

VAKUMLU GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERDE VERİMİN
TESPİTİ VE İNCELENMESİ

KAMİL RIZA TAKTAKOĞLU

Ç.Ü.
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

50246

ADANA
HAZİRAN 1996

Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne,

Bu çalışma, jürimiz tarafından Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda
YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan Doç.Dr.R. Tuğrul OĞULATA

Üye Doç.Dr.Besir ŞAHİN

Üye Doç.Dr.Kadir AYDIN

Kod No: 1114

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.



Prof.Dr.Ural DİNÇ
Enstitü Müdürü

	SAYFA NO
İÇİNDEKİLER	I
ÇİZELGE LİSTESİ	IV
ŞEKİL LİSTESİ	V
SEMBOLLER	VII
ÖZ	XI
ABSTRACT	XII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
3. GÜNEŞ IŞINIMI	10
3.1. Yatay Düzleme Gelen Günlük Toplam Işınım	11
3.2. Yatay Düzleme Gelen Günlük Yaygın Işınım	12
3.3. Yatay Düzleme Gelen Anlık Işınımların Hesabı	14
3.4. Eğik Düzlem Üzerine Gelen Toplam Işınım	17
3.5. Eğik Düzlem Üzerine Gelen Anlık Işınım	19
4. GÜNEŞ ENERJİSİ TOPLAYICILARI (KOLLEKTÖRLERİ)	23
4.1. ALÇAK SICAKLIK UYGULAMALARI (100°C ' den az)	23
4.1.1. Düz Toplayıcılar	23
4.1.1.1. Kollektör Kasası Ve Yalıtımı	26

	SAYFA NO
4.1.1.2. Saydam Örtü	27
4.1.1.3. Yutucu Yüzey	27
4.1.2. Düz Güneş Kollektörlerinin Isıl Analizi	29
4.1.2.1. Kollektörde Isı Kaybı	30
4.1.2.2. Kollektörde Faydalı Isı	30
4.1.2.3. Düz Güneş Kollektörlerinde Isı Transfer Faktörleri	31
4.1.2.4. Kollektör Yüzey Alanı	32
4.1.2.5. Kollektör Verimi	33
4.1.2.6. Absorblanan Isının Akışkana Kazandırılması	34
4.2. ORTA SICAKLIK UYGULAMALARI (100-350°C arası)	34
4.2.1. Vakumlu Güneş Kollektör Sistemleri	34
4.2.1.1. Owens-Illinois Tipi Vakumlu Güneş Kollektör Sistemi	35
4.2.1.2. General Electric Tipi Vakumlu Güneş Kollektör Sistemi	37
4.2.1.3. Philips Tipi Vakumlu Güneş Kollektör Sistemi	39
4.2.2. Yoğun Toplayıcılar	41
4.3 YÜKSEK SICAKLIK UYGULAMALARI (350°C 'den yukarı)	41
4.3.1 Güneş Fırınları	41
5. MATERYAL VE METOD	43
5.1. VAKUMLU GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ	43

	SAYFA NO
5.1.1. Düzlem Yüzey Tip - Vakumlu Güneş Kollektörleri	43
5.1.1.1. Tüp Ve Yutucu Plakanın Geometrisi	44
5.1.1.2. Vakumun Verime Etkisi	46
5.1.1.3. Düzlem Yüzey Tip - Vakumlu Güneş Kollektörlerinin Isıl Analizi	49
5.1.1.4. Vakumlu Güneş Kollektörlerinin Maliyeti	60
5.1.2. Yoğuşturucu Tüpler Tip - Vakumlu Güneş Kollektörleri	61
5.1.3. Yoğuşturma Tip - Vakumlu Güneş Kollektör'eri	63
5.1.4. Vakum Borulu Arka Alıcı Yüzey Tip - Vakumlu Güneş Kollektörleri	65
6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	68
7. SONUÇLAR	90
ÖZET	92
SUMMARY	94
EK 1. Bilgisayar Programı	96
EK 2. Program Sonuçları ($T_s=31,6^{\circ}\text{C}$ çevre sıcaklığı ve saat $t=10:00$ için)	102
KAYNAKLAR	118
TEŞEKKÜR	121
ÖZGEÇMİŞ	122

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa no
3.1. Bazı şehirlerimiz için ısıtım fonksiyon parametreleri	12
3.2. Çeşitli çevreler için yansıtma oranı değerleri	19



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa no
4.1. Düz toplayıcı	25
4.2. Owens-Illionois tipi vakumlu güneş kolektörü	36
4.3. Owens-Illionois tipi toplayıcının verimi	37
4.4. General Electric tipi toplayıcı	38
4.5. General Electric tipi toplayıcı verimi	39
4.6. Philips tipi toplayıcı	40
5.1. Düzlem yüzey tip vakumlu güneş kolektör tüp dizaynı	44
5.2. Düzlem yüzey tip vakumlu güneş kolektör tüp ve yutucu plakanın kesiti	45
5.3. ϕ fonksiyonunun - a/d oranı ile değişimi	46
5.4. Vakum ortamında Metil - Iodide olması durumunda basınca bağlı olarak, yutucu plakadan ısı kaybı - yutucu plaka arasındaki ilişki.	48
5.5. Vakum ortamında Hava olması durumunda basınca bağlı olarak, yutucu plakadan ısı kaybı - yutucu plaka arasındaki ilişki	48
5.6. $\varepsilon_p=0,21$ iken düzlemsel ve vakumlu güneş kolektörlerinin ısı kayıp karakteristikleri	49
5.7. Çeşitli kolektörlerin enerji maliyetleri - yutucu maliyetleri arasındaki ilişki	61
5.8. Yoğuşturucu tüpler tipli vakumlu güneş kolektörü ile düzlemsel kolektörde ortalama su sıcaklığı ile verimin güneş ışınım şiddetine bağlı olarak değişimi	62
5.9. Yoğuşturucu tüpler tipli vakumlu güneş kolektörü	63
5.10. Yoğuşturma tipli vakumlu güneş kolektörü kesiti	64
5.11. Vakum borulu arka alıcı yüzey tip vakumlu güneş kolektör sisteminin geometrik yapısı	66
5.12. Vakum borulu arka alıcı yüzey tip vakumlu güneş kolektörü	67

	Sayfa no
5.13. Rüzgar hızına bağlı olarak, verimin $(T_A - T_s)/I$ ile değişimi	73
5.14. Rüzgar hızına bağlı olarak, ısı kaybının $(T_A - T_s)/I$ ile değişimi	74
5.15. Rüzgar hızına bağlı olarak, verimin $(T_A - T_s)/I$ ile değişimi	75
5.16. Rüzgar hızına bağlı olarak, ısı kaybının $(T_A - T_s)/I$ ile değişimi	76
5.17. Dış ortam sıcaklığına bağlı olarak, verimin $(T_A - T_s)/I$ ile değişimi	77
5.18. Dış ortam sıcaklığına bağlı olarak, verimin $(T_A - T_s)/I$ ile değişimi	78
5.19. Yutucu plaka boyuna bağlı olarak, verimin $(T_A - T_s)/I$ ile değişimi	79
5.20. Yutucu plaka boyuna bağlı olarak, ısı kaybının $(T_A - T_s)/I$ ile değişimi	80
5.21. Yutucu plaka genişliğine bağlı olarak, verimin $(T_A - T_s)/I$ ile değişimi	81
5.22. Yutucu plaka genişliğine bağlı olarak, ısı kaybının $(T_A - T_s)/I$ ile değişimi	82
5.23. Kollektör tüp çapına bağlı olarak, verimin $(T_A - T_s)/I$ ile değişimi	83
5.24. Kollektör tüp çapına bağlı olarak, ısı kaybının $(T_A - T_s)/I$ ile değişimi	84
5.25. Yutucu plaka kalınlığına bağlı olarak, verimin $(T_A - T_s)/I$ ile değişimi	85
5.26. Yutucu plaka kalınlığına bağlı olarak, ısı kaybının $(T_A - T_s)/I$ ile değişimi	86
5.27. Dış tüp çapı - yutucu plaka arasındaki mesafeye bağlı olarak, verimin $(T_A - T_s)/I$ ile değişimi	87
5.28. Vakum gazı ısı iletim katsayısına bağlı olarak, verimin $(T_A - T_s)/I$ ile değişimi	88
5.29. Vakumlu güneş kolektör verim eğrilerinin karşılaştırılması	89
5.30. Üzerinde çalıştığımız vakumlu güneş kolektör verimi ile düzlemsel güneş kolektör veriminin karşılaştırılması	89

SEMBOLLER

θ	Işın ile yüzeyin dikeyi arasındaki açı
R	Yatay yüzeye gelen doğru ışınım dönüşüm katsayısı
$\dot{q}_v$	Eğik yüzeyi etkileyen doğru ışınım
$\dot{q}_f$	Yatay yüzeye gelen yaygın ışınım
α	Yüzeyin eğimi
$\dot{q}_w$	Eğik yüzeyi etkileyen yaygın ışınım
ρ	Çevre yansıtma katsayısı
$\dot{q}_i$	Eğik yüzeyi etkileyen yansıyan ışınım
I_o	Eğik yüzeyi etkileyen toplam ışınım
δ	Deklinasyon açısı
e	Enlem açısı
w_s	Saat açısı
γ	Yüzey azimut açısı
t	Güneş saati
t_g	Gerçek gün uzunluğu
R_d	Doğru ışınımın dönüşüm katsayısı
$\dot{q}_{be}$	Eğik düzleme gelen anlık doğru ışınım
R_y	Eğik düzleme gelen anlık yaygın ışınım dönüşüm faktörü
$\dot{q}_{ce}$	Eğik düzleme gelen anlık yaygın ışınım
$\dot{q}_{ka}$	Eğik düzleme gelen anlık yansıyan ışınım
$\dot{q}_{ty}$	Yatay düzleme gelen anlık toplam ışınım
q	Yatay düzleme gelen doğru ışınım
q_{ort}	Günlük toplam ışınımın yıllık ortalaması
FGI	Işınım fonksiyon genliği

FKI	Işınım fonksiyon faz kayması
n	1 Ocak'tan itibaren yılın gün sayısı
q_{ad}	Atmosfer dışı ışıınım
B	Berraklık endeksi
q_s	Güneş sabiti
f	Güneş sabitini düzeltme faktörü
q_y	Yatay düzleme gelen günlük yaygın ışıınım
$\dot{q}_{top}$	Yatay düzleme gelen anlık toplam ışıınım
t_{gi}	İmajiner gün uzunluğu
$\dot{q}_c$	Yatay düzleme gelen anlık yaygın ışıınım
A_{ys}	Yatay düzleme gelen anlık yaygın ışıınımın fonksiyon genliği
A_{ts}	Yatay düzleme gelen anlık toplam ışıınımın fonksiyon genliği
$\dot{q}_d$	Yatay düzleme gelen anlık direk ışıınım
$\dot{q}_m$	Eğik düzlem üzerine gelen direk ışıınım
$\dot{q}_b$	Eğik düzlem üzerine gelen direk ışıınımın dik bileşeni
t_g	Gerçek gün uzunluğu
R_d	Doğru ışıınımın dönüşüm katsayısı
$\dot{q}_{be}$	Eğik düzleme gelen anlık doğru ışıınım
R_y	Eğik düzleme gelen anlık yaygın ışıınım dönüşüm faktörü
$\dot{q}_{ce}$	Eğik düzleme gelen anlık yaygın ışıınım
$\dot{q}_{ka}$	Eğik düzleme gelen anlık yansıyan ışıınım
I	Eğik düzleme gelen anlık toplam ışıınım
$\dot{q}_{ty}$	Yatay düzleme gelen anlık toplam ışıınım
q_s	Kollektörde enerji depolama oranı

q_L	Kollektörden çevreye olan toplam enerji kaybı
q_U	Kollektörde çalışma akışkanı için faydalı ısı transferi
$\tau \alpha$	Işınım geçirgenlik-yutma çarpımı
η	Kollektör verimi
$\alpha_{i,s1}$	Dış ortamın ısı transferi katsayısı
T_s	Dış ortam sıcaklığı
T_k	Akışkan ortalama sıcaklığı
T	Kollektör yüzey sıcaklığı
ρ_s	Akışkan yoğunluğu
B	Düzlemsel güneş kollektör genişliği
$\dot{V}$	Akışkanın hacimsel debisi
$\dot{m}$	Isıtılacak su miktarı
c_p	Kollektör akışkanının özgül ısısı
T_i	Akışkan giriş sıcaklığı
T_o	Akışkan çıkış sıcaklığı
L	Boru uzunluğu
W_b	Borular arası mesafe
F_{kol}	Düzlemsel kollektörde yüzey alanı
q_{1R}	Tüpün üst kesiti için radyasyonla ısı transferi
q_{2R}	Tüpün alt kesiti için radyasyonla ısı transferi
q_{1C}	Tüpün üst kesiti için iletimle ısı transferi
q_{2C}	Tüpün alt kesiti için iletimle ısı transferi
a	Yutucu plaka genişliği
l	Yutucu plaka boyu
s	Yutucu plaka kalınlığı

ε_p	Yutucu plakanın yayma sayısı
ε_g	Camın yayma sayısı
T_A	Yutucu plaka sıcaklığı
T_{1G}	Tüpün üst kesitinin cam sıcaklığı
T_{2G}	Tüpün alt kesitinin cam sıcaklığı
k	Isı iletim katsayısı
ϕ	Yutucu plaka ve tüpün geometrisine bağlı olarak iletim ile ısı transferi ifadesinin bir fonksiyonu
T_G	Cam sıcaklığı
q_R	Radyasyonla ısı transferi
q_C	İletimle ısı transferi
q_{ust}	Tüpün üst kesiti için camdan dış ortama olan ısı kaybı
q_{alt}	Tüpün alt kesiti için camdan dış ortama olan ısı kaybı
q_L	Tüpten dış ortama olan ısı kayıplarının toplamı
d_o	Cam tüpün dış çapı
V	Rüzgar hızı
q_{RT}	Yutucu plakadan vakum ortamına olan toplam radyasyon ısı kaybı
q_{CT}	Yutucu plakadan vakum ortamına olan toplam iletim ısı kaybı
q_{RCT}	Yutucu plakadan vakum ortamına olan toplam ısı kaybı
F	Vakumlu kollektör tüpün yüzey alanı
σ	Stefan-Boltzman sabiti
ε_R	Yutucu plaka ve yansıtıcının toplam yayma sayısı

ÖZ

Bu çalışmada, düzlem yüzey tip vakumlu güneş kolektörlerinde verimin araştırılması ve tesbiti amaçlanmaktadır.

