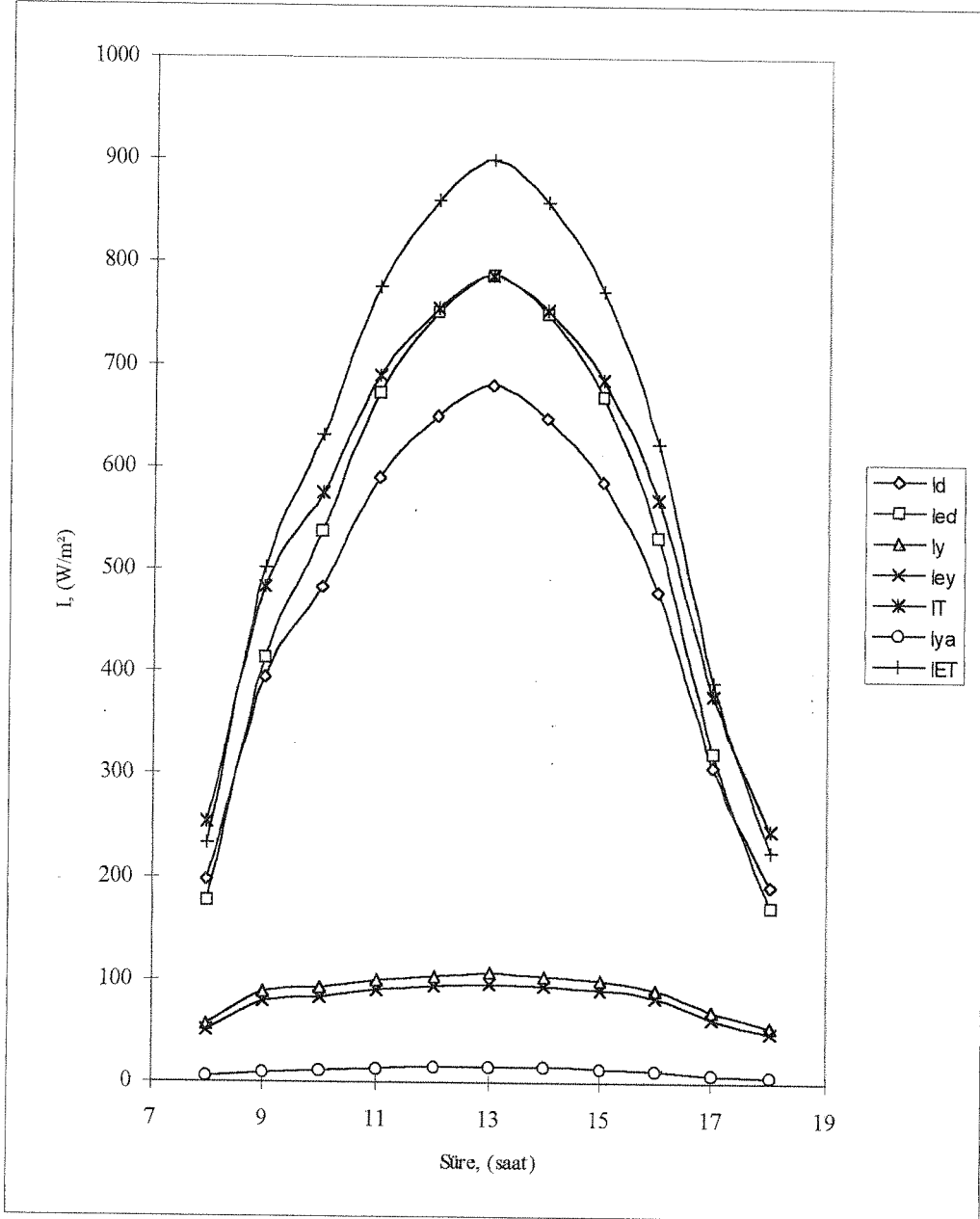
29/8/1988 Tarihinde 2. ışınım modelinden elde edilen, yatay ve eğik düzleme gelen ışınım şiddetleri

### EK-3 (devam)



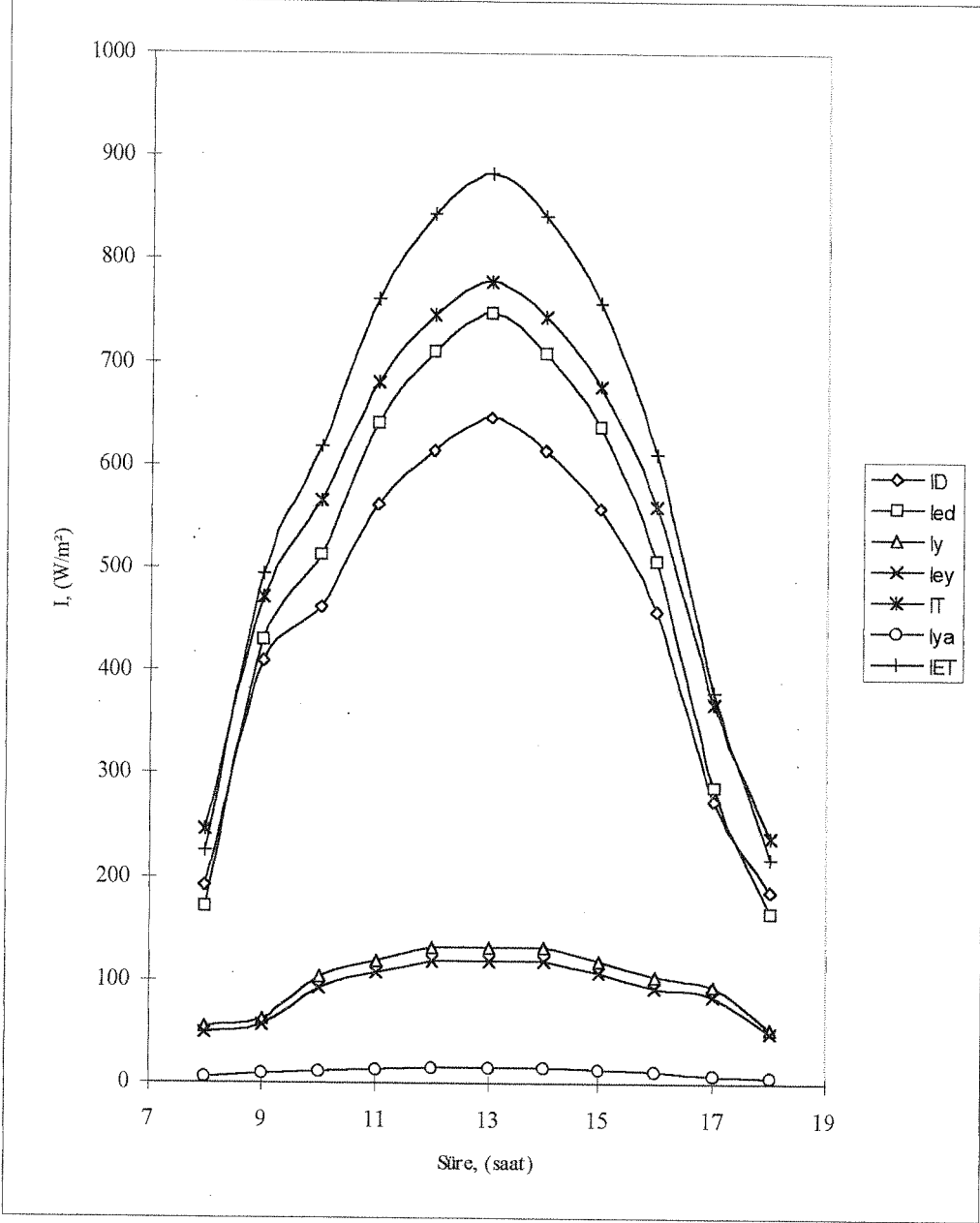
29/8/1988 Tarihinde 3. ışınım modelinden elde edilen, yatay ve eğik düzleme gelen ışınım şiddetleri