Vakumlu toplayıcılarda, tüp içinde sağlanan yüksek vakumdan dolayı taşınım, iletim ve ısıtım kayıpları minimuma indirilmiştir. Her türlü hava şartlarında, yüksek performans sağlamak için, bir kat cam örtü yeterli olmaktadır.

Bu nedenle vakumlu toplayıcıların verimi, eşit levha alanları sözkonusu olduğunda, klasik düzlem toplayıcılarındakinden çok daha yüksektir. Dolayısıyla 120°C-150°C gibi yüksek sıcaklıklar elde etmek için yoğunlaştırıcı veya güneşi izleyen sistemleri kullanmak gerekmemektedir. Bu sebeple bu tip kolektörleri; absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde sağladıkları yüksek sıcaklıklar nedeniyle kullanmak mümkün olabilmektedir.

ABSTRACT

In this study, flat plate type in evacuated solar energy collectors have been analysed.

In the evacuated collectors, conductive, convective and radiative losses have been reduced to a minimum because of vacuum in the tube. In all kinds of air conditions, one glass cover is enough to get high performance.

For this reason, efficiency of evacuated collectors is much higher than classic flat plate solar energy collectors for equal plate areas. Consequently, to get high temperatures like 120 °C - 150 °C, solar tracking and focusing systems are not required. Therefore this kind of collectors can be used in absorption cooling systems because of their high temperatures.

1. GİRİŞ

Günümüz mevcut enerji türlerinin gerek maliyetlerinin sürekli artma eğilimi göstermesi gerekse enerji kaynaklarının tükenme ihtimali, ülkeleri yeni enerji kaynakları aramaya yöneltmektedir. Yeni enerji kaynaklarının başında da güneş enerjisi gelmektedir. Güneş enerjisi güneşten gelen elektromanyetik ışınım olarak tanımlanır. Temiz enerji oluşu, tükenme ihtimalinin olmaması, güneş enerjisi ile ilgili araştırmaların yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Binaların ısıtılmasında, soğutmada, tarım ve orman ürünlerinin kurutulmasında, sıcak su temini, güneş pompaları, güneş fırınları, buhar üretimi ve güneş havuzları gibi çeşitli alanlarda güneş enerjisinden yararlanılmaktadır. Ayrıca, güneş enerjisi; doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmek için Cd S yada silikon maddelerden güneş pili olarak kullanılan fotovoltaiik toplayıcılar ile elektrik enerjisi üretimi, deniz suyunu damıtmak amacıyla kullanılan su damıtıcıları gibi alanlarda da kullanılır.

Diğer güneş enerjisi uygulamaları ise; seraların bilimsel bir şekilde ısıtılması, kurutma tesisatı yapılarak, besin maddelerinin kurutulması olarak sıralanabilir.

Güneş enerjisi, teknolojik olarak iki yöntemle toplanmaktadır. Bunlar; fotovoltaiik ve ısı toplama yöntemleridir. Fotovoltaiik toplama yönteminde, güneş pilleri yardımıyla doğrudan doğruya elektrik enerjisi üretilmektedir. Isıl toplama yönteminde ise güneş kolektörlerinden yararlanılmaktadır.

Güneş kolektörleri genel olarak düz yüzeyli ve odaklı olarak ikiye ayrılmaktadır. Düz yüzeyli kolektörler ise, düzlemsel güneş kolektörleri ve vakumlu güneş kolektörleri şeklinde ayırmak mümkündür. Bu tür kolektörler, güneş radyasyonunu alıp, bir akışkana aktaran birer ısı değıştirgecidirler. 100°C 'ye kadarki sıcaklıkların sağlanmasında düzlemsel güneş kolektörleri kullanılmaktadır.

Bu tür kolektörleri, başlıca saydam örtü, yutucu yüzey, çalışma akışkanının geçtiği akış kanalı, yalıtım ve kasa malzemesinden oluşur. Düzlemsel güneş kolektörlerinin en önemli elemanı, gelen güneş enerjisini yutan ve bu enerjiyi çalışma akışkanına aktaran yutucu yüzeydir. Düzlem toplayıcılar, çalışma akışkanı olarak su ve hava kullanımlarına göre sıvılı ve havalı toplayıcılar olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Vakumlu düz yüzeyli güneş kolektörlerinde ise, 120°C-150°C gibi yüksek sıcaklıklara erişmek mümkündür. Düz yüzeyli kolektörlerde hem direk, hem de yaygın ışıınımdan yararlanılmaktadır.

Daha yüksek sıcaklıklar istenildiğinde (140°C üzeri), odaklı kolektörler kullanılmaktadır. Bu tür kolektörler, yalnızca direk ışıınımlı merkezleştirmeye yaramakta, yaygın ışıınımlı değerlendirememektedir. Odaklı kolektörler, genelde binaların ısıtılmasında, soğutulmasında ve sıcak su elde edilmesinde kullanılırlar.

Bu çalışmamızda, sıcak su üretmek için kullanılan düzlem yüzey tip - vakumlu güneş kolektörlerinde verim tespiti ve incelenmesi amaçlanmaktadır. Verime etki eden faktörler üzerinde durulmuş ve düzlemsel kolektörler ile kıyas yapılmıştır. Ayrıca, düzlem yüzey tip - vakumlu güneş kolektörlerin ısı analiz yapılmıştır ve avantajları-dezavantajları düzlemsel kolektörler ile karşılaştırılmıştır. Hesaplar Adana ili için yapılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

20. yüzyılın başından bu yana, havası alınmış tüp donanımlı güneş enerjisi kollektörleri çeşitli alanlarda verimli bir şekilde kullanılmaktadır.

DERİŞ (1975), 1913 yılında Mısır'da Meadi'de, su pompalamak için güneş enerjisinden yararlanılmıştır. Shuman ve Boys tarafından geliştirilen yalak şeklindeki toplayıcılar, güneş enerjisini yatay borular üzerinde yoğunlaştırarak mekanik güç elde etmek ve su pompalarını tahrik etmek için kullanılmıştır.

WILLIAMS (1977), güneş enerjisi uygulamalarına bir örnek de A.B.D. tarafından geliştirilmiştir. Araştırmacılar, yaz mevsiminde absorpsiyonlu soğutma sistemleri için gereken sıcaklıkları (80°C üzeri) koruyabilen, ve kış mevsiminde ise ısıtma amaçlı bir vakumlu güneş kollektörü tasarlamışlardır. Kollektörün deneyini yapan araştırmacılar, bu tip güneş kollektörü ile düz güneş kollektörünü karşılaştırdıklarında, A.B.D.'nin kuzey bölgesinde, tipik bir kış mevsiminde üç kat daha fazla ısı toplanabileceğini işaret etmişlerdir. O yıllarda, bu yeni projenin, güneşli veya bulutlu hava şartlarında ısı enerjisi toplayabilecek kabiliyetinde olması nedeniyle güneşle ısıtma ekonomisi üzerinde büyük bir etki yapabileceği iddia edilmiştir. Bu tür kollektörler, sıralı silindirik vakum tüplerinden meydana gelmiştir. Bu tüpler dikdörtgen panel üzerine sıralanmıştır. Bu tür güneş kollektörleri düz güneş kollektörlerinden daha hafiftir. Ayrıca saydam örtü içerisinde, verim düşmesinin en büyük sebebi olan, ısı kaybını önleyen yalıtıcılar çok iyi bir rol oynar. Ağırlık bakımından diğer klasik tip düz güneş kollektörleri ile kıyas yapıldığında; bu tip kollektörler yaklaşık 14 kg/m² ağırlığa sahip olmalarına karşın, klasik kollektörlerin ağırlığı 25 'den 100 kg/m² ağırlığa kadar değişebilmekte olduğu tesbit edilmiştir. Araştırmacıların, üzerinde çalıştıkları vakumlu güneş kollektörlerinin sahip olduğu bu özellikten dolayı, özellikle çatı uygulamalarında kullanılması cazibeli bir durum ortaya koymaktadır. Çünkü, birçok evin çatılarının tasarımında büyük boyutlu bir güneş kollektörünün gerçek ağırlığı

gözönüne alınmamaktadır. Ayrıca, prototip kollektörler üzerinde yapılan testlerle, bu tip kollektörün kuzey-doğu A.B.D.' de dondurucu kış günlerinde bile etkili bir performansa sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

BAYAZITOĞLU ve ASGARPOUR (1980), yaptıkları bir araştırmada, yutucu siyah bir cisimde uzun dalga boyları için tüpün termal özelliklerini sabit almışlardır. Bu çalışmada ısısal verim, çeşitli kollektör sıcaklıkları için hesaplanmıştır. Ayrıca bu çalışmada, ısı akım şiddeti $I=1110 \text{ W/m}^2$, ortam sıcaklığı $T_s = 15,5^\circ\text{C}$, yutma katsayısı 1, yansıtma katsayısı $n=1,52$ ve emisyon katsayısı 0,94 alınmıştır. Bunlara ek olarak rüzgar hız etkisi de araştırılmıştır. Ayrıca, araştırmacılar bu tüpler ile yutucular arasındaki serbest konveksiyon etkisini de araştırmışlardır.

O'GALLAGHER ve ark. (1982), havası alınmış tüp güneş kollektörlerinin optik verimini, tüp içerisine parabolik yoğunlaştırıcı yerleştirmek suretiyle önemli miktarlarda düzeltmişlerdir. Bir cam örtü çevre durumlarından dolayı yansıtma yüzeylerini korumak için sisteme eklenmiştir. Araştırmacıların kullandıkları havası alınmış kollektör tüp yüksek seviyede optik verime sahiptir. Bu performans kazanımı, tasarımın iki avantajının bir sonucudur.

1. Vakumlu ortamda, yansıtma yüzeyli aynaların yansıtması ihmal ediliyor. Böylece yüksek kaliteye olanak tanınıyor.
2. Cam vakum zarfının geçirgen bölümü pencere görevini yerine getirmekte ve dış kısımda bir cam malzeme kullanımı ortadan kalkmaktadır. Bundan dolayı optik verim artmaktadır.

Sonuç olarak, vakum zarfının bütünlüğü korunulduğu müddetçe yüzey yayıcıların yaptığı iş artacaktır. Cam vakum zarfı, metal yutucular tarafından izole edilmiştir. Akış sıcaklığı 200°C üzerinde ve ortam sıcaklığı 20°C 'dir. Dizayn ayrıntıları ise şu şekildedir; yoğunlaştırıcı çapı 9,5 mm olan daire şeklinde

yutucular bulunmaktadır. Ayrıca, cam geçirgenliği 0,91, yayma oranı 0,96, yutma oranı 0,85, optik verimi 0,71'dir. Isısal verim de, 200°C sıcaklıkta radyasyon kaybı 130 W/m² ve radyasyon dışı kayıp ise 35 W/m² 'dir.

GRIMMER ve AVERY (1982), metodları ile başarılı bir şekilde üretilen yutucu levha, kollektör üzerinde meydana gelen ekonomik avantajlar ve orta seviye sıcaklığa sahip düzlemsel yüzeylerin bir çeşidi olarak geliştirilmiştir. Yüksek sıcaklık uygulamalarında, farklı tabakalar için sunulmuş çeşitli levha malzemelerini incelemişlerdir. Örneğin, alüminyum, bakır ve nikel'in metal levhaları üzerinde çalışmışlardır. Malzeme, seçici-yutucu levha meydana getirmek için kimyasal olarak dönüştürülmüş ve galvanizlendirilmiştir. Cam tüp için, metal levhalar ve uyguladıkları metodların, hem levha tipi hem de cam tipine bağlı olduğunu belirlemişlerdir.

CHOW ve ark. (1983), üzerinde çalıştıkları sistemde, havası alınmış tüp güneş enerji kollektörlerini, yutucu plaka etrafında vakum izolasyonundan dolayı belirli sıcaklıkların üzerinde yüksek ısı verimlerine ulaştırmışlardır. Kollektör zarfı içinde 0,1 pascal'dan küçük gaz basınçları için, radyasyon ile birlikte sistemden ısı kaybı olduğunu ve kollektörün bu vakum seviyesini ideal olarak koruduğunu ifade etmişlerdir.

Tüpsel kollektörlerde, birçok gazlar bu araştırmacılar tarafından kıyaslanmıştır. Örneğin, He, H₂, N₂, Ar, Co 'ın etkinliklerinin yutucu ve cam örtü arasındaki sıcaklık farkları ile birlikte doğrudan doğruya değişmekte olduğunu ifade etmişlerdir.

Bununla birlikte Sydney Üniversitesi'nde imal edilen havası alınmış tüp kollektör üzerinde yapılan bir araştırmada, eğer kollektör bir alıcıya sahipse, iletim kaybı, sıcaklık farkı ile doğrudan değişiyor olduğu tespit edilmiştir. Toplam ısı kaybı, değişik sıcaklıklarda ölçülmüştür. Kollektör zarfı, tekrar havasının

boşaltılması için kırılmış ve radyasyon ısı kaybı tespit edilmiştir. İletim kayıpları, her sıcaklıkta toplam ısı kaybı ve radyasyonla ısı kaybı arasındaki farktan tespit edilmiştir. Isı kayıpları, cam yutucu tüp içinde ölçülmüştür.

GARRISON (1983), adlı araştırmacının üzerinde çalıştığı güneş enerjisi toplayıcısı, bir sıra özdeş kollektör panelinden ibarettir. Her panel, aralarında vakum işlemi yapılmış yutucu bir tüp ile kaplanmış iki cam örtüden meydana gelmiştir. Dış tüp, güneş ışınlarını kolayca geçirir. İçteki cam örtü, üzerinde güneş radyasyonu yoğunlaştırma işlemini sağlar. Bu durum vakum ortamında meydana gelmektedir. Araştırmacı, bu çalışmasında, kollektör tasarımında mümkün olan birkaç düzeltme üzerine gitmiştir. Güneş enerji kollektör dizaynının temel özelliklerini şöyle sıralamıştır;

1. Havası alınmış güneş enerjisi kollektörü, diğer elektrik üreteçlerine veya fotovoltaiik kollektörlere nazaran tercih edilebilir. Çünkü, bu tip güneş kollektörü daha yüksek verimliliğe sahiptir.
2. Havası alınmış kollektör, temelde ortam sıcaklığı üzerinde, kullanım alanları bakımından yüksek bir kullanım olasılığına sahiptir.
3. Vakum zarfı ve yutucu yüzey cam olmalıdır.
4. Dizayn için, maksimum radyasyon toplanması, minimum radyasyon toplanması ve ısı transfer hesapları yapılmalıdır.
5. Yoğunlaştırma, daha yüksek kollektör verimi elde etmek için kullanılmıştır.

CHOW ve ark. (1984), üzerinde çalıştıkları havası alınmış güneş kollektör dizaynı, havası alınmış bölgede açılabilir bir bölge ve bir geçirgen dış cam zarf ile bir yutucu tüpten meydana gelmiştir. Ayrıca böyle kollektörlerde yansıtıcı bir yüzey de kullanılmaktadır. Yansıtıcıların değişik tipleri; CPC tipli yansıtıcılar (örneğin; Sunmaster dizaynı) yayma yansıtıcılar ve Owens-Illinois kollektörde kullanılan beyaz boyalı yansıtıcılardır. Yayma yansıtıcılarda, yansıtıcıları içeren aynı tüp bölgesi için kollektör düzenlendiğinde, düşük bir optik toplam verim elde

etmişlerdir. Araştırmacılar, bununla birlikte, yayma yansıtıcıların malzemelerinin, üretim maliyetlerinin ve bazı yansıtıcıların ömürlerinin hala bir problem halinde güncelliğini koruduğunu ifade etmişlerdir. Optik kollektör öğelerinin etkileri olarak; yutma yüzeyi, yansıtıcı, optik özellikteki cam zarf ve değişken kollektör verimi tespit edilmiştir. Kollektör verimi cam zarfın özelliği ile tespit edilir. Bir cam zarf, güneş ışığının en az %8'ini yansıtır. Cam üzerine uygun yüzey tabakaları yerleştirilerek kollektör verimini arttırmak için bu durum %2'ye kadar düşürülebilir. Optik kollektör verimi, hem deneysel hem de teorik olarak araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir. Optik kollektör veriminin tespiti için, deneysel olarak kalorimetrik ve teorik olarak ise ışın izleme teknikleri kullanılmıştır.

HARDING ve ZHIQLANG (1985), bir su-cam manifoldun son derece basit bir dizaynı ve güneş su ısıtıcıları içeren cam tüp havası alınmış kollektörde termosifon dolaşımı üzerinde durmuşlardır. Tüp içerisindeki güneş enerjisi, elektriksel ısıtma ile simule edilmiştir. Kollektör başı, manifold ve depolama tankı arasında çalışır.

ZHIQLANG ve ark. (1985), cam yutucu tüplerden ısı almak için dizayn edilmiş içerisinden akışkan geçen metal manifoldlar ve havası alınmış kollektörlerin, cam yutucu tüpler arasındaki ısı transferini açıklamışlardır. Manifoldların üzerinde ve cam tüpün üzerinde değişik noktalardaki sıcaklıklar değişik işlem durumları altında her manifold için ısı transfer veriminin bir ölçüsünü verdiğini görmüşlerdir. Ayrıca, manifoldlara sahip olan kollektörlerin optik verimleri araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir. Su akış debisi, kollektör eğimi ve su sıcaklığının etkisi, çeşitli manifold dizaynları için araştırılmıştır. Manifoldlar için deneysel sonuçlar, ısı transferi hesapları ile karşılaştırılmıştır. Manifoldlar için mevcut problemler de tartışılmıştır. En basit manifold dizaynının, yüksek sıcaklıkta ısı toplama ($>100^{\circ}\text{C}$) için iyi bir performans sağladığını tespit etmişlerdir.

THEUNISSEN ve BECKMAN (1985), kollektör veriminin, ısı kayıp katsayısının bir fonksiyonu olduğunu belirtmişlerdir. Havası alınmış bir cam tüp, önemli miktarlarda ısı yalıtımı sağlar. Bu tip kollektörler, optik verime açısal olarak bağlıdır. Sonuç olarak, ışın radyasyon geçirgenliğinin, θ ve γ şeklinde iki açının bir fonksiyonu olduğunu belirtmişlerdir. θ , ışın geliş açısı, klasik düzlemsel tip kollektörlerde olduğu gibi güneş ışınıyla normali arasındaki açıdır ve γ ise, azimut açısıdır. Bu çalışmada, yansıtıcı kullanılarak havası alınmış tüp kollektörde ile ısı kayıplar azaltılmıştır. Ayrıca, ışın izleme ve tüpsel dizaynlar için geniş bir aralıkta ışın, gök ve yer arasında yansıma ve geçirgenlik hesapları araştırmacılar tarafından yapılmıştır.

HULL ve SCHERTZ (1985), absorpsiyonlu soğutma sistemleri için yeni bir kollektör tipi geliştirmişlerdir. Sistem, havası alınmış tüp teknolojisine sahiptir. Gerekli olan optiksel yoğunlaştırma küçüktür ve bu durum basit ayna geometrileri için mümkündür. Havası alınmış tüp teknolojisinin, donma noktası altında, hatta çığ noktası sıcaklıkları donma noktası üzerinde olduğu zamanda da sıcaklıkların depolanmasında kullanıldığını tespit etmişlerdir.

HARDING ve ark. (1985), Sydney Üniversitesi'nde yaptıkları bir çalışmada, havası alınmış tüplerin özelliklerinin ayrıntılı sonuçları ve ayrıca ölçümlerinin sonuçları, bir kollektör paneli içeren havası alınmış tüplerin verimi ile elde edilmiştir. Verimin, ortam sıcaklığına, kollektördeki akışkanın sıcaklığına, güneş ışınım şiddetine ve yutucu cam tüpten ısı toplama için kullanılan manifoldun dizaynına bağlı olduğunu tespit etmişlerdir. Manifoldun dizaynı ise, kollektör panelinin verimine, akışkan sıcaklığı ve yutucu tüp yüzeyi arasında sıcaklık farkına bağlıdır. Kollektör panelleri içeren manifoldların çeşitli dizaynları için teorik sonuçlar ile deneysel sonuçların çok iyi bir şekilde uyuşmakta olduğunu görmüşlerdir.

Bu çalışmada vakumlu güneş kolektörlerden düzlem yüzey tip - vakumlu güneş kolektörü üzerinde durulmuştur. Garrison adlı araştırmacının üzerinde çalıştığı sistem bir sıra özdeş kolektör panelinden ibarettir ve her panel, aralarında vakum işlemi yapılmış iç içe eş eksenli iki cam tüpten meydana gelmiştir. Dıştaki cam güneş ışınımını kolayca geçirir ve içteki yutucu tüp ise bu ışınları toplar. Araştırmacının üzerinde çalıştığı sistemden farklı olarak bu çalışmada, içteki yutucu tüp yerine, yutucu plaka ve üzerinde akışkan boruları düşünülmüştür.



3. GÜNEŞ IŞINIMI

Güneşin dünyaya gönderdiği değişmez enerji (güneş sabiti) 1353 W/m^2 değerindedir. Ancak yeryüzüne ulaşan güneş ışınımının miktarı, dünyanın güneşe olan uzaklığının $\pm \% 3,5$ değişmesi, dünya yörünge düzleminin güneş ekvator düzlemiyle $\pm 23,30$ arasında değişen bir açı yapması nedeniyle güneş ışınlarının, yön ve geliş açılarıyla beraber atmosfer içinde aldıkları yolun uzunluğunun değişmesi, dünya yüzeyindeki noktaların ekvatora uzaklıklarının değişik olması nedeniyle yansıma açılarının büyümesi ve atmosferi oluşturan maddelerin güneş ışınımının bir bölümünün soğurması gibi faktörler nedeniyle bu değerden daha azdır.

Atmosfere giren güneş ışınımının bir bölümü atmosferdeki maddelere çarptıklarında kırılarak dağılırlar. Bunlara yaygın (diffuze) ışınım denmektedir. Geri dönen güneş ışınımına ise yansıyan ışınım denir. Hiçbir engelle karşılaşmadan yeryüzüne ulaşanlara ise direkt (doğru) ışınım denmektedir.

Doğru ışınların enerji yoğunluğu atmosfer dışındaki güneş radyasyonunun enerji yoğunluğundan bir miktar daha azdır (yaklaşık 1 kWh/m^2). Dağınık ışınların enerji yoğunluğu ise doğru ışınların enerji yoğunluğu miktarının $\%10$ 'u kadardır. Doğru ve dağınık ışınların enerji miktarı atmosferin (veya havanın) basıncına, temizliliğine, yoğunluluk ve bulutluluk derecelerine de bağlıdır.

Dağınık ışınlar yeryüzüne dağınık ışın parçacıkları şeklinde düşerler. Doğru ışınlar ise paralel ışın çubukları şeklinde ve düştükleri yüzeyle bir açı oluşturacak şekilde düşerler. Bu ışınlar, izdüşüm oluşturdıklarından engellendiklerinde gölge oluştururlar. Dağınık ışınların bu nitelikte özelliği yoktur. Hava açıkken yeryüzüne ulaşan güneş radyasyonlarının çoğunluğu doğru ışınlardır. Gökyüzü kısmen bulutlu olduğu zaman ise, yeryüzüne ulaşan ışınların çoğunluğu dağılmış ve

yansımış ışınlar oluşturur. Genellikle yansımış ışınlar, doğru ışınlarla aynı dalga boyundadır.

Atmosfere giren güneş ışınlarının bir bölümü atmosfer maddelerine çarptıklarından kırılarak dağılırlar ve göğün aydınlığını oluştururlar. Bunlara yaygın ışıınım ismi verilir. Hiçbir engelle karşılaşmadan yeryüzüne ulaşanlar ise çarptıkları yüzeyde ısı enerjisine dönüşürler. Bunlara doğru ışıınım adı verilir. Yaygın ışıınımlar çarptıkları yüzeyde ısı enerjisine dönüşürler ve onun ısı almasına neden olurlar. Doğru ışıınımlar çarptıkları yüzeyde geliş açıları ile bağımlı olarak yansıma oluştururlar. Geliş açısı ne oranda dikleşirse yansıma o oranda azalacağından ısı enerjisine dönüşecek radyasyon miktarı da o oranda büyük olacaktır.