### EK-3 (devam)



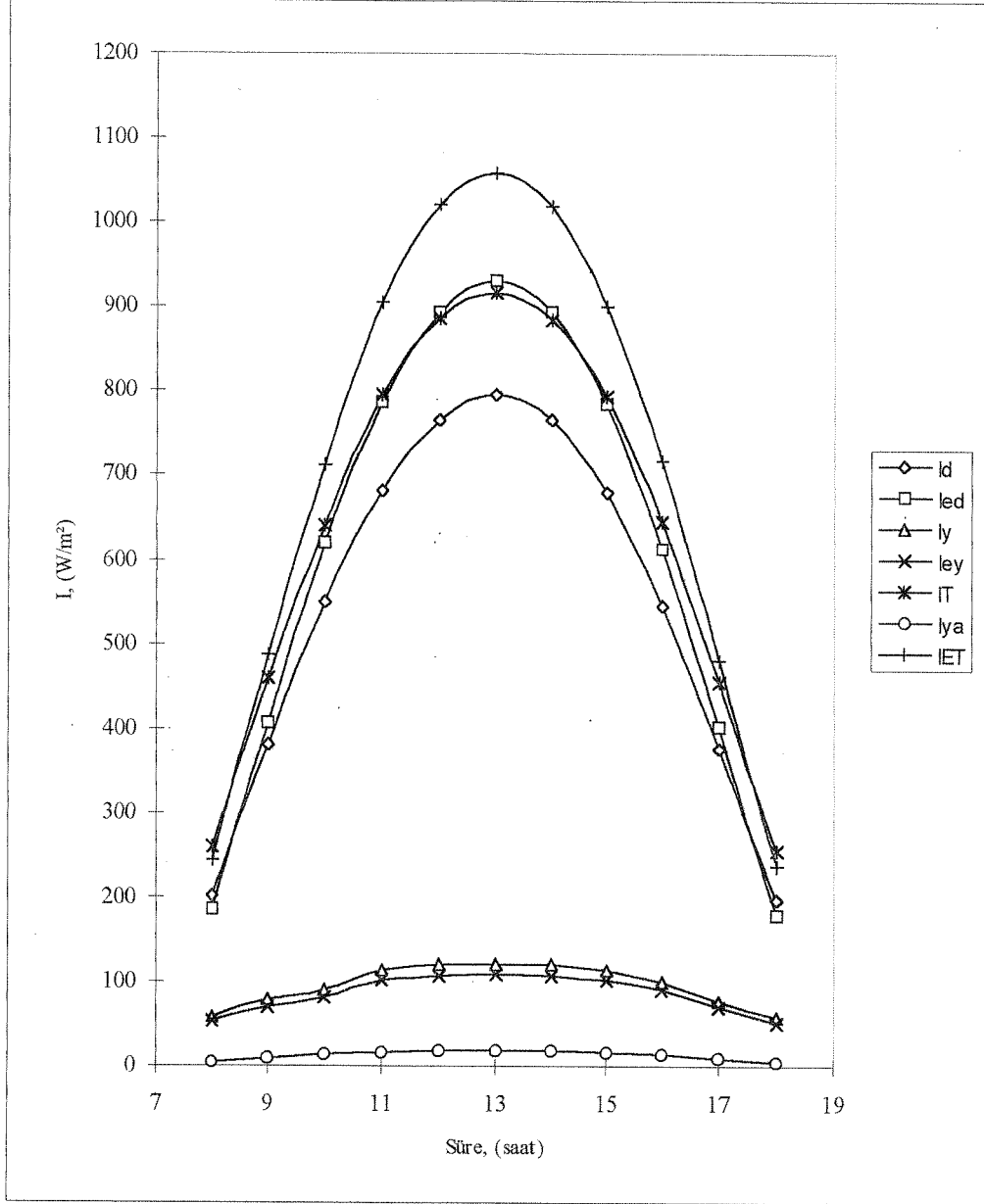
29/8/1988 Tarihinde 4. ışınım modelinden elde edilen, yatay ve eğik düzleme gelen ışınım şiddetleri

### EK-3 (devam)



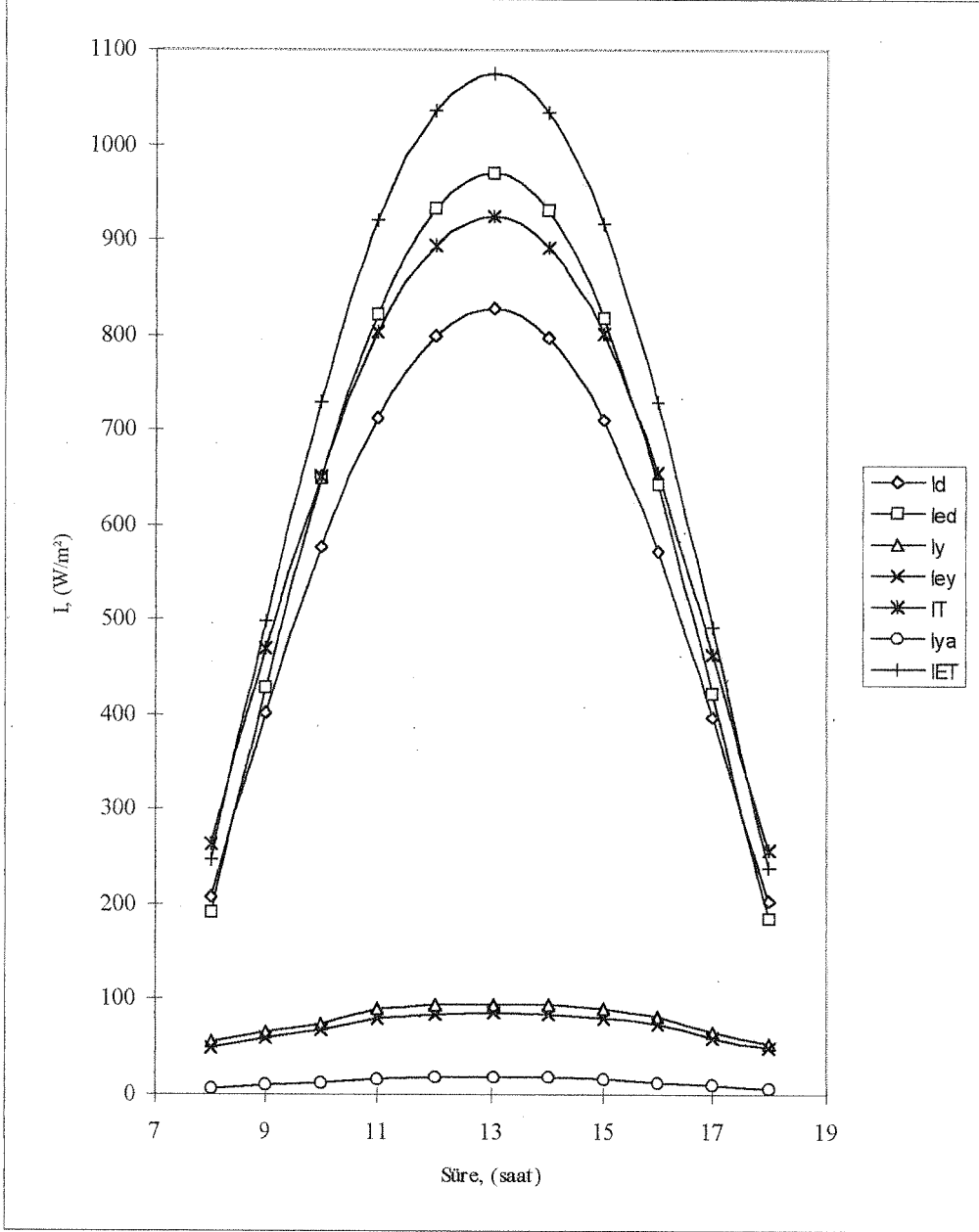
29/8/1988 Tarihinde 5. ışımm modelinden elde edilen, yatay ve eğik düzleme gelen ışımm şiddetleri

### EK-3 (devam)



31/8/1988 Tarihinde 1. ışımm modelinden elde edilen, yatay ve eğik düzleme gelen ışımm şiddetleri

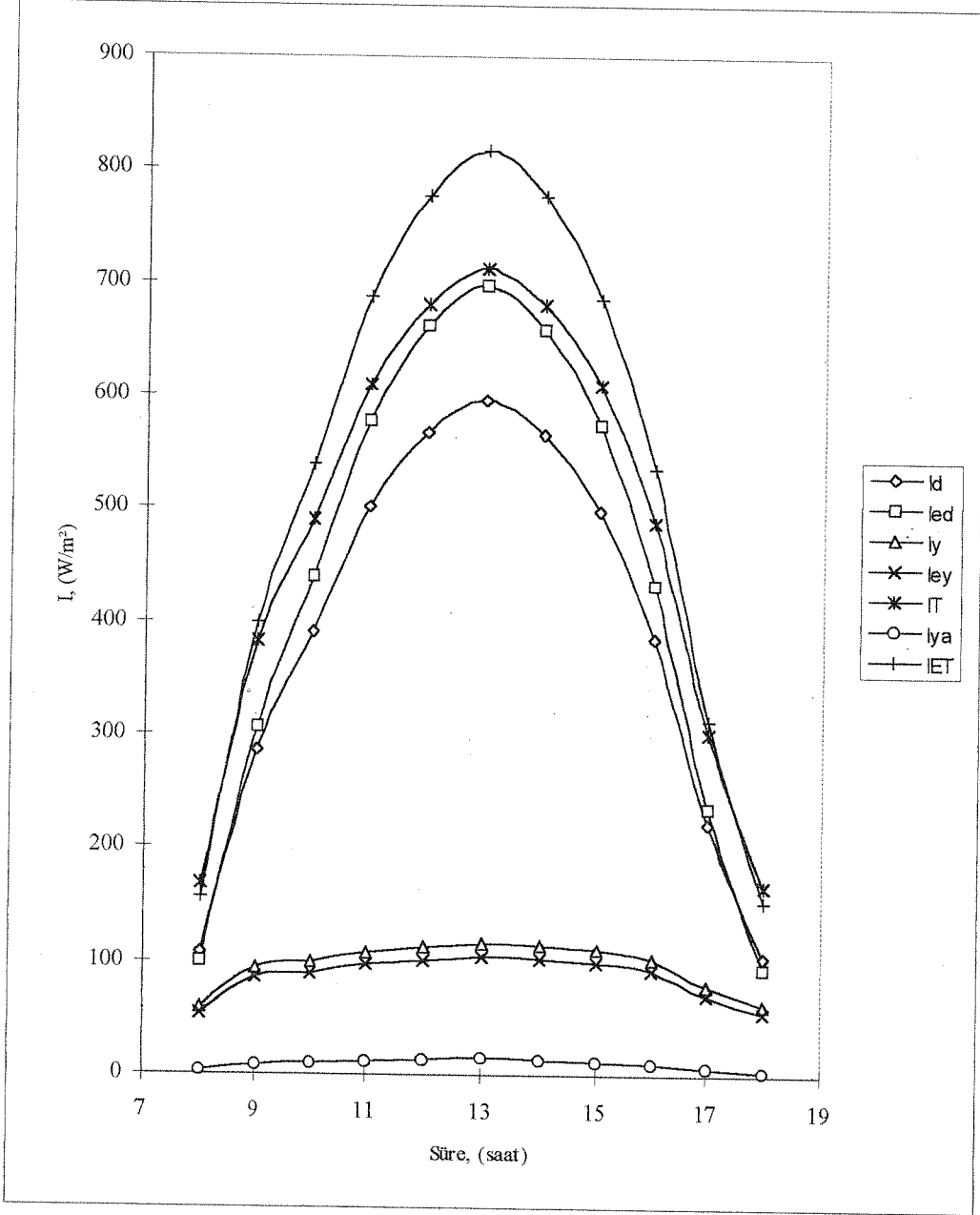
### EK-3 (devam)