3.1. Yatay Düzleme Gelen Günlük Toplam Işıınım

Yatay düzleme gelen günlük tüm güneş ışıınımları, güneşleme süresi, izafi nem, mutlak nem, atmosferik basınç, sıcaklık ve bulutluluk oranı gibi meteoroloji verilerinden birine veya birkaçına bağılı olarak verilmektedir (Duffie ve Bekman, 1974). Ancak bu bağıntıların sürekli olmayışları ve sabitelerinin tespitinin güçlüğü nedeniyle hesaplarda tercih edilmemiştir. Bu nedenle yıl boyunca istenen her gün için toplam ışıınım değerinin kolaylıkla hesaplanabildiğı şu eşitlik kullanılmıştır (Tanes ve ark., 1982), (Yamankaradeniz, 1986).

$$q = q_{ort} - FGI \cos \left[\frac{2\pi}{365} (n + FKI) \right] \quad (3.1)$$

Burada q toplam ışıınım değeri, q_{ort} günlük toplam ışıınım ın yıllık ortalaması, FGI ışıınım fonksiyon genliğı, FKI ışıınım fonksiyon faz kayması ve n , 1 Ocak' tan itibaren yılın gün sayısıdır. Türkiyede çeşitli şehirler için meteorolojik (DMİ Genel Müd. Güneşleme Müddeti ve Güneş Işıınları Şiddeti, Açık ve Kapalı Günler Bülteni, 1984) verilerden yararlanarak hesaplanan bu değerler çizelge 3.1 de gösterilmiştir (Ünal ve Tanes, 1986).

3.2. Yatay Düzleme Gelen Günlük Yaygın Işınım

Yatay düzleme gelen günlük yaygın ışınım berraklık endeksine bağlı olarak çok sayıda eşitlikle hesaplanabilmektedir (Beckman ve ark., 1977), (Kılıç ve Öztürk, 1983).

Çizelge 3.1. Bazı şehirlerimiz için ışınım fonksiyon parametreleri.

Şehir Adı	q_{ort} (MJ/m ² gün)	FGI (MJ/m ² gün)	FKI (gün)
Adana	12,60	6,58	-1,52
Ankara	14,30	8,81	1,78
Diyarbakır	13,40	7,74	6,12
Elazığ	13,40	8,29	2,35
Gaziantep	14,30	7,79	2,13
İzmir	11,40	6,48	3,50
Kars	13,20	6,47	8,52
Konya	13,10	7,36	4,72
Samsun	10,30	6,73	5,94
Trabzon	9,85	5,47	13,20
Uşak	11,50	6,15	3,15
Van	16,40	7,98	5,48

Berraklık endeksi,

$$B = \frac{q}{q_{ad}} \quad (3.2)$$

şeklinde tanımlanmaktadır (Deriş, 1975). Burada q yatay düzleme gelen günlük toplam ışıınımı, q_{ad} atmosfer dışı ışıınımı göstermektedir. Atmosfer dışı ışıınım (Duffie ve Bekman, 1974),

$$q_{ad} = \frac{24}{\pi} q_s f (\cos e \cos \delta \sin w_s + w_s \sin e \sin \delta) \quad (3.3)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. q_s güneş sabiti (1353 W/m^2), e enlem açısı, δ deklinasyon açısı, w_s güneşin doğduğu andaki saat açısı ve f güneş sabitini düzeltme faktörüdür.

Enlem açısı gözönüne alınanan yeri tanımlar. Ekvatordan itibaren kuzeye doğru (+), güneye doğru (-) olarak işaretlenir.

Deklinasyon açısı, güneş ışıınlarının ekvator düzlemi ile yaptığı açıdır. Bu açı dünyanın dönme ekseninin yörünge düzlemine normali ile yaptığı açıdan meydana gelir ve aşağıdaki gibi gösterilir (Bekman ve ark., 1977), (Deriş, 1975).

$$\delta = \frac{2\pi}{365} \left\{ 23.45 \sin \left[\frac{2\pi}{365} (284 + n) \right] \right\} \quad (3.4)$$

Gün doğuş saat açısı, yüzeyin normali ile ışın arasındaki açıdır ve,

$$w_s = \text{Arc cos}(-\tan e \tan \delta) \quad (3.5)$$

şeklinde hesaplanır (Bekman ve Duffie, 1974), (Bekman ve ark., 1977).

Güneş saatini düzeltme faktörü ise,

$$f = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{n}{365}\right) \quad (3.6)$$

olarak belirlenmektedir (Duffie ve Beckman, 1974).

Yatay düzleme gelen günlük yaygın ışınım q_y aşağıdaki bağıntıyla bulunur (Oğulata, 1987).

$$q_c = q(1 - B)^2 (1 + 3B^2) \quad (3.7)$$

3.3. Yatay Düzleme Gelen Anlık Işınımların Hesabı

Ölçümlerden belirlenen ışınım değeri bilgileri genellikle, yatay düzleme gelen toplam ışınımın günlük ortalama değerini vermektedir. Bundan dolayı anlık ışınım değerleri günlük değerlerden saatlik değerlerin hesaplanmasıyla belirlenmektedir.

Anlık toplam ışınlım aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilmektedir (Jalayerian ve Burmeister, 1986).

$$\dot{q}_{top} = A_{ts} \cos \left[\frac{\pi}{t_{gi}} (t - 12) \right] \quad (3.8)$$

Burada A_{ts} fonksiyon genliği olup aşağıdaki gibi gösterilir.

$$A_{ts} = \frac{\pi q}{2 t_{gi}} \quad (3.9)$$

t günün saatleri (güneş saati), t_{gi} ise gerçek gün uzunluğu t_g den daha kısa olan imajiner gün uzunluğudur. Gün uzunluğu (Duffie ve Beckman, 1974)

$$t_g = \frac{2}{15} \text{Arc cos}(-\tan e \tan \delta) \quad (3.10)$$

ve imajiner gün uzunluğu (Ünal ve Tanes, 1986)

$$t_{gi} = \frac{\pi}{2} \frac{1}{1.18 t_g^{-0.854}} \cos \left(\pi \frac{0.5}{t_{gi}} \right) \quad (3.11)$$

şeklinde tespit edilmektedir.

Anlık yaygın ışıınım yine sinüzoidal bir bağıntıyla

$$\dot{q}_c = A_{ys} \cos\left(\frac{\pi}{t_g}(t - 12)\right) \quad (3.12)$$

anlık yaygın ışıınım yukardaki şekilde verilmiştir (Ünal ve Tanes, 1986). A_{ys} fonksiyon genliği,

$$A_{ys} = \frac{\pi q_c}{2 t_g} \quad (3.13)$$

şeklindedir.

Anlık direk ışıınım, anlık toplam ve yaygın ışıınımların farkı olarak

$$\dot{q}_d = \dot{q}_{top} - \dot{q}_c \quad (3.14)$$

biçiminde hesaplanmaktadır (Ünal ve Tanes, 1986).

3.4. Eğik Düzlem Üzerine Gelen Toplam Işınım

Eğik yüzeye üç kaynaktan ışınlım gelir. Bunlar doğru ışınlım, yaygın ışınlım ve yansıyan ışınlımdır.

Bunlardan doğru ışınlım, güneş ışınlarının dünya üzerindeki yüzeye dik olarak ve yön değıştirmeden dolaysız olarak etki yapmasıdır. $\dot{q}_m$ ile gösterilir ve doğru ışınlım vektörel değerdır. Doğru ışınlımın yüzeye dik bileşeni, $\dot{q}_b$ ile gösterilir. Işın ile yüzeyin dikeyi arasındaki açı, θ , ile gösterilirse, $\dot{q}_m$ ile $\dot{q}_b$ arasındaki ilişki şöyle olur (Deriş, 1975).

$$\dot{q}_b = \dot{q}_m \cos \theta \quad (3.15)$$

Yatay yüzeye gelen doğru ışınlım $\dot{q}_b$, dönüşüm katsayısı R ile çarpılırsa eğik yüzeyin aldığı doğru ışınlım $\dot{q}$, bulunur.

Yaygın ışınlım, atmosferden geçerken, dağılma, yutma ve yansımadan ötürü yön değıştirerek dolaylı olarak ve her yönden gelen ışınlımdır. $\dot{q}_f$ ile gösterilir. Vektörel değeri değildir. Bir yüzeye gelen doğru ışınlar bir engelle örtölerek gölge yapılsa dahi aynı yüzey semadan yaygın ışınlım alacaktır. Yatay yüzey gökten gelen bütün ışınlımı görür. Eğik yüzey semanın bir bölümünü görür. Bu konuda yapılan araştırmalar eğik yüzeyin semada görüldüğü bölümün $(1+\cos \alpha)/2$ ile belirtilmesi gerektiğini ortaya çıkarmıştır. Burada α eğim açısıdır. Yatay yüzeye gelen yaygın ışınlım $\dot{q}_f$, bu değeriyle çarpıldığında eğik yüzeye gelen

yaygın ışınlam bulunur. Eğik yüzeyi etkileyen yaygın ışınlam, $\dot{q}_w$ 'dur ve aşağıdaki gibi tarif edilir.

$$\dot{q}_w = \dot{q}_f \left(\frac{1 + \cos \alpha}{2} \right) \quad (3.16)$$

olur.

Yansıyan ışınlam, çevreden yansımış doğru ve yaygın ışınlamdır. Eğik yüzeyin gördüğü çevre bölümü doğru ve yaygın ışınlamdır. Eğik yüzeyin gördüğü çevre bölümü $(1 - \cos \alpha) \rho / 2$ ile belirtilir. Burada ρ , yansıtma katsayısı olup, çeşitli tipleri çizelge 3.2 'de verilmiştir. Bu durumda eğik yüzeyi etkileyen yansıyan ışınlam,

$$\dot{q}_i = (\dot{q}_b + \dot{q}_v)(1 - \cos \alpha) \frac{\rho}{2} \quad (3.17)$$

olur. Eşitlik (3.17) 'de $\dot{q}_i$, eğik yüzeyi etkileyen yansıyan ışınlamdır.

Eğik yüzeyin aldığı toplam ışınlam, I_o değeri ise doğru, yaygın ve yansıyan ışınlamların toplamıdır (Deriş, 1975).

$$I_o = \dot{q}_v + \dot{q}_w + \dot{q}_i \quad (3.18)$$

Çizelge 3.2. Çeşitli çevreler için yansıtma oranı değerleri.

Çevre Cinsi	Yansıtma Oranı ρ
Su yüzeyleri	0,04
Aşınmış betonarme	0,22
Kırılmış taş yüzeyleri	0,20
Koyu renk bina yüzeyi	0,27
Açık renk bina yüzeyi	0,60
Ziftli çatı	0,13
Ormanlar	0,26
Kuru ot	0,30

3.5. Eğik Düzlem Üzerine Gelen Anlık Işınım

Eğik düzleme gelen ışınlm miktarı düzlemin eğimine, azimut açısına, çevrenin yansıtma katsayısına ve yatay düzleme gelen toplam ışınlmın direk ve yaygın bileşenlerinin miktarına bağlıdır.

Herhangi bir düzleme gelen doğru ışınlm, ışınlmın yüzeye geliş açısı θ ile orantılıdır. Güneş geliş açısı güneş doğrultusunun normali ile yaptığı açıdır (Deriş, 1975, Duffie ve Beckman , 1974).

$$\cos\theta = \sin\delta \sin e \cos\alpha$$

$$- \sin\delta \cos e \sin\alpha \cos w_s$$

$$+ \cos\delta \cos e \cos\alpha \cos w_s$$

$$+ \cos\delta \sin e \sin\alpha \cos w_s \cos\gamma$$

$$+ \cos\delta \sin\alpha \sin\gamma \sin w_s \quad (3.19)$$

şeklinde verilir.

Denklem (3.19) 'da α yüzeyin eğimi, γ ise yüzey azimut açısıdır ve yüzeyin güney-kuzey doğrultusunda yaptığı açıyı gösterir. Güney yönündeki bir yüzey için azimut açısı 0 'dır. Doğu'dan Kuzey'e doğru (-), Batı'dan Kuzey'e doğru ise (+) değerlidir. δ deklinasyon açısı ve e enlem açısıdır. w_s ise saat açısı olup günün saatlerine bağlı olarak (Beckman ve ark. 1977) $w_s = (12-t)15$ şeklinde hesaplanır. Geliş açısı, yatay düzlem için $\alpha=0$ ile $\cos\theta_y$ ve $\cos\theta_e$ değerlerinin birbirine oranı,

$$R_d = \cos\theta / \cos\theta_y \quad (3.20)$$

şeklindedir. (3.20) eşitliğinde R_d doğru ışıının dönüşüm katsayısıdır.

Eğik düzleme gelen anlık doğru ışıının ile yatay düzleme gelen anlık doğru ışıının arasında,

$$\dot{q}_{be} = R_d \dot{q}_d \quad (3.21)$$

şeklinde bir bağıntı vardır. Eşitlik (3.21) 'de $\dot{q}_{be}$, eğik düzleme gelen anlık doğru ışıdır.

Eğik düzleme gelen anlık yaygın ışıının hesabında da yine bir dönüşüm faktörü tanımlanmıştır.

$$R_y = (1 + \cos \alpha) / 2 \quad (3.22)$$

Anlık yaygın ışıının $\dot{q}_c$,

$$\dot{q}_c = A_{ys} \cos[\pi(t-12)/t_g] \quad (3.23)$$

şeklinde tarif edilir. Eşitlik (3.23) 'de A_{ys} fonksiyon genliği,

$$A_{ys} = \pi \dot{q}_c / 2 t_g \quad (3.24)$$

şeklindeir. Yukarıdaki formüllerde t_g gerçek gün uzunluğu ve t güneş saatidir.

Bu dönüşüm faktörü ile yatay düzleme gelen anlık yaygın ışıının çarpımı,

$$\dot{q}_{ce} = R_y \dot{q}_c \quad (3.25)$$

Eşitlik (3.25) 'de $\dot{q}_{ce}$, eğik düzleme gelen anlık yaygın ışıdır. Eğik düzleme gelen anlık yansıyan ışıdır,

$$\dot{q}_{ka} = \dot{q}_{top} \rho (1 - \cos \alpha) / 2 \quad (3.26)$$

şeklinde tarif edilir (Kılıç ve Öztürk, 1983).

Eğik düzleme gelen anlık toplam ışıdır değeri ise direkt, yaygın ve yansıyan ışıdırın toplamıyla,

$$I = \dot{q}_{be} + \dot{q}_{ce} + \dot{q}_{ka} \quad (3.27)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

4. GÜNEŞ ENERJİSİ TOPLAYICILARI (KOLLEKTÖRLERİ)

Güneş kollektörleri, soğutma veya ısıtma amaçlı ısı değıştirgeçleridir. Güneş kollektörlerini sıcaklık limitleri ve aynı zamanda kullanılan toplama aygıtları bakımından üç grupta sınıflandırmak mümkündür.

1. Alçak Sıcaklık Uygulamaları (100°C 'den az)
2. Orta Sıcaklık Uygulamaları (100-350°C arası)
3. Yüksek Sıcaklık Uygulamaları (350°C 'den yukarı)

4.1. ALÇAK SICAKLIK UYGULAMALARI (100°C 'den az)

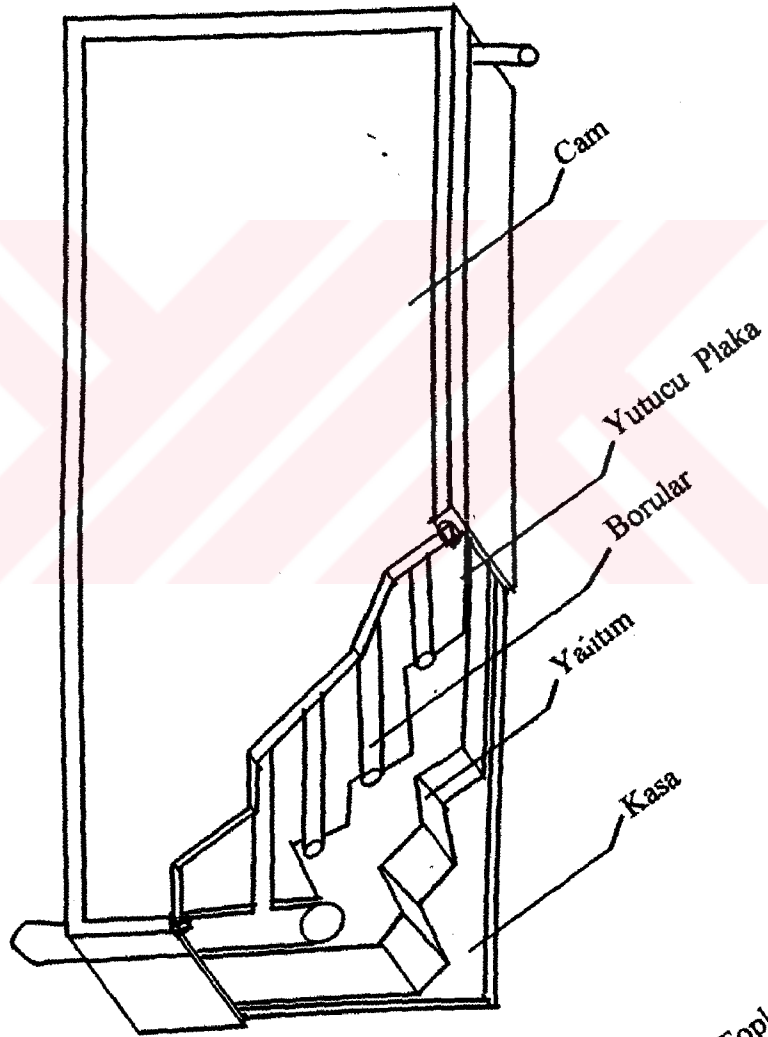
4.1.1. Düz Toplayıcılar

Düz toplayıcılar günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Düz toplayıcıya gelen güneş ışınları sayesinde su ısıtılmakta, ısıtma ve iklimlendirme tesisatları yapılmaktadır. Düzlem toplayıcı; yutucu plaka, bağlantı boruları, alt yalıtım, saydam örtü ve kasa bileşenlerinden meydana gelmektedir. Düz toplayıcının önündeki çift camdan geçen ışınlar siyah renkli sacı ısıtır. Saca tespitli boruların içindeki su ısınır ve çeşitli amaçlarla kullanılır. Sacın arkasında kalın yalıtıcı vardır. Tertibatın tümü bir kasa ve çerçeve içine alınarak toplayıcı meydana getirilir. Boru kullanılmaz ve siyah sac ile yalıtıcı arasına boşluk bırakılırsa, burada bulunan hava ısınır ve kullanma yerine sevk edilir. Bu tip düz toplayıcılara ise, havalı düz toplayıcılar denir. İyi bir düzlem toplayıcıdan elde edilebilecek en yüksek sıcaklık 80-100°C civarındadır.

Düz toplayıcılarda ısı taşıyıcı akışkan olarak hava (veya gaz) ve sıvı kullanılabilir. Buna göre bu tür kollektörleri sıvı veya havalı olmak üzere iki gruba ayırmak mümkündür. Bunların birbirlerine göre kullanım amacının farklı olacağı muhakkaktır. Havalı kollektör, konutların ve küçük ticari binaların ısıtılmasında ve kurutma işlemlerinde kullanılır. Sıvılı kollektörler de büyük binaların ısıtılmasında endüstriyel ısıtma işlemlerinde ve güneşli soğutmada kullanılmaktadır.

Bu iki tip kollektör şu şekilde kıyaslanabilmektedir. Su havaya göre daha iyi bir ısı taşıyıcı olduğundan sıvılı kollektörlerin verimi, havalı kollektörlerin veriminden daha yüksektir. Sıvılı kollektörlerde yutucu levhanın sıcaklığı içindeki ısı taşıyıcı akışkandan sadece birkaç derece yüksektir. Hava suya nazaran iyi bir ısı taşıyıcı değildir. Bu nedenlerle, bu kollektörlerin yutucu levha sıcaklığı, içinde dolaşan hava sıcaklığından çok daha fazla olmaktadır (yaklaşık 15°C'den fazla). Sonuç olarak yutucu levhanın fazla sıcak olması, ısı kaybına neden olduğundan verim düşmektedir. Fakat, belirli şartlarda sıvı kollektörleri daha verimli olabildikleri halde, havalı kollektörler konut ısıtmasında daha kullanışlı olmaktadır.

Güneş kollektörlerinde, yutucu yüzey, kollektör kasası, yalıtım ve saydam örtü çok önemli bir yer tutmaktadır (Şekil 4.1.).



Sekil 4.1. Düz Toplayıcı

4.1.1.1. Kollektör Kasası Ve Yalıtımı

Düz toplayıcılar, genel olarak saydam örtü, yutucu yüzey, kasa ve yalıtımdan ibarettir. Kollektörler ve saydam örtüleri değişik tiplerde olabilir. Ancak ne tipte olurlarsa olsunlar güneş ışıınının en iyi şekilde olması istenir. Bundan dolayı cam örtülü kollektörler en yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bilindiği gibi cam güneş ışıınlarını çok iyi geçirmekte ve zamanla bozulmadığı gibi ekonomik de bir malzemedir.

Kollektör kasaları ise, her ne kadar ağaçtan yapılabiliyorsa da yaygın olarak metalden yapılmaktadır. Ahşap kasa sıcaklık değişimlerinden etkilenir ve bir süre sonra çatlayıp şekil değişikliğine uğrar.

Metal kasalar ise dayanıklı ve uzun ömürlüdürler. Metal kasaların, ısı iletim katsayılarının yüksek olması bir dezavantaj gibi görülse de yutucu levha alttan yalıtıldığında bu sorun ortadan kalkmaktadır. Ayrıca aliminyum malzeme ile yapıldıkları takdirde ağır da olmayacaklardır.

Kollektörün en sıcak parçası olan yutucu levhanın yalıtılarak dış ortamla teması kesilmelidir. Bunun için bazı poliüretan köpükler, cam yünü ve benzeri yalıtkanlar kullanılır. Kollektörlerde iç bölmelerde kullanılacak tüm malzemeler 200 °C sıcaklığa kadar zarar görmemelidir. Kollektörlerde kullanılan malzemelerin ısıl genleşmeleri boyutlandırma yapılırken dikkate alınmalıdır.

Dış ortam sıcaklığı ve güneş ışıını insan kontrolü dışında değişmektedir. Bundan ötürü herhangi bir kollektöre gelen güneş ışıınıından mümkün olduğunca yararlanabilmek için bazı önlemler alınması gerekir. Daha çok faydalı enerji sağlayabilmek için, dış ortama ısı kayıplarının azaltılması, kollektör yüzeyinin yutuculuğunun artırılması ve kollektördeki akışkana ısı transferini

arttırıcı çalışmaların yapılması gerekmektedir. Yüzeye gelen ışıının yutucu kısmının sıcaklığı ne kadar artarsa artsın, dış ortama doğru olan kayıplarının artmaması gerekir. Bunun için de akışkanın hareket ettirilmesi ile hem iç yüzeydeki ısı taşınım katsayısı hem de iç yüzeyle akışkan arasındaki sıcaklık farkı artırılarak ısı transferi iyileştirilebilir. Dış yüzeyden olan kayıplar ayrıca, dış yüzey ısı transfer katsayısına da bağlıdır. Rüzgarlı havalarda katsayı büyür. Ayrıca bu katsayı yüzey sıcaklığının artması ile de büyür. Bu nedenle, dış yüzeydeki hava hareketlerini azaltmak dolayısıyla ısı kayıpları azaltmak için ışıını geçiren bir saydam örtü kullanılır.

4.1.1.2. Saydam Örtü

Saydam örtü, güneş ışıını geçirip çevreye olan ısı kaybını azaltmaktadır. Rüzgarlı bölgelerde ısı kaybını azaltmada çok önemli rol oynar. Ayrıca yutucu yüzeyi dolu, toz, yağmur gibi etkilerden korur.

Saydam örtünün, kısa dalga boylu güneş ışıınılarını geçirme oranı büyük, yutucu levha tarafından neşredilen uzun dalga boylu ışıınıların dışarı çıkmaması için de uzun dalga boylu ışıınıları geçirme oranı küçük olmalıdır.

4.1.1.3. Yutucu Yüzey

Güneş ışıınıını yutan ve ısıyı borulardaki akışkana transfer eden kısımdır. Güneş ışıınıını yutma katsayısının büyük olması gerekir. Isıyı, temas halindeki akışkana iletmesi için, ısı iletim katsayısı yüksek malzemeler

kullanılmalıdır. Ayrıca ısı transferinin hızlı olabilmesi için levhanın ince olması da gerekir.

Güneş kolektörlerinde yutucu yüzey olarak genelde, bakır, alüminyum ve paslanmaz çelik kullanılmaktadır. Bakır ısı iletim katsayısı yüksek, fakat pahalı bir malzemedir. Çelik de korozyona maruz kalmaktadır. Alüminyumun ise başka bir metal ile lehim veya kaynağının yapılması güçtür.

Yutucu yüzeylerde belli bir dalga boyunda, yansıtma ve yutma oranlarının toplamı 1'dir. Kirshoff kanununa göre, ısıl denge halinde, belli bir dalga boyunda yutma ve neşretme oranları birbirine eşittir.

Siyah renklerin ısıyı yutma oranı büyüktür. Işınımı neşretme oranları da büyüktür. Siyah yüzeyli toplayıcıların normal doğrultudaki güneş ışınımı yutma ve uzun dalga boylu ısıyı neşretme oranları 0,9-0,95 mertebesinde dir. Yüzeyin yutma oranı, geliş açısına bağlı olarak değişir.

Kolektörlerde kullanılan malzemelerin ısı genleşmeleri boyutlandırma yapılırken dikkate alınmalıdır.

4.1.2. Düz Güneş Kollektörlerinin Isıl Analizi

Yutucu levhaya gelen ışıının bir kısmı, cam tarafından yansıtılır, bir kısmı yutulur, geri kalan kısmı ise yutucu yüzeye ulaşır.

Yutucu levhaya gelen enerjinin de bir kısmı borular içerisindeki akışkana geçer ki buna faydalı ısı denir. Bir kısmı toplayıcı tarafından depolanır, depolanan ısıının bir kısmında radyasyon, konveksiyon ve iletimle dış ortama geçer. Buna da kayıp ısı denilmektedir. q_U faydalı ısı, q_s depo edilen ısı ve q_L kayıp ısılar olmak üzere kollektörün birim yüzey alanı için enerji dengesi,

$$(\tau \alpha) I = q_U + q_L + q_s \quad (4.2)$$

şeklinde ifade edilebilir. Eşitlik (4.2) 'de $(\tau \alpha)$ toplayıcının yutma-geçirme çarpımı, I toplayıcı üzerine gelen güneş ışıınınını gösterir.