31/8/1988 Tarihinde 2. ışınım modelinden elde edilen, yatay ve eğik düzleme gelen ışınım şiddetleri

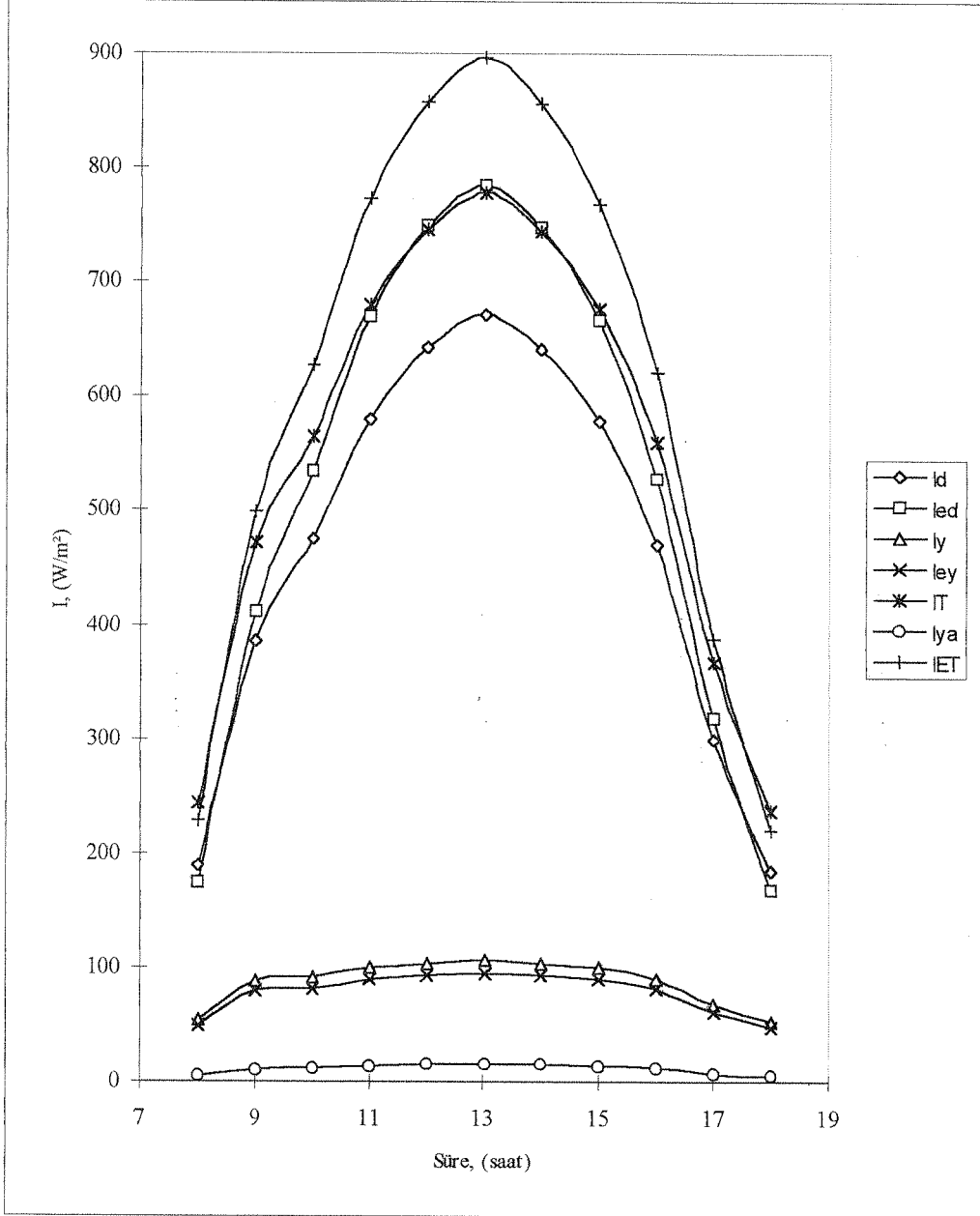


### EK-3 (devam)



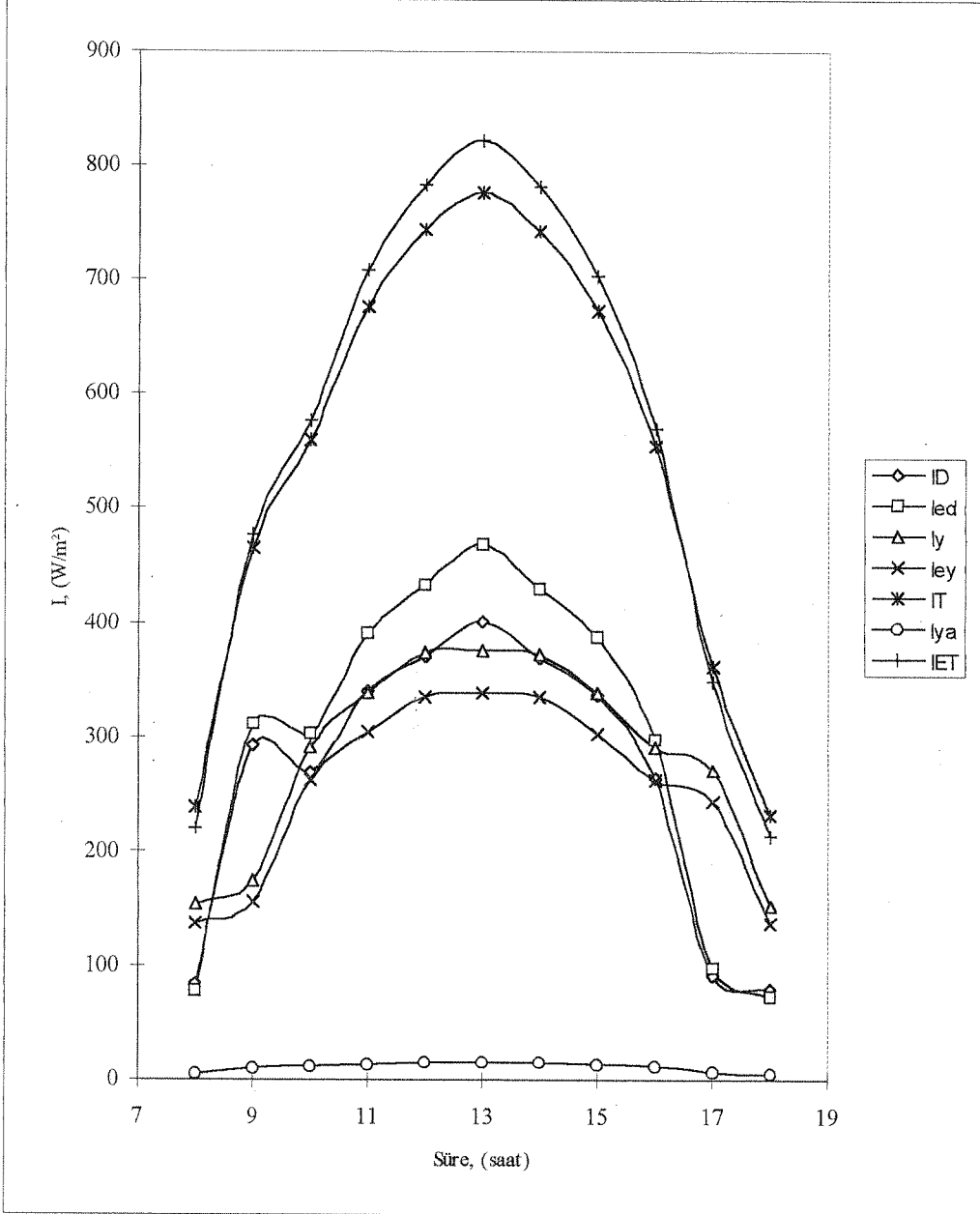
31/8/1988 Tarihinde 3. ışınım modelinden elde edilen, yatay ve eğik düzleme gelen ışınım şiddetleri