Kayıp ısılar çok sayıda parametreye bağlıdır. Toplayıcıya gelen güneş ışıınını şiddeti, bileşenlerine, ortam sıcaklığına, rüzgar hızına, kollektörün konstrüksiyonuna (boruların yerleştiriliş şekli, cam sayısı ve özellikleri), kullanılan akışkanın özelliklerine (özgül ısı, vizkosite, basınç v.s.), yutucu levhanın özelliklerine (yutma, yansıtma katsayılarına, ısı iletim katsayısına, kalınlığa v.s.) ve yalıtım malzemesine bağlıdır. Burada görüldüğü gibi birçok faktör ısı kayıplarına etki etmektedir.

4.1.2.1. Kollektörde Isı Kaybı

Toplayıcılardan, ortama ısı transferi; üst, alt ve yan yüzeylerden olur. Fakat, en büyük ısı kaybı üst yüzeyden olacağı için (diğer yüzeyler izolasyonlu olduğundan dikkate alınmayabilir) kollektör ısı kaybı;

$$q_L = \alpha_{ISI} (T - T_s) \quad (4.3)$$

eşitliğiyle hesaplanabilir. Eşitlik (4.3) 'de, α_{ISI} kollektör yüzeyi ile ortam arasındaki ısı transferi katsayısı, T kollektör yüzey sıcaklığı ve T_s ortam sıcaklığıdır. Kollektör sıcaklığının hesaplanması güç olduğundan pratikte kollektör yüzey sıcaklığı yerine akışkan ortalama sıcaklığı alınır. q_L ifadesi,

$$q_L = \alpha_{ISI} (T_k - T_s) \quad (4.4)$$

şeklinde yazılabilir. T_k akışkan ortalama sıcaklığıdır.

4.1.2.2. Kollektörde Faydalı Isı

Kollektörde depo edilen ısı genellikle çok az miktarda olduğundan, hesapları basitleştirmek açısından ihmal edilebilir. Bu durumda faydalı ısı,

$$q_U = (\tau \alpha) I - q_L \quad (4.5)$$

$$q_U = (\tau \alpha) I - \alpha_{ISI} (T_k - T_s) \quad (4.6)$$

olacaktır.

Faydalı ısı akışkana kollektör tarafından transfer edilen ısı olduğundan,

$$q_U = (\rho_s c_p \dot{V} (T_k - T_i)) / BX \quad (4.7)$$

şeklinde gösterilebilir. Bu eşitlikte kollektörden geçen akışkanın hacimsel debisi $\dot{V}$, özgül ısı c_p , yoğunluğu ρ_s , kollektör girişindeki sıcaklığı T_i , herhangi bir kollektör boyundaki ortalama sıcaklığı T_k ile gösterilir. X akış yönündeki koordinatı, B kollektör genişliğini göstermektedir.

4.1.2.3. Düz Güneş Kollektörlerinde Isı Transfer Faktörleri

Isı kaybı hesabında, yutucu yüzeyin sıcaklığı biliniyor farzedilmiştir. Yutucu yüzeyin sıcaklığı, akışkanın toplayıcıya giriş sıcaklığına, toplayıcı üzerine gelen güneş ışınlamına ve toplayıcı tipine bağlıdır. Akış yönünde ve akışa dik doğrultuda olmasına göre değişecektir. Faydalanılan ısı miktarı toplayıcının geometrisine bağlı olarak değişmektedir. Burada, boruların yutucu yüzeyin altında yerleştirildiği sıvılı toplayıcılar incelenmiştir.

Borulu toplayıcılarda, borular içindeki akışın düzgün olduğu ve akışkan sıcaklığının sadece akış yönünde değiştiği kabul edilebilir. Bunun yanında boru ci-darındaki ve levha kalınlığındaki sıcaklık gradyanı ihmal edilebilir. Akışa dik olan herhangi bir kesitte yüzey sıcaklığı, boruların bulunduğu kısımda yaklaşık olarak akışkan sıcaklığına eşit, boruların arasındaki levhada ise daha yüksektir. Akış doğrultusunda yüzey sıcaklığı expononsiyel olarak artar. Artış oranı, doğal olarak toplayıcı cinsine, akışkanın giriş sıcaklığına ve kayıplara bağlı olarak değişecektir.

4.1.2.4. Kollektör Yüzey Alanı

Kollektör yüzey alanının bulunması için, önce istenilen sıcaklığı sağlayarak suyun ısı ihtiyacı belirlenmelidir.

$$Q_{SI} = \dot{m} c_p \Delta T \quad (4.8)$$

Eşitlik (4.8) 'de $\dot{m}$ ısıtılacak su miktarıdır (lt/gün). Konutlar için bu değer 45-50° C sıcaklıkta 50 lt/gün kişi alınabilir. c_p özgül ısı, ΔT ise suyun kul-lanma sıcaklığı ile suyun sisteme giriş sıcaklığı arasındaki farktır.

Bu ısı miktarının, kollektörün belirli bir verimle aldığı güneş ışı-nım suretiyle kazandığı ısıya eşitlersek,

$$Q_{SI} = F_{kol} I \eta \quad (4.9)$$

elde edilir. Buradan kolektör yüzey alanı,

$$F_{kol} = Q_{SI} / (I\eta) \quad (4.10)$$

şeklinde bulunur. Eşitlik (4.10) 'da F_{kol} kolektör yüzey alanı, I kolektör yüzeyine gelen ışıınım miktarı (W/m² gün), η kolektör verimi olup ortalama % 55-65 arasında alınabilir.

4.1.2.5. Kolektör Verimi

Düzlemsel güneş kolektör verimi, anlık veya belli zaman aralığı için tanımlanabilir.

$$\eta_A = \frac{q_U}{F_{kol} I} \quad (4.11)$$

$$\eta_C = \frac{\int_0^t q_U dt}{\int_0^t F_{kol} I dt} \quad (4.12)$$

Yukarıdaki eşitliklerde, η_A anlık, η_C ise toplam verimdir.

4.1.2.6. Absorblanan Isının Akışkana Kazandırılması

q_U faydalı ısı akım şiddeti, W_b borular arası mesafe, L boru uzunluğu olmak üzere aşağıdaki bağıntı yazılabilir.

$$Q_U = W_b L q_U \quad (4.13)$$

Q_U ifadesi (4.14) eşitliği ile de ifade edilebilir. Bu eşitlikte, $\dot{m}$ akışkan debisi (kg/sn), c_p akışkanın özgül ısınma ısı, T_i akışkan giriş sıcaklığı, T_o akışkan çıkış sıcaklığıdır. Q_U faydalı ısıdır.

$$Q_U = \dot{m} c_p (T_i - T_o) \quad (4.14)$$

4.2. ORTA SICAKLIK UYGULAMALARI (100-350 °C arası)

4.2.1. Vakumlu Güneş Kollektör Sistemleri

Vakum borulu toplayıcının dışında cam boru veya cam plaka ve bunun içinde eş-eksenel durumda siyah renkli cam yada madeni boru vardır. Dıştaki saydam cam boru veya cam plaka güneş ışınlarının iç boruya gelmesine olanak

sağlar. İç boru, siyah yüzeyi aracılığıyla, yutucu levha ışınları toplar ve kendi içinden geçen suyu ısıtır. Enerji alan su, ısıtılması istenilen yerlere sevk edilerek kullanma suyu olarak yada ısıtma tesisatında kullanılır. İç ve dıştaki boru veya cam plaka ve boru arasındaki hava boşaltıldığından taşınım kayıpları azalmıştır. İç borunun içinden su yerine hava geçirilirse sıcak hava elde edilir ve sıcak hava ısıtma tesisatlarında kullanılır.

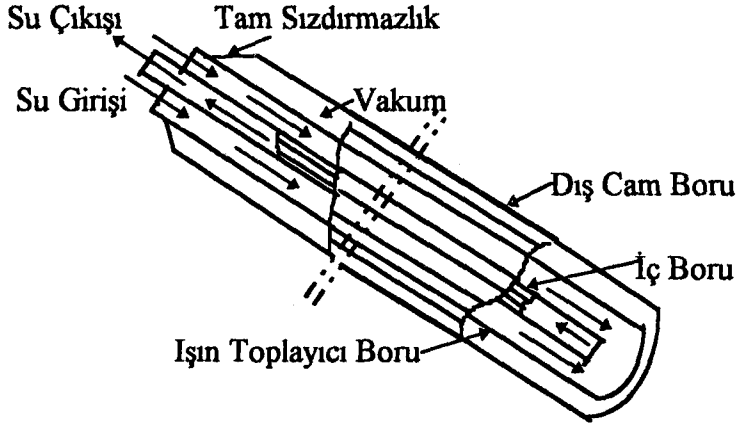
Vakum borulu toplayıcının verimi düz toplayıcıya göre fazla olmakla beraber cam kırılması ve dış borular arasındaki kar birikiminden dolayı toplayıcının örtülmesi gibi sakıncaları vardır. Bu sistemde 120-150°C gibi sıcaklıklar elde etmek mümkündür.

Sistem yüzeyleri arasında tamamıyla havasının boşaltılması veya tamamen havasını boşaltmadan vakumsuz olması ve yüksek molekül ağırlıklı asal gazların doldurulması ile sızdırmazlık sağlanarak performansı artırılabilir. Silindirik boru şeklindeki kollektörler, doğal olarak yüksek sıkıştırma direncine karşı mukavemetlidir.

4.2.1.1. Owens-İllionois Tipi Vakumlu Güneş Kollektör Sistemi

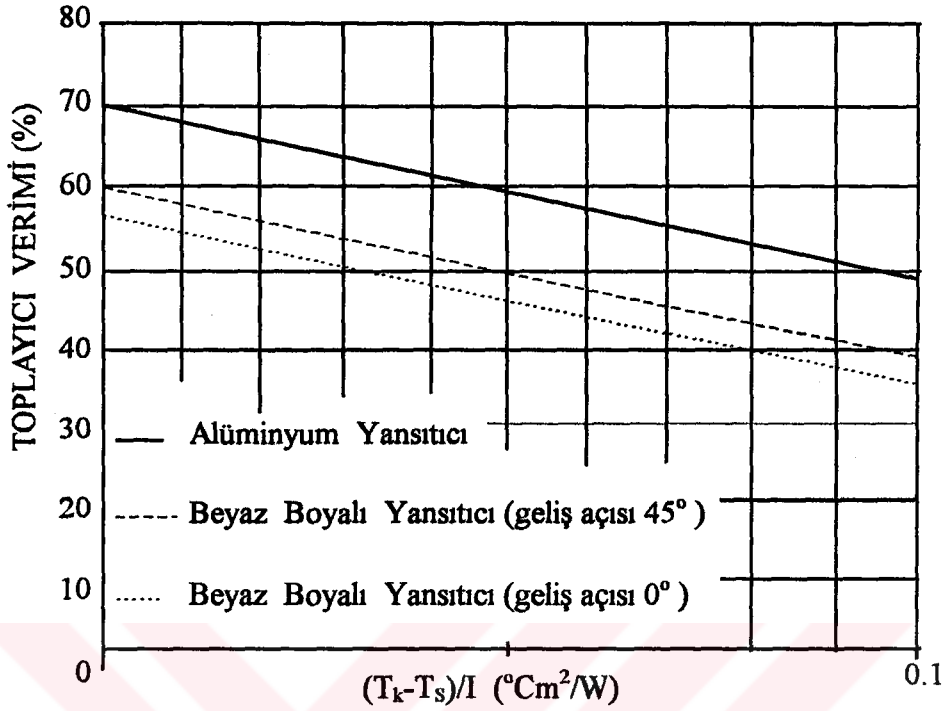
Düz toplayıcıların cam örtüsünden, taşınım yoluyla büyük kayıplar olur. Vakum borulu toplayıcının dışındaki saydam cam boru ile içindeki siyah boyalı boru arasında vakum yaratarak taşınım kayıpları azaltılmıştır. Bu nedenle, vakum borulu toplayıcıların verimi düz toplayıcıdan daha yüksektir. Vakum borulu toplayıcılar, sıcak su elde etmekte, endüstriyel işlemde, bina ısıtılmasında ve soğutulmasında kullanılır. Şekil (4.2) 'de görülen Owens-İllionois tipi vakum borulu toplayıcı, eş eksenel durumda iç içe geçmiş üç borudan oluşur. Dış ve orta boru arasında

vakum vardır. Sıvı orta boruya girer, ısınır ve iç borudan çıkar. Vakum borulu toplayıcının içinde su, bazen hava dolaştırılır.



Şekil 4.2. Owens-Illionois Tipi Vakumlu Güneş Kollektörü.

Boruları birbirine değecek şekilde yerleştirip fazla toplayıcı yüzey sağlamak mümkün olmakla beraber, boruları aralıklı dizerek alt tarafa yansıtıcı yüzey koymanın daha verimli olduğu anlaşılmıştır. İki boru arasında bir boru çapı kadar boşluk bırakarak arkaya yansıtıcı yüzey yerleştirilir. Yansıtıcı yüzeyler, ayna, paslanmaz çelik, aliminyum olabileceği gibi beyaz boya da kullanılabilir. Sonuncu çözümün daha iktisadi olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.3. den de görüldüğü gibi, % 70 civarında verim elde edilebilmektedir.

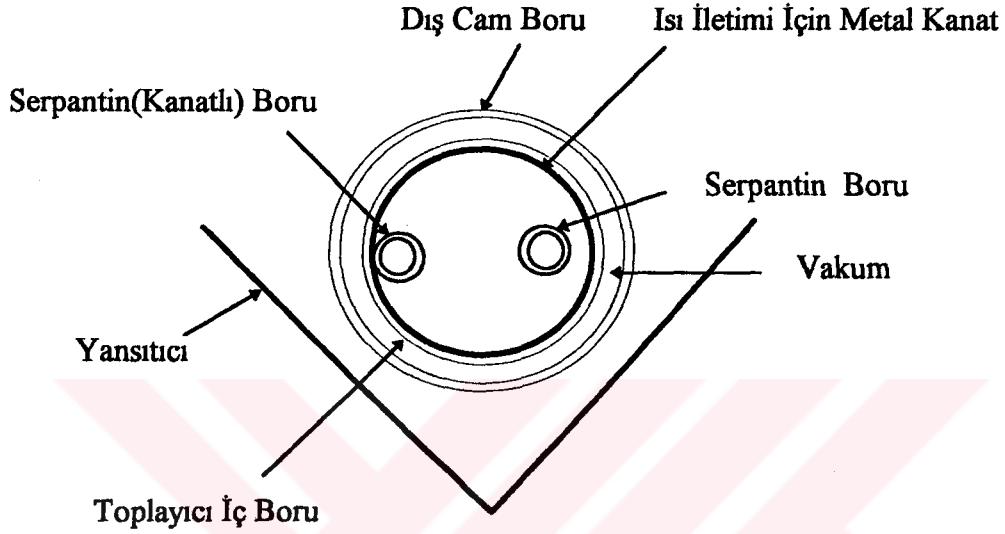


Şekil 4.3. Owens-Illionois Tipi Toplayıcının Verimi

4.2.1.2. General Electric Tipi Vakumlu Güneş Kollektör Sistemi

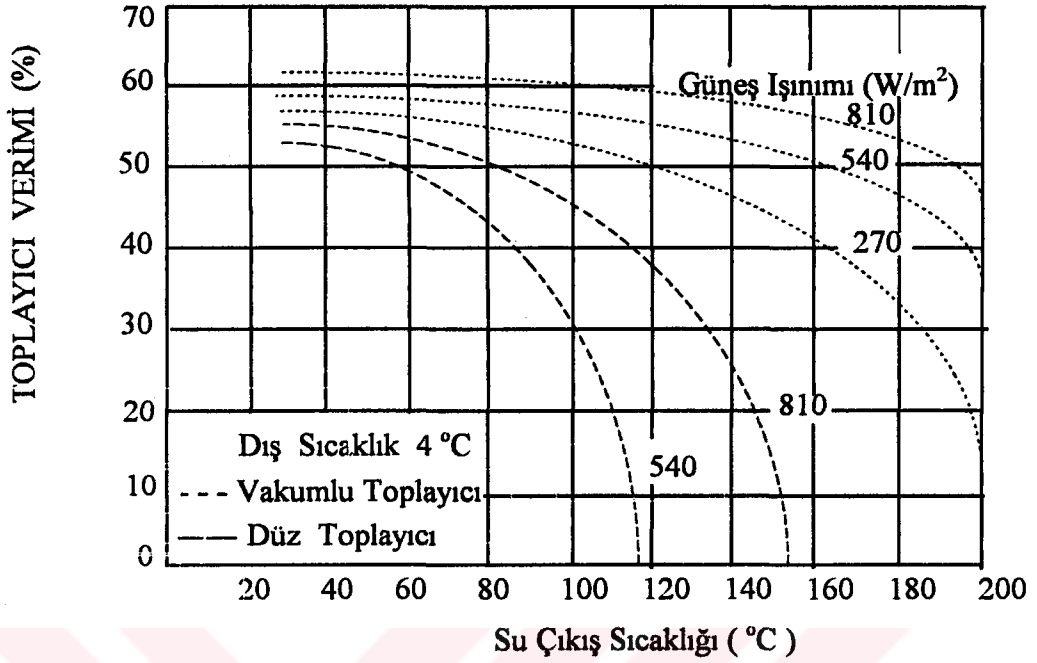
Şekil 4.4 'deki vakum borulu toplayıcının dış borusu saydam camdır. Toplayıcı iç boruya tam temas eden bir metal kanat bulunmaktadır. Dış boru ile toplayıcı iç borunun arasındaki vakum sayesinde taşınım kayıpları önlenir. Toplayıcı iç borunun dış kısmında seçici yüzey katmanı bulunur. Metal kanat, " U " şeklindeki serpantin borularla tam temas halindedir. Serpantinin içinden, ısınan su devredilir. Güneş ışınları, dış borudan geçerek iç borunun üstündeki seçici yüzey tarafından yutulur. Burada toplanan enerji, metal kanat aracılığı ile serpantin borusuna aktarılır ve sonuç olarak boru içindeki sıvı ısınır. Vakum borulu

toplayıcının arkasındaki V şeklindeki ışın yansıtıcı sayesinde borunun alt tarafındaki seçici yüzeyde enerji toplanır.



Şekil 4.4. General Electric Tipi Toplayıcı

Şekil 4.5. de, General Electric tipi toplayıcıların verim eğrileri görülmektedir. Bir düz toplayıcının verim eğrileri de aynı şekilde açıklanmıştır. Vakum borulu toplayıcının, düz toplayıcıya kıyasla yüksek verime sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.5. General Electric Tipi Toplayıcının Verimi

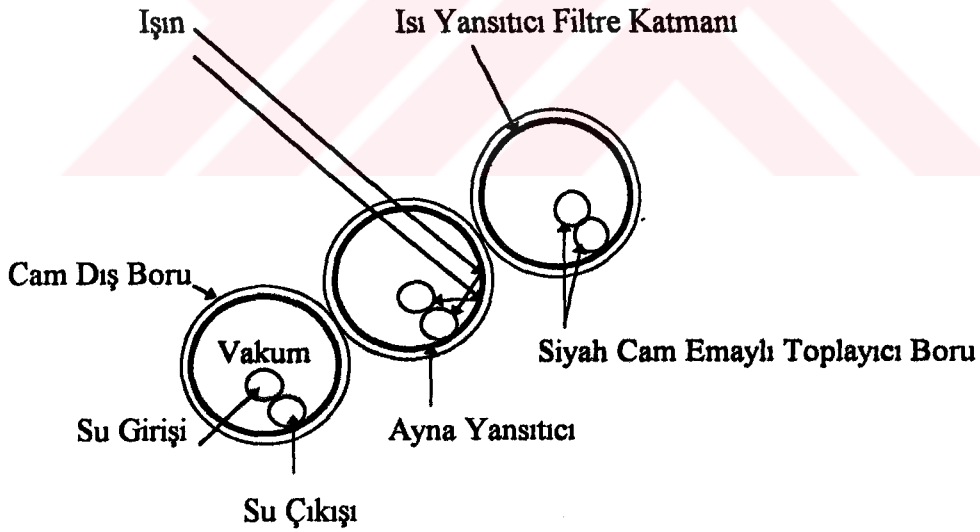
4.2.1.3. Philips Tipi Vakumlu Güneş Kollektör Sistemi

Şekil 4.6. daki Philips tipi toplayıcıda saydam olan dış borunun üst kısmı ışınları geçirir. Ayrıca, alt kesite uygulanan bir katmanla, bu kısım yansıtıcı haline getirilmiştir.

Borunun içinde vakum bulunmaktadır. Dış borunun üst yarısına ısı yansıtıcı filtre katmanı uygulanmaktadır. Bu katman güneş ışınlarını geçirir. Fakat toplayıcı borular ısınıp uzun dalga geri ışıma yaymaya başladığında bu ışınlar filtreden geçemez. Çünkü, filtre katmanı uzun dalga ışınlar karşı tam engel oluşturur.

Cam dış borunun içinde serpantin şeklinde toplayıcı borular mevcuttur. Bu boruların üzerinde siyah katman vardır. Bunların içinden geçen sıvı ısınır. Güneş ışınları dış cam borudan geçtikten sonra doğrudan serpantin borular üstüne geldiği gibi aynı zamanda alttaki yansıtıcıdan da yansıyarak toplayıcı boruları ısıtır. Genellikle vakum borulu toplayıcıların montajı kolaydır. Sızdırmazlıkla ilgili sorunlar, seri üretim yöntemi ile çözülmüştür. Vakum borulu toplayıcılardan yüksek verim sağlandığı gerçektir. Aynı zamanda elde edilen yüksek sıcaklıklar, doğrudan buhar üretilmesi mümkün kılacak seviyededir.

Buna karşın cam kırılması bazı hallerde sistemi çalışmaz hale getirmektedir. Borular arasına biriken kar örtüsü toplayıcının çalışmasını engelleyebilir. Bütün bu sakıncalara rağmen vakum borulu toplayıcılar güneş enerjisi dalında çok olumlu bir aşamadır.



Şekil 4.6. Philips Tipi Toplayıcı

4.2.2. YOĞUN TOPLAYICILAR

Güneş ışınlarını, bir noktada yada bir hat üzerinde yoğunlaştıran düzenlere yoğun toplayıcı denir. Yoğun toplayıcı güneşi izlemek zorundadır.

Parabolik yoğun toplayıcı, bütün ışınları bir noktada toplayarak yüksek sıcaklık sağlar (100-350°C arası). Parabolden yansıyan ışınlar kürede toplanır. Küre içinde, basınç altında kaynar su yada doğrudan buhar elde edilir.

Yoğun toplayıcı, konik şeklinde imal edilirse koniden yansıyan ışınlar bir doğru üzerinde toplanır. Yani, konik yansıtıcılar, ışınların bir boru üzerinde yoğunlaşmasını sağlar. Parabolik kesite göre elde edilen sıcaklık daha az olmakla beraber, suyu kaynama noktasının üstüne çıkarmak olasıdır

Yoğun toplayıcıların başlıca yararı yüksek sıcaklıklar elde etmeleri ve ısı kayıplarının az oluşudur. Buna karşın otomatik olarak güneşi izlemek zorunda olmaları, elektronik kumandalı mekanik düzenleri gerektirmektedir. Güneş izleme düzenleri, pahalı oldukları kadar özel bakıma ve kullanma bilgisine ihtiyaç gösterirler.

4.3. YÜKSEK SICAKLIK UYGULAMALARI (350°C'den yukarı)

4.3.1. Güneş Fırınları

Bu tür güneş toplayıcılarında çok yüksek sıcaklıklar elde etmek mümkündür (350°C'den yukarı).

Fransa'da Pirene dağlarında kurulan aynalı yoğun toplayıcı yaklaşık 90 m² alan kaplamaktadır ve 3500 aynası vardır. Aynalar teker teker elle ayarlanarak güneş ışınları bir noktada toplanmak suretiyle 3000-3500 °C sıcaklık elde edilmektedir. Yansıtıcı (reflektör) malzeme imalinde kullanılan bu güneş fırını ekonomik olarak çalışan bir tesistir.

Yine Fransa'da Pirene dağlarında kurulmuş olan bir başka sistemde güneş fırını 45 cm * 45 cm ebadında 9500 aynadan oluşan parabolik yansıtıcı 53 m eninde ve 40 m yüksekliğindedir. Laboratuvar binası içinde oluşan odak noktasında 3800 °C sıcaklık elde edilmekte ve bu surette metaller eritilmektedir (Deriş 1975).



5. MATERYAL VE METOD

5.1. VAKUMLU GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ

Vakumlu güneş kollektörleri iç içe eş eksenli cam boruda meydana gelmektedir. İki cam arasındaki hava, sistem verimini arttırmak amacıyla vakumlanmıştır. Dıştaki cam saydamdır. Böylelikle, güneş ışınlarının içteki boruya gelmesine olanak sağlar. İçteki boru ise siyahtır. Dış saydam borudan geçen ışınları toplar ve içindeki suyu ısıtır. Bu tür sistemlerde 150 °C' ye ulaşmak mümkündür. İçteki siyah yüzeyli boru yerine yutucu plaka da kullanılabilir.

Havasız alınmış silindirik borulu kollektörler (vakumlu güneş kollektörler), genel olarak dört ana başlık altında incelenebilir.

- a- Düzlem yüzey tip - vakumlu güneş kollektörleri
- b- Yoğuşturucu tüpler tip - vakumlu güneş kollektörleri
- c- Yoğuşturma tip - vakumlu güneş kollektörleri
- d- Vakum borulu arka alıcı yüzey tip - vakumlu güneş kollektörleri

Araştırmamızda, düzlem yüzey tip - vakumlu güneş kollektörleri üzerinde durulmuş ve ısı analiz yapılmıştır.

5.1.1. Düzlem Yüzey Tip - Vakumlu Güneş Kollektörleri

Güneş enerjisi kullanımı, sıcak su ve mahal ısıtma amacıyla, normal şartlar altında makul verimlilik ile güneş enerjisi toplama sistemlerinin işlevsel oluşuna bağlıdır.