### EK-3 (devam)



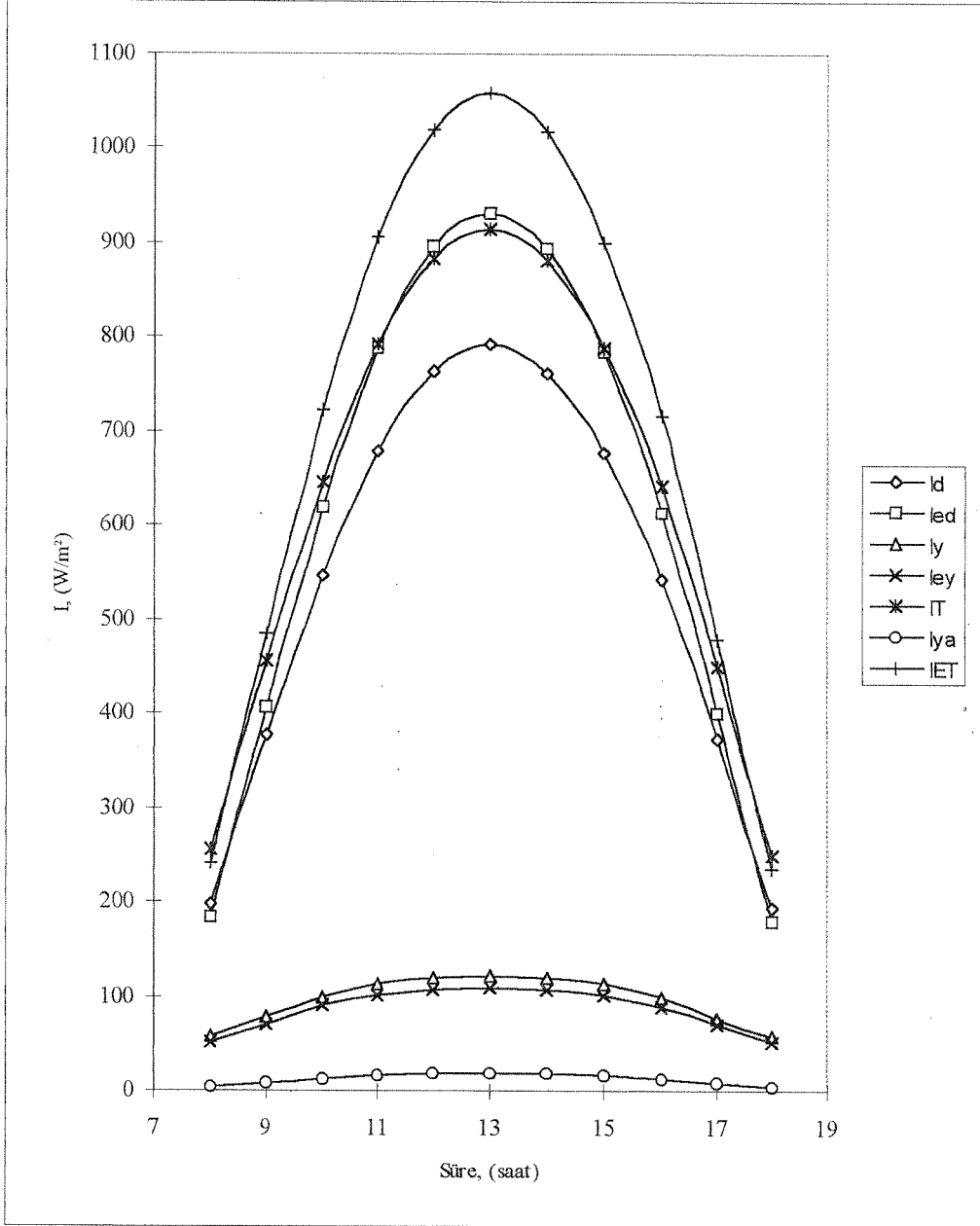
31/8/1988 Tarihinde 4. ışınım modelinden elde edilen, yatay ve eğik düzleme gelen ışınım şiddetleri

### EK-3 (devam)



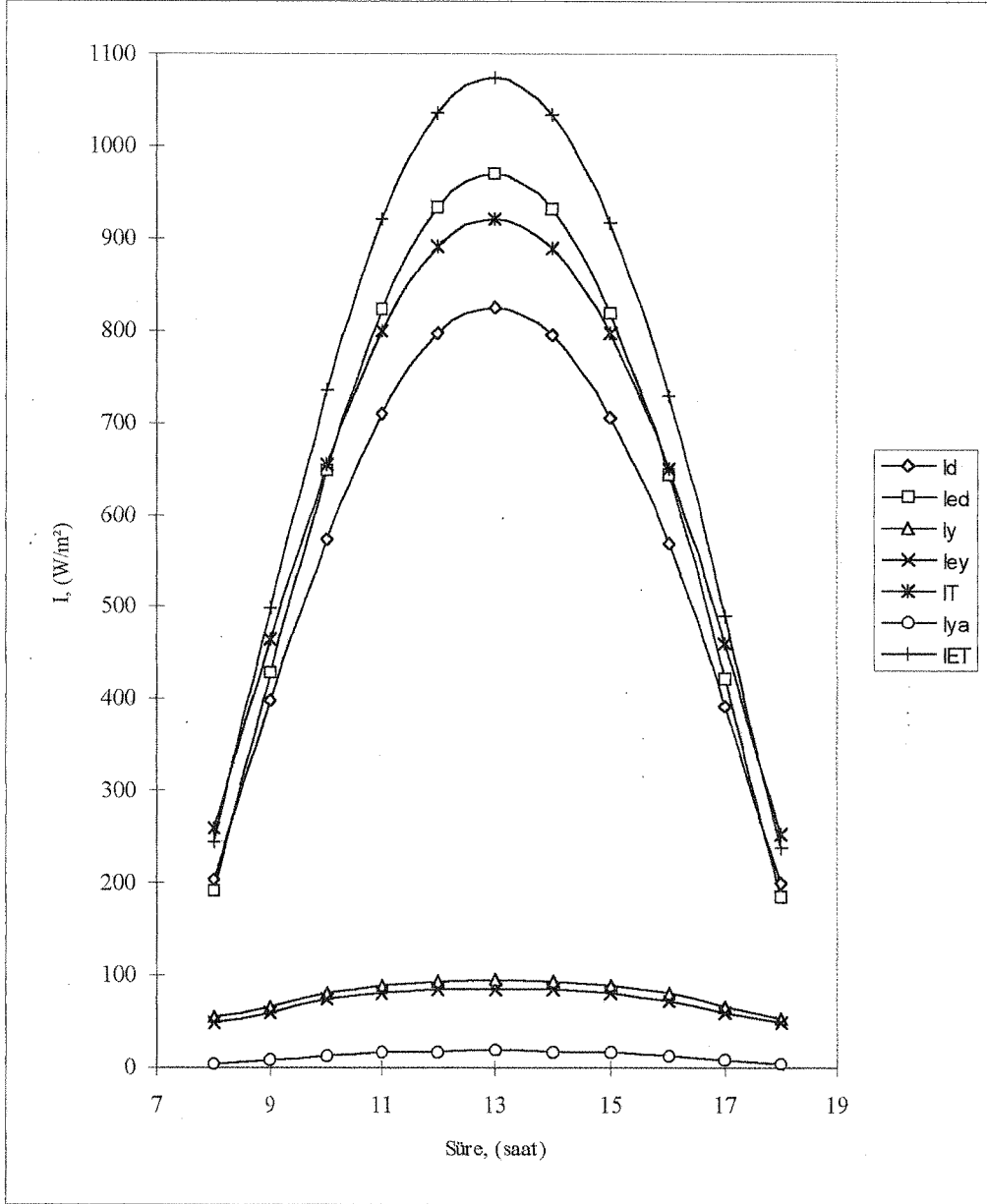
31/8/1988 Tarihinde 5. ışınım modelinden elde edilen, yatay ve eğik düzleme gelen ışınım şiddetleri

### EK-3 (devam)



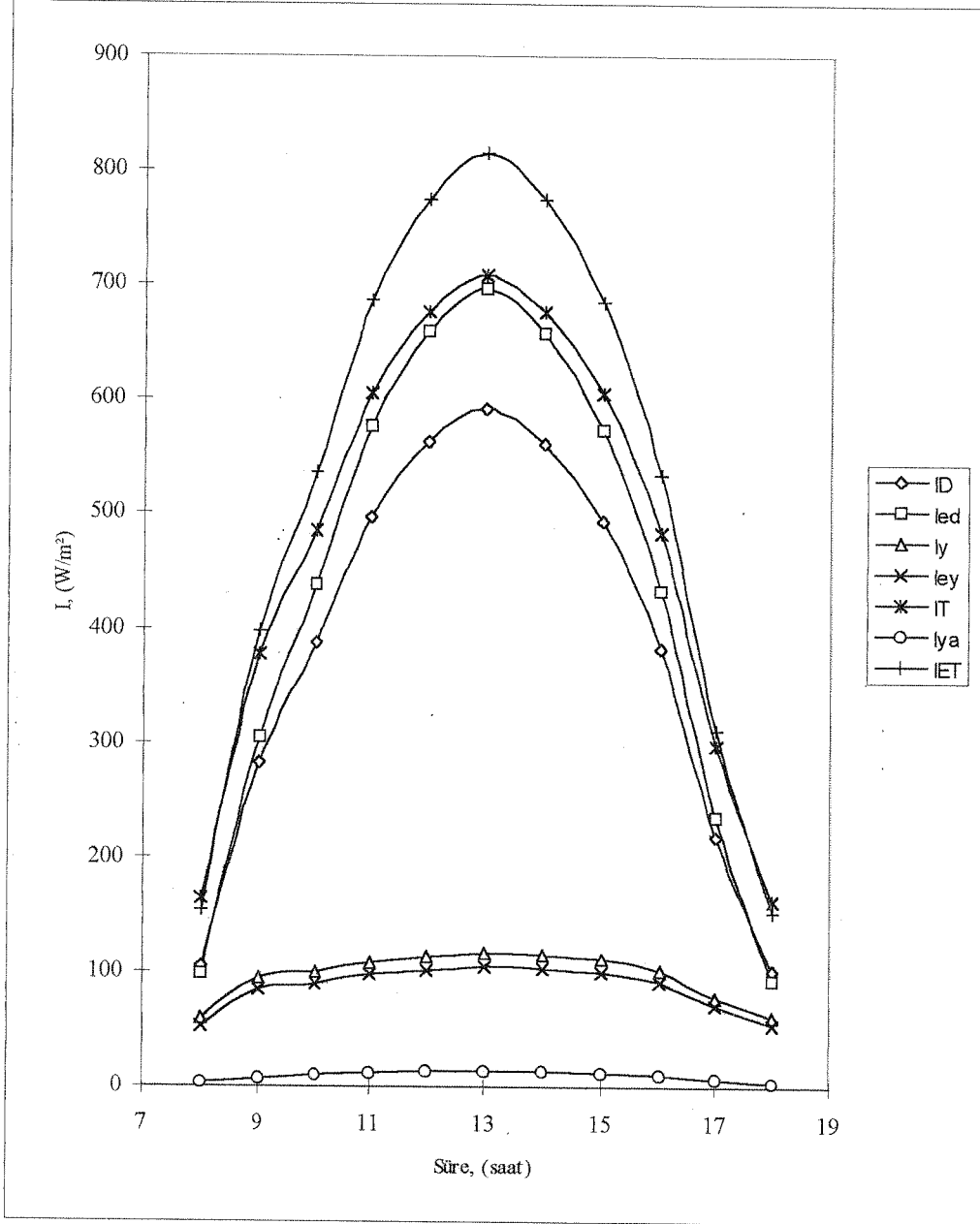
1/9/1988 Tarihinde 1. ışınım modelinden elde edilen, yatay ve eğik düzleme gelen ışınım şiddetleri

### EK-3 (devam)



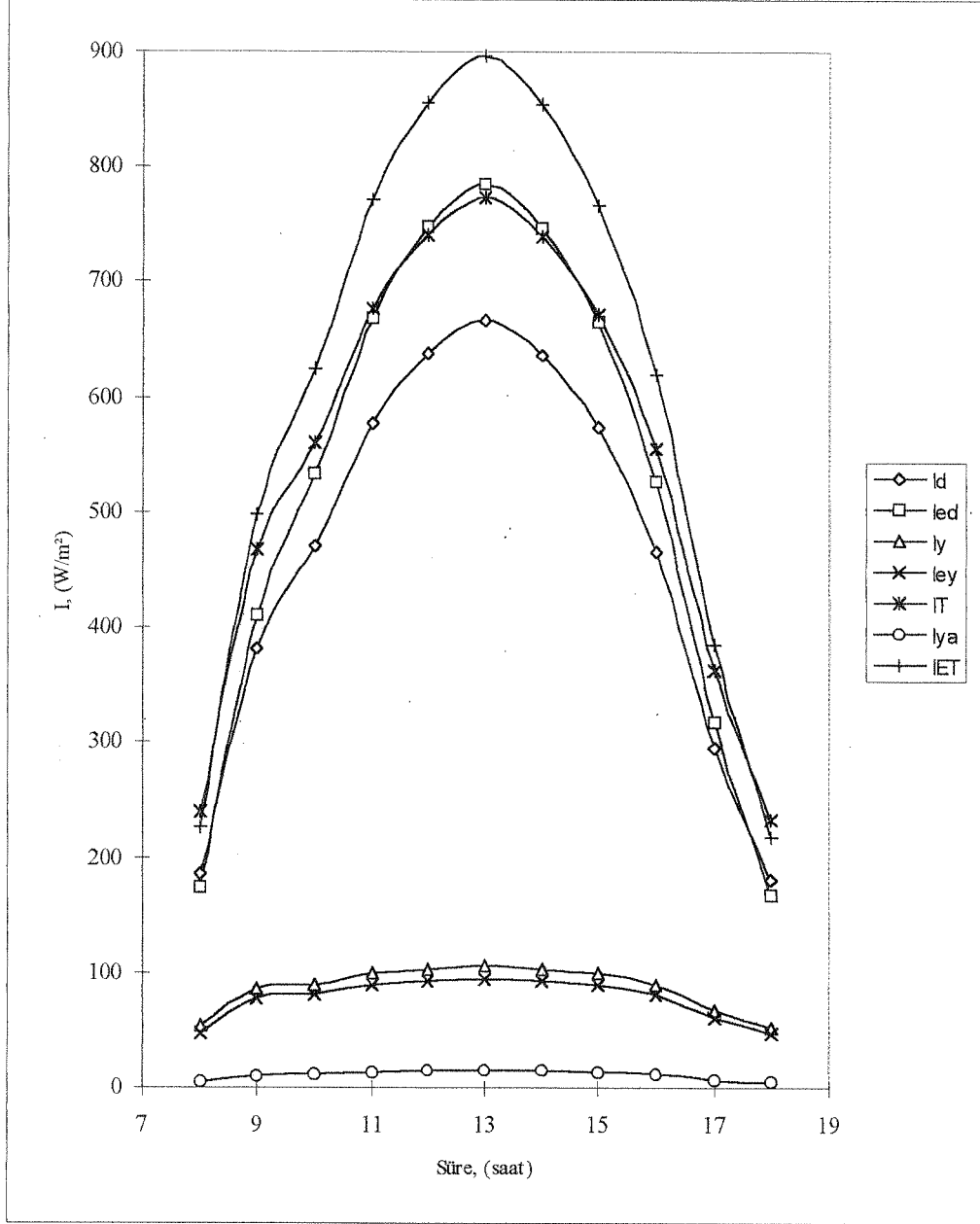
1/9/1988 Tarihinde 2. ışınım modelinden elde edilen, yatay ve eğik düzleme gelen ışınım şiddetleri

### EK-3 (devam)



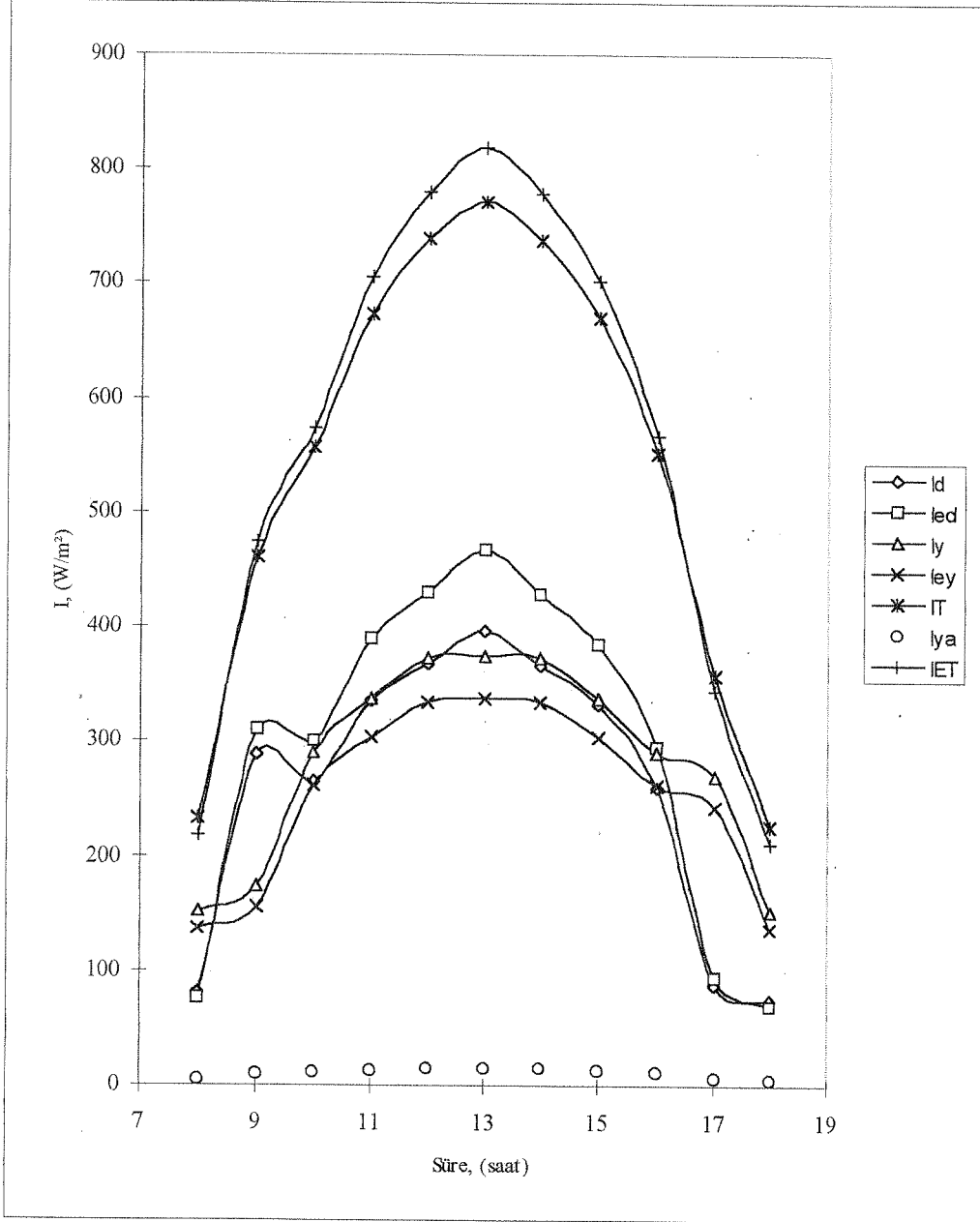
1/9/1988 Tarihinde 3. ışınım modelinden elde edilen, yatay ve eğik düzleme gelen ışınım şiddetleri