Eaton ve Bluma'ya göre, bir yutucu levhadan kaybolan doğal konveksiyonun önlenmesi için, orta vakuma sahip (kollektör basıncı $1,315 \cdot 10^{-3}$ - $32,875 \cdot 10^{-3}$ atm.) bir kollektör verimliliğe ulaşmak gerekmektedir. Bu

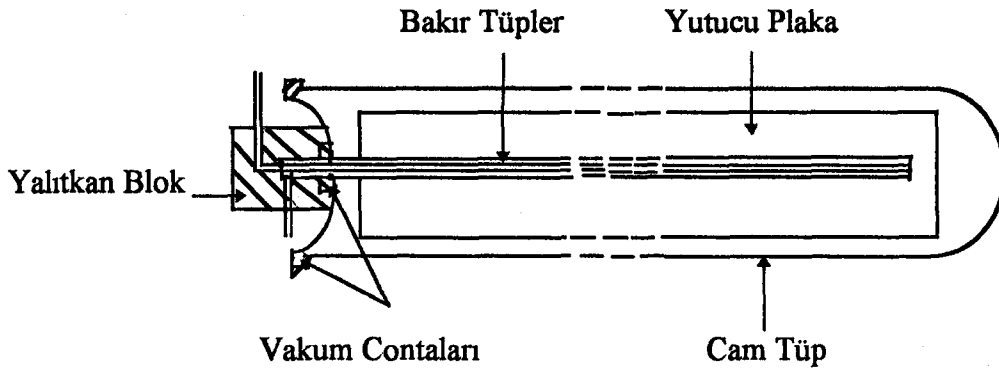
tür kollektör sisteminde hava alma işlemi, vakum teknolojisi için önemli boyutlardadır. Yutucu levha tarafından yutulan enerji miktarı tüp kollektör ve düz plaka için benzer olacaktır. Bununla birlikte, bunların ısı kayıp karakteristikleri farklı olabilir.

Bu tür düzlem yüzeyli tip tüpsel kollektör, en dışta cam tüp ve en içte ısı transfer tüpleriyle beraber bir yutucu plakadan ibarettir. Dewar tip kollektörde olduğu gibi, ısıнын vakum zarfına işlemesi için sistemin bir alıcı sisteme gereksinimi vardır. Bu da metal - cam sistemlerinin kullanımını gerektirir. Metal - cam sistemleri Corning, Philips, Termomax, Sanyo ve Sharp şirketleri tarafından kullanılmıştır.

Metal - vakum sisteminde yutma yüzeyi, ısı alma yüzeyi ile iyi bir termal temas halindedir. Yutucu yüzey düzlemsel kollektörlerdekine benzerdir. Böyle sistemler, yutucu dizaynı, tüp plaka ilişkisi, tüp bölgesi ve kayıpların etkisi (yutucu plakanın etkileri gibi...) açısından geniş bir şekilde araştırılmıştır (Roberts, 1979).

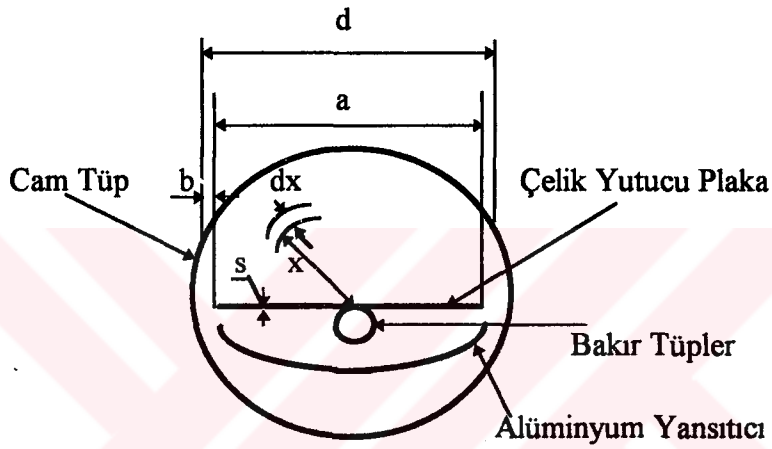
5.1.1.1. Tüp Ve Yutucu Plakanın Geometrisi

Kollektör tüp dizaynı ise şu şekilde gösterilebilir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Düzlem Yüzey Tip Vakumlu Güneş Kollektör Tüp Dizaynı

Şekil 5.2. de tüp ve yutucu plakanın dizaynının kesiti gösterilmiştir. Burada, a yutucu plakanın genişliği, d kollektör tüp iç çapı, s yutucu plaka kalınlığı, l yutucu plaka boyu, b yutucu plaka - cam tüp arasındaki mesafedir. Çelik yutucu plaka, 0,0012 m kalınlığında imal edilmiştir, bakır tüpe 20 mm aralıklarla lehimlendirilmiştir ve tüpün orta bölgesine yerleştirilmiştir. Ayrıca, $l=1,5$ m, $a=78$ mm, $d=114$ mm ve $b=16,7$ mm'dir.

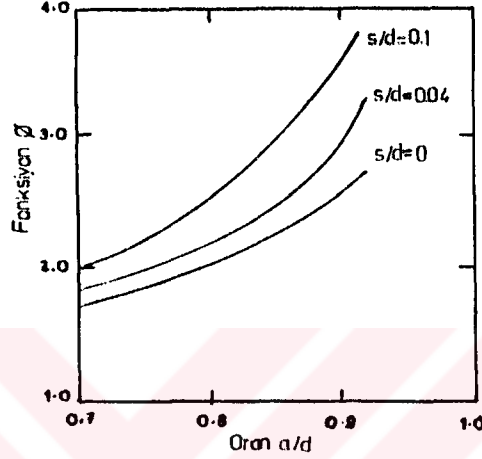


Şekil 5.2. Düzlem Yüzey Tip - Vakumlu Güneş Kollektör Tüp ve Yutucu Plakanın Kesiti.

Parlatılmış alüminyum yayıcı, minimum ısı kaybı amacıyla yutucu arkasına yerleştirilmiştir. Tüp, $1,315.10^{-3}$ - $32,875.10^{-3}$ atm. arası basınçta düşük bir ısı iletkenliğe sahip gazla doldurulmuştur.

Vakumlu güneş kollektörlerde, vakumdan dolayı tüpte izolasyonun çok iyi yapılması, dış cam ve yutucu arasında bulunan gazın hiçbir şekilde dışarıya kaçmaması lazımdır. Boru giriş ve çıkışlarda vakum contalarıyla izolasyon yapılır. Burada boru çevresine yapılan izolasyonda, silikon lastik conta kullanılmıştır. Şekil 5.1. den de görüldüğü gibi, kollektörden ısı kaybını önleme amacıyla yalıtkan blok, vakum gazının sızdırmazlığını önlemek için ise vakum contaları kullanılmıştır.

Şekil 5.3. de ϕ fonksiyonu ile a/d oranı arasındaki ilişki görülmektedir. İletim ile ısı transferinde ϕ , yutucu plaka ve tüpün geometrisine bağlı olarak iletim ile ısı transferi ifadesinin bir fonksiyonudur. a yutucu plaka genişliği, d ise kollektör tüp çapıdır.



Şekil 5.3. ϕ fonksiyonunun - a/d oranı ile değişimi.

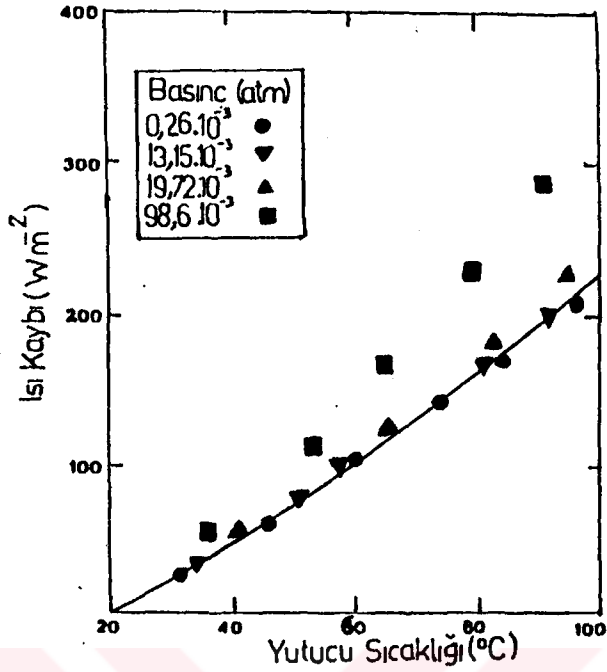
5.1.1.2. Vakumun Verime Etkisi

Tüp ile yutucu plaka arasında metil-iodid olduğu durumda; Şekil 5.4. den görüldüğü gibi, belirli basınçlar altında durum incelenmiş ve hava ortamına göre daha düşük ısı kayıpları olduğu görülmüştür. Örneğin, $2,63 \cdot 10^{-4}$ atm. basınç altında, vakum ortamında hava olması durumunda, yutucu plaka sıcaklığı 60°C iken yutucu plakada meydana gelen ısı kaybı yaklaşık 180 W/m^2 civarındadır. Tüp içinde metil-iodid olması durumunda ise, ısı kaybının aynı yutucu plaka sıcaklığında 100 W/m^2 civarında, yani hemen hemen ısı kaybının yarısı kadar olduğu görülmektedir.

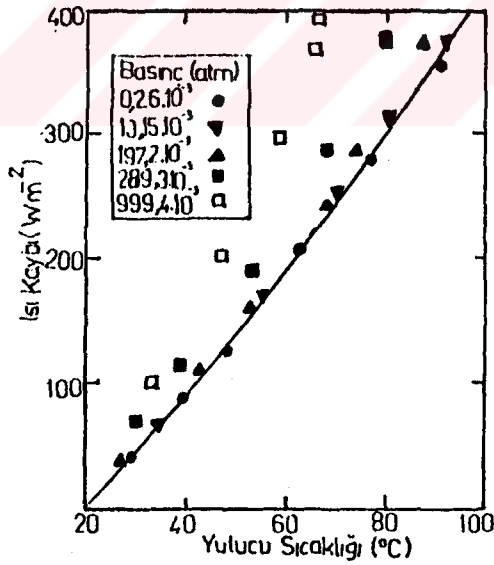
Vakumlu güneş kolektörlerinde vakumun verime etkisi önem kazanmaktadır. Öyleki, sıfır vakum ortamında ısı kaybı en az olmaktadır. Yani vakum ortamında, hava olduğu durumda; Şekil 5.5. den görüldüğü üzere yutucu plakadan vakum ortamına olan ısı kaybı, yutucu plaka sıcaklığına bağlı olarak artmaktadır. Vakum ortamı diye; yutucu plaka - dış cam tüp arasında kalan bölgeye denir. Yukarda bahsedilen durum, vakum ortamının pasifize edilmesinden dolayı, neticede verimi etkilediğinden istenmeyen bir durumdur. Vakum ortamında hava bulunduğu durumda belirli basınçlarda ısı kayıpları, T_a yutucu plaka sıcaklığına göre incelenmiştir. Aşağıda belirtilen grafiklerden de görüldüğü üzere, vakum ortamındaki hava basıncı arttırıldığında kayıp ısı da bu oranda artmaktadır. Şekildeki lineer doğru sıfır vakum durumunu belirtmektedir. Bu durum, tüp içindeki vakum ortamının iyi bir izole (yalıtkan) özelliği taşıdığını gösterir.

Metil-iodid durumunda, daha yüksek basınçlara çıkıldıkça, hava durumuna göre ısı kaybı daha da düşmektedir. Sonuç olarak, metil-iodid 'in havaya göre daha iyi bir yalıtkan olduğu görülmektedir.

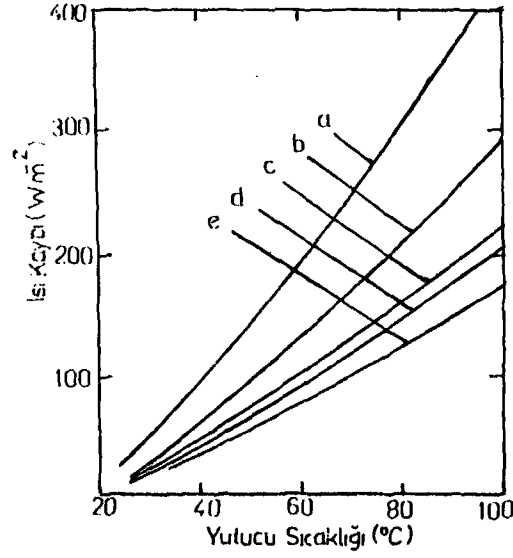
Tek bir grafik üzerinde çeşitli vakumlu güneş kolektörleri ve düz güneş kolektörlerinin $\varepsilon_p=0,21$ olması durumunda, yutucu plaka sıcaklığı ve ısı kaybı arasındaki eğriler görülmektedir (Şekil 5.6.). Bu grafiklerden de görüldüğü gibi, $1,315.10^{-2}$ atm. den az basınçta tüp içerisinde metil-iodid olması durumunda, hava olması durumuna nazaran daha az ısı