### EK-3 (devam)



1/9/1988 Tarihinde 4. ışınım modelinden elde edilen, yatay ve eğik düzleme gelen ışınım şiddetleri

### EK-3 (devam)



1/9/1988 Tarihinde 5. ışınım modelinden elde edilen, yatay ve eğik düzleme gelen ışınım şiddetleri

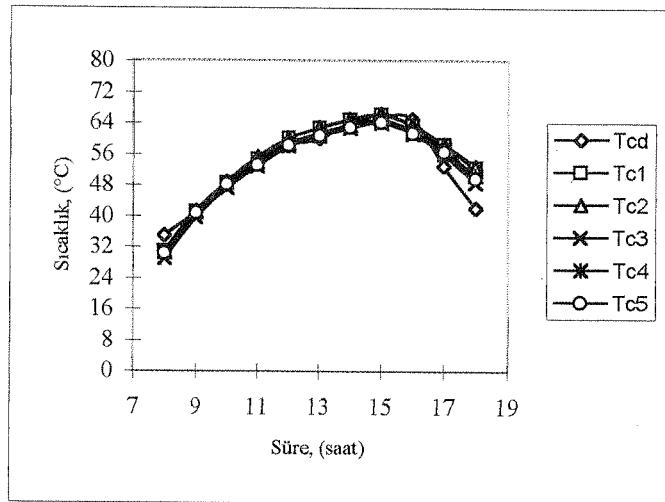


**EK-4 TERMOSIFON AKIŞLI GÜNEŞ TOPLACINDA TEORİK VE DENEYSEL  
YUTUCU LEVHA, SU ÇIKIŞ, İÇ DEPO ve DIŞ DEPO SICAKLIKLARI  
ARASINDA MAPE ORANLARI**

### EK-4.a) Deneysel ve teorik toplaç su çıkış sıcaklıkları (31/08/1988)

SÜRE	T <sub>cd</sub>	T <sub>c1</sub>	T <sub>c2</sub>	T <sub>c3</sub>	T <sub>c4</sub>	T <sub>c5</sub>
8	35	30,8426	30,9143	29,0348	30,5369	30,3811
9	41	41,0564	41,1665	39,5652	40,9593	40,7472
10	48	48,5489	48,8497	47,2424	48,4395	48,1124
11	54	54,608	55,2264	52,7782	53,6964	53,1462
12	58	59,9756	60,1005	57,983	58,7849	58,1617
13	60	62,7322	62,8539	60,656	61,3822	60,7099
14	64	64,8202	64,9445	62,7558	63,4754	62,7983
15	66	66,2188	66,3463	64,0452	64,8151	64,1093
16	65	63,3327	63,4665	61,1827	62,0738	61,4112
17	53	58,392	58,5458	56,0794	57,2337	56,5674
18	42	52,4788	52,7228	48,6552	50,5218	49,6553

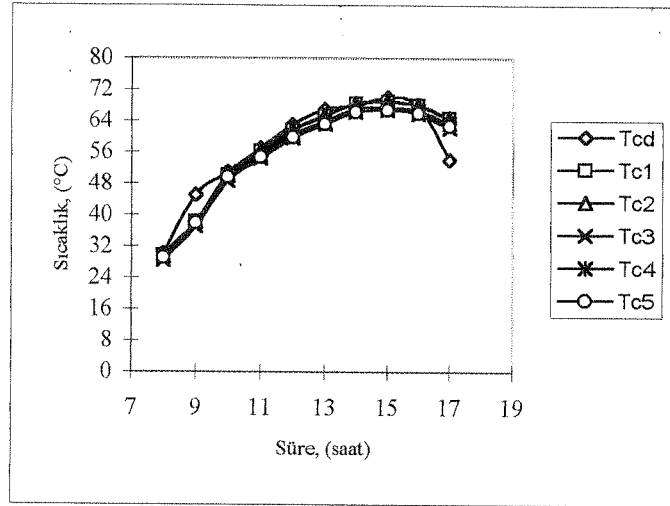
	nisbi hata	nisbi hata	nisbi hata	nisbi hata	nisbi hata
	0,11878286	0,11673429	0,17043429	0,12751714	0,13196857
	0,00137561	0,00406098	0,03499512	0,00099268	0,00616585
	0,01143542	0,01770208	0,01578333	0,00915625	0,00234167
	0,01125926	0,02271111	0,02262593	0,00562222	0,01581111
	0,03406207	0,03621552	0,0002931	0,01353276	0,00278793
	0,04553667	0,047565	0,01093333	0,02303667	0,01183167
	0,01281563	0,01475781	0,01944063	0,00819687	0,01877656
	0,00331515	0,00524697	0,02961818	0,01795303	0,02864697
	0,02565077	0,02359231	0,05872769	0,04501846	0,05521231
	0,10173585	0,10463774	0,05810189	0,07988113	0,06730943
	0,24949524	0,25530476	0,15845714	0,2029	0,18226905
<b>TOPLAM</b>	<b>0,61546451</b>	<b>0,64852856</b>	<b>0,57941063</b>	<b>0,53380722</b>	<b>0,52312112</b>
<b>MAPE</b>	<b>0,05595132</b>	<b>0,05895714</b>	<b>0,05267369</b>	<b>0,04852793</b>	<b>0,04755647</b>



### EK-4. b) Deneysel ve teorik toplaç çıkış sıcaklıkları (01/09/1988)

Süre	T <sub>cd</sub>	T <sub>c1</sub>	T <sub>c2</sub>	T <sub>c3</sub>	T <sub>c4</sub>	T <sub>c5</sub>
8	30	29,6045	29,6707	28,4734	29,3109	29,1387
9	45	38,1339	38,2319	37,012	38,0148	37,806
10	51	50,1094	50,2794	48,7186	49,9643	49,6049
11	57	56,2064	56,4084	54,3014	55,2523	54,6638
12	63	61,6203	61,7482	59,5585	60,3869	59,7176
13	67	65,2986	65,4252	63,1472	63,9011	63,1966
14	68	68,4148	68,5434	66,2742	67,0223	66,3122
15	70	68,9406	69,0674	66,7053	67,4968	66,7667
16	68	67,9692	68,1083	65,7424	66,6697	65,9709
17	54	64,6551	64,8203	62,1441	63,3987	62,6663

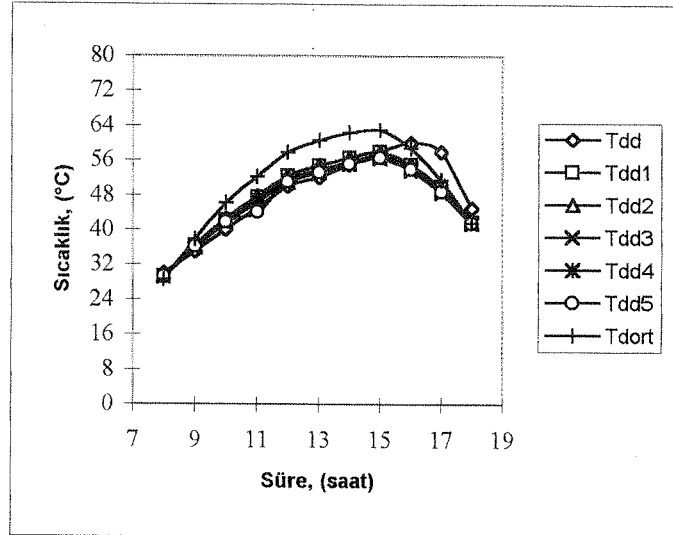
	nisbi hata	nisbi hata	nisbi hata	nisbi hata	nisbi hata
	0,01318333	0,01097667	0,05088667	0,02297	0,02871
	0,15258	0,15040222	0,17751111	0,15522667	0,15986667
	0,01746275	0,01412941	0,04473333	0,02030784	0,0273549
	0,01392281	0,01037895	0,04734386	0,0306614	0,04098596
	0,0219	0,01986984	0,05462698	0,04147778	0,05210159
	0,02539403	0,02350448	0,05750448	0,04625224	0,05676716
	0,0061	0,00799118	0,02537941	0,01437794	0,02482059
	0,01513429	0,01332286	0,04706714	0,03576	0,04619
	0,00045294	0,00159265	0,0332	0,01956324	0,02983971
	0,19731667	0,20037593	0,15081667	0,17405	0,16048704
TOPLAM	0,46344681	0,45254417	0,68906965	0,56064711	0,62712362
MAPE	<b>0,04634468</b>	<b>0,04525442</b>	<b>0,06890697</b>	<b>0,05606471</b>	<b>0,06271236</b>



### EK-4. c) Deneysel ve teorik dış depo sıcaklıkları (31/08/1988)

Süre	T <sub>dd</sub>	T <sub>dd1</sub>	T <sub>dd2</sub>	T <sub>dd3</sub>	T <sub>dd4</sub>	T <sub>dd5</sub>	T <sub>dort</sub>
8	30	29,2285	29,233	29,1416	29,2101	29,2013	28,5341
9	35	36,3022	36,3449	35,8755	36,2973	36,2208	37,8255
10	40	42,2542	42,534	41,4622	42,0184	41,7993	46,1698
11	45	47,5387	47,8202	46,3326	46,861	44,1	52,277
12	50	52,3227	52,4176	50,8995	51,4075	50,9794	57,7699
13	52	54,7263	54,8241	53,2259	53,7192	53,2582	60,636
14	55	56,5745	56,6721	55,0796	55,5687	55,1076	62,2942
15	58	57,9057	57,9992	56,5012	56,9982	56,5744	62,868
16	60	54,9338	55,0196	53,7482	54,2499	53,909	58,8869
17	58	49,5168	49,5855	48,5957	49,0136	48,778	51,4186
18	45	41,7754	41,796	41,4754	41,6361	41,5781	41,6778

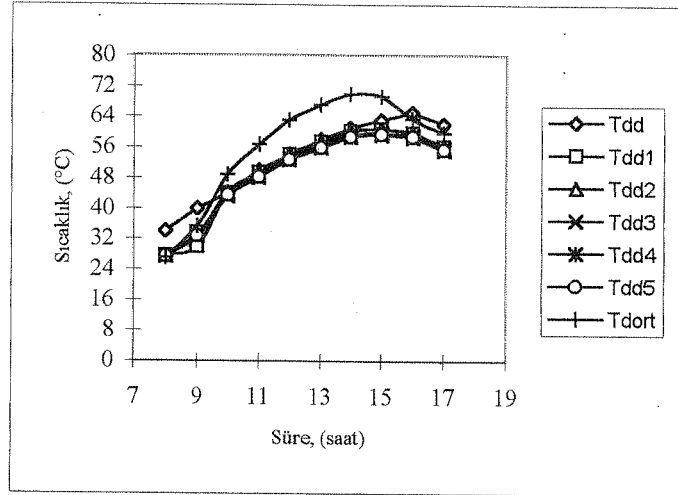
nisbi hata	nisbi hata	nisbi hata	nisbi hata	nisbi hata	nisbi hata
0,02571667	0,02556667	0,02861333	0,02633	0,02662333	0,04886333
0,03720571	0,03842571	0,02501429	0,03706571	0,03488	0,08072857
0,056355	0,06335	0,036555	0,05046	0,0449825	0,154245
0,05641556	0,06267111	0,02961333	0,04135556	0,02	0,16171111
0,046454	0,048352	0,01799	0,02815	0,019588	0,155398
0,05242885	0,05430962	0,023575	0,03306154	0,02419615	0,16607692
0,02862727	0,03040182	0,00144727	0,01034	0,00195636	0,13262182
0,00162586	1,3793E-05	0,02584138	0,01727241	0,02457931	0,08393103
0,08443667	0,08300667	0,10419667	0,095835	0,10151667	0,01855167
0,14626207	0,14507759	0,1621431	0,15493793	0,159	0,11347241
0,07165778	0,0712	0,07832444	0,07475333	0,07604222	0,07382667
TOPLAM	0,60718543	0,62237497	0,53331382	0,56956149	0,53336455
MAPE	<b>0,05519868</b>	<b>0,05657954</b>	<b>0,04848307</b>	<b>0,05177832</b>	<b>0,04848769</b>
					<b>0,10812969</b>



#### EK-4. d) Deneysel ve teorik dış depo sıcaklıkları (01/09/1988)

Süre	T <sub>dd</sub>	T <sub>dd1</sub>	T <sub>dd2</sub>	T <sub>dd3</sub>	T <sub>dd4</sub>	T <sub>dd5</sub>	T <sub>dort</sub>
8	34	27,4242	27,4289	27,3566	27,4043	27,3935	27,0291
9	40	29,8	32,8934	32,4702	32,8425	32,7595	35,24
10	44	43,9688	44,0757	43,1713	43,731	43,5052	48,8744
11	50	49,2402	49,357	48,0269	48,5577	48,1913	56,6342
12	54	54,0402	54,1356	52,6089	53,1195	52,6795	63,0722
13	58	57,3744	57,4733	55,866	56,3619	55,8944	67,1528
14	61	60,2529	60,3497	58,7481	59,2391	58,7723	69,8746
15	63	60,6965	60,7894	59,2818	59,7802	59,3491	69,2975
16	65	59,6945	59,7814	58,5012	59,0046	58,6555	63,358
17	62	56,1418	56,2158	55,2228	55,6398	55,3977	59,7767

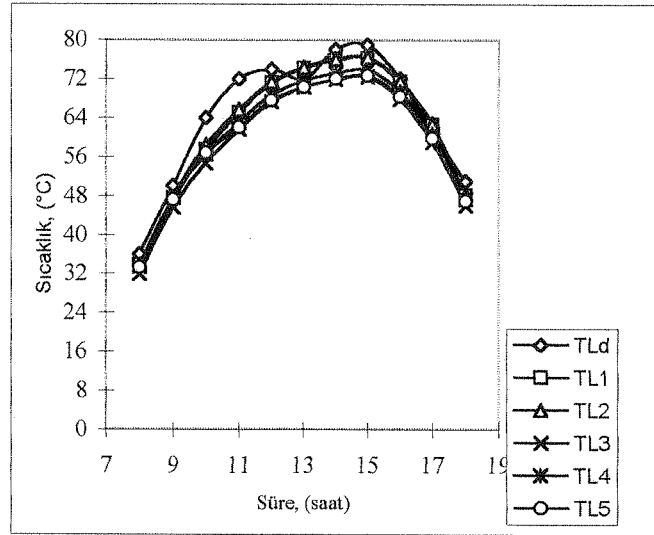
	nisbi hata	nisbi hata	nisbi hata	nisbi hata	nisbi hata	nisbi hata
	0,19340588	0,19326765	0,19539412	0,19399118	0,19430882	0,20502647
	0,255	0,177665	0,188245	0,1789375	0,1810125	0,119
	0,00070909	0,00172045	0,01883409	0,00611364	0,01124545	0,11078182
	0,015196	0,01286	0,039462	0,028846	0,036174	0,132684
	0,00074444	0,00251111	0,02576111	0,01630556	0,0244537	0,1680037
	0,01078621	0,00908103	0,0367931	0,0282431	0,03630345	0,1578069
	0,01224754	0,01066066	0,03691639	0,02886721	0,03651967	0,14548525
	0,03656349	0,03508889	0,05901905	0,05110794	0,05795079	0,09996032
	0,08162308	0,08028615	0,09998154	0,09223692	0,09760769	0,02526154
	0,0944871	0,09329355	0,10930968	0,10258387	0,10648871	0,03585968
TOPLAM	0,70076283	0,61643449	0,80971608	0,72723292	0,7820648	1,19986967
MAPE	<b>0,07007628</b>	<b>0,06164345</b>	<b>0,08097161</b>	<b>0,07272329</b>	<b>0,07820648</b>	<b>0,11998697</b>



### EK-4. e) Deneysel ve teorik yutucu levha sıcaklıkları (31/08/1988)

Süre	T <sub>Ld</sub>	T <sub>L1</sub>	T <sub>L2</sub>	T <sub>L3</sub>	T <sub>L4</sub>	T <sub>L5</sub>
8	36	33,7074	33,7784	31,9792	33,4046	33,2547
9	50	47,4336	47,6262	45,5963	47,5041	47,1502
10	64	57,4174	58,3959	54,6746	56,4568	56,6848
11	72	65,0592	65,6826	61,5689	63,1026	62,0504
12	74	71,1585	71,3979	67,3217	68,7143	67,5159
13	72	74,1245	74,3661	70,2338	71,5587	70,3195
14	78	75,7771	76,0189	71,8516	73,1837	71,9294
15	79	76,1638	76,4046	72,3554	73,7801	72,5984
16	72	71,3323	71,5727	67,8195	69,3988	68,3707
17	61	62,4946	62,7282	59,0031	60,6675	59,7656
18	51	48,0492	48,1697	45,9334	47,2604	46,9164

	nisbi hata	nisbi hata	nisbi hata	nisbi hata	nisbi hata
	0,06368333	0,06171111	0,11168889	0,07209444	0,07625833
	0,051328	0,047476	0,088074	0,049918	0,056996
	0,10285313	0,08756406	0,14570938	0,1178625	0,1143
	0,0964	0,08774167	0,14487639	0,123575	0,13818889
	0,03839865	0,03516351	0,0902473	0,07142838	0,08762297
	0,02950694	0,0328625	0,02463056	0,00612917	0,02334028
	0,02849872	0,02539872	0,07882564	0,06174744	0,07782821
	0,03590127	0,03285316	0,08410886	0,06607468	0,08103291
	0,00927361	0,00593472	0,0580625	0,03612778	0,05040694
	0,02450164	0,02833115	0,03273607	0,00545082	0,02023607
	0,05785882	0,05549608	0,0993451	0,07332549	0,08007059
TOPLAM	0,53820411	0,50053268	0,95820467	0,6837337	0,80628119
MAPE	<b>0,04892765</b>	<b>0,04550297</b>	<b>0,08710952</b>	<b>0,06215761</b>	<b>0,07329829</b>

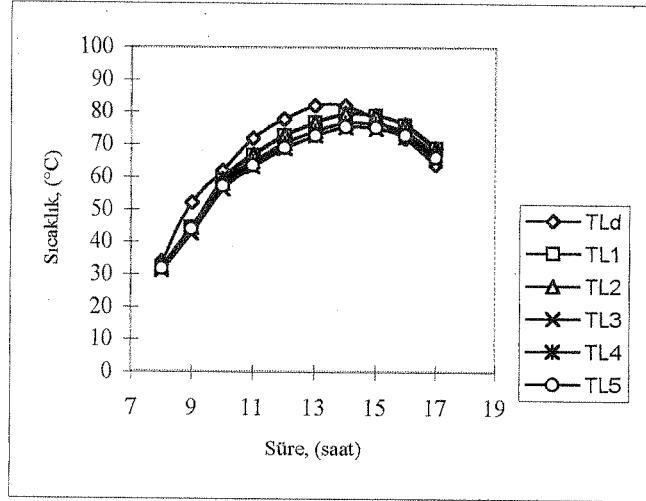


### EK-4. f) Deneysel ve teorik yutucu levha sıcaklıkları (01/09/1988)

Süre	T <sub>Ld</sub>	T <sub>L1</sub>	T <sub>L2</sub>	T <sub>L3</sub>	T <sub>L4</sub>	T <sub>L5</sub>
8	34	32,2089	32,2771	31,0707	31,9085	31,7339
9	52	44,2965	44,4854	42,6455	44,3507	43,9877
10	62	59,0185	59,3675	56,216	58,0298	57,2254
11	72	66,6775	66,974	63,1294	64,6874	63,5802
12	78	72,8117	73,0544	68,9221	70,337	69,095
13	82	76,6986	76,9447	72,7509	74,0969	72,8267
14	82	79,3864	79,6268	75,3989	76,7491	75,4668
15	78	78,8994	79,1411	75,0382	76,4789	75,2652
16	72	76,003	76,2487	72,4309	74,035	72,9708
17	64	68,8923	69,132	65,2763	66,9979	66,0371

nisbi hata	nisbi hata	nisbi hata	nisbi hata	nisbi hata
0,05267941	0,05067353	0,08615588	0,06151471	0,06665
0,14814423	0,14451154	0,17989423	0,14710192	0,15408269
0,04808871	0,04245968	0,09329032	0,06403548	0,07700968
0,07392361	0,06980556	0,12320278	0,10156389	0,11694167
0,06651667	0,06340513	0,11638333	0,09824359	0,11416667
0,06465122	0,06165	0,1127939	0,09637927	0,11186951
0,03187317	0,02894146	0,08050122	0,06403537	0,07967317
0,01153077	0,01462949	0,03797179	0,01950128	0,03506154
0,05559722	0,05900972	0,00598472	0,02826389	0,01348333
0,07644219	0,0801875	0,01994219	0,04684219	0,03182969

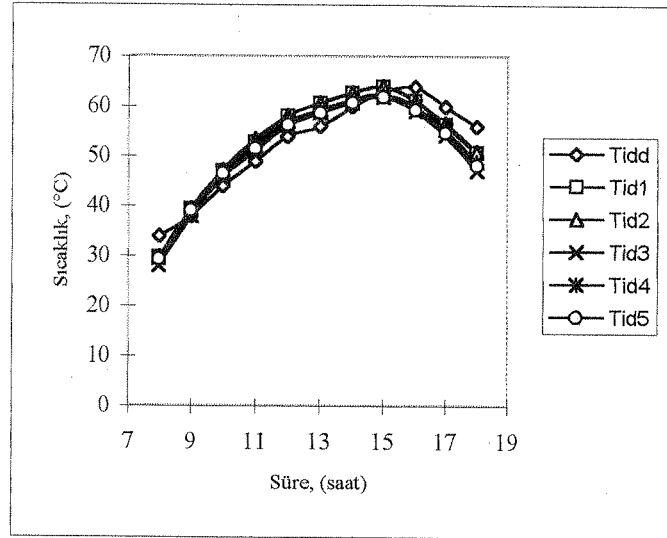
TOPLAM	0,6294472	0,6152736	0,85612037	0,72748158	0,80076795
<b>MAPE</b>	<b>0,06294472</b>	<b>0,06152736</b>	<b>0,08561204</b>	<b>0,07274816</b>	<b>0,08007679</b>



### EK-4. g) Deneysel ve teorik iç depo sıcaklıkları (31/08/1988)

Süre	T <sub>idd</sub>	T <sub>id1</sub>	T <sub>id2</sub>	T <sub>id3</sub>	T <sub>id4</sub>	T <sub>id5</sub>
8	34	29,7902	29,8574	28,0927	29,5031	29,3568
9	38	39,405	39,5083	38,0047	39,3137	39,1146
10	44	46,9894	47,2719	45,7627	46,8867	46,5796
11	49	52,874	53,453	51,1559	52,0181	51,5014
12	54	58,0239	58,1412	56,1529	56,9058	56,3207
13	56	60,6732	60,7875	58,7328	59,4057	58,7744
14	60	62,646	62,7627	60,7077	61,3833	60,7476
15	63	63,9349	64,0545	61,8939	62,6168	61,9541
16	64	61,1516	61,2772	59,1329	59,9696	59,3474
17	60	56,4637	56,6081	54,2922	55,3761	54,7504
18	56	50,816	51,0306	47,2113	48,964	48,1503

	nisbi hata	nisbi hata	nisbi hata	nisbi hata	nisbi hata
	0,12381765	0,12184118	0,17374412	0,13226176	0,13656471
	0,03697368	0,03969211	0,00012368	0,03457105	0,02933158
	0,06794091	0,07436136	0,04006136	0,06560682	0,05862727
	0,07906122	0,09087755	0,04399796	0,06159388	0,05104898
	0,07451667	0,07668889	0,03986852	0,05381111	0,04297593
	0,08345	0,08549107	0,0488	0,06081607	0,04954286
	0,0441	0,046045	0,011795	0,023055	0,01246
	0,01483968	0,0167381	0,01755714	0,00608254	0,01660159
	0,04450625	0,04254375	0,07604844	0,062975	0,07269688
	0,05893833	0,05653167	0,09513	0,077065	0,08749333
	0,09257143	0,08873929	0,15694107	0,12564286	0,14017321
<b>TOPLAM</b>	<b>0,72071583</b>	<b>0,73954995</b>	<b>0,70406729</b>	<b>0,70348109</b>	<b>0,69751633</b>
<b>MAPE</b>	<b>0,06551962</b>	<b>0,06723181</b>	<b>0,06400612</b>	<b>0,06395283</b>	<b>0,06341058</b>



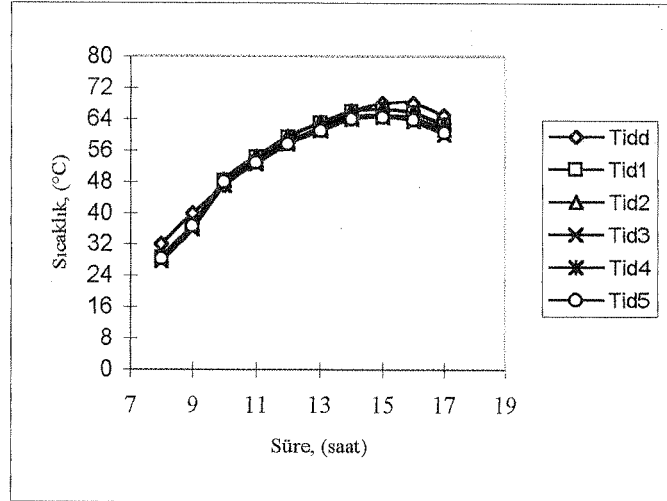


#### EK-4. h) Deneysel ve teorik iç depo sıcaklıkları (01/09/1988)

Süre	T <sub>idd</sub>	T <sub>id1</sub>	T <sub>id2</sub>	T <sub>id3</sub>	T <sub>id4</sub>	T <sub>id5</sub>
8	32	28,6887	28,7508	27,6266	28,413	28,2513
9	40	36,905	36,997	35,8515	36,7931	36,5971
10	47	48,3326	48,4923	47,0267	48,1964	47,8589
11	53	54,2406	54,4303	52,4519	53,3447	52,7921
12	58	59,4461	59,5662	57,5101	58,288	57,6596
13	62	62,9609	63,0798	60,9408	61,6487	60,9872
14	66	65,9846	66,1053	63,9746	64,677	64,0103
15	68	66,4905	66,6096	64,3917	65,1348	64,4493
16	68	65,6028	65,7334	63,5119	64,3826	63,7264
17	65	62,4483	62,6034	60,0905	61,2686	60,5809

nisbi hata	nisbi hata	nisbi hata	nisbi hata	nisbi hata
0,10347813	0,1015375	0,13666875	0,11209375	0,11714688
0,077375	0,075075	0,1037125	0,0801725	0,0850725
0,02835319	0,03175106	0,00056809	0,02545532	0,01827447
0,02340755	0,02698679	0,01034151	0,00650377	0,00392264
0,02493276	0,02700345	0,00844655	0,00496552	0,00586897
0,01549839	0,01741613	0,01708387	0,00566613	0,01633548
0,00023333	0,00159545	0,03068788	0,02004545	0,03014697
0,02219853	0,02044706	0,05306324	0,04213529	0,05221618
0,03525294	0,03333235	0,06600147	0,05319706	0,06284706
0,03925692	0,03687077	0,07553077	0,05740615	0,06798615

TOPLAM	0,36998674	0,37201557	0,50210462	0,40764095	0,45981729
MAPE	<b>0,03699867</b>	<b>0,03720156</b>	<b>0,05021046</b>	<b>0,0407641</b>	<b>0,04598173</b>



## **EK-5 DENEY DÜZENEĞİ TEKNİK RESİMLERİ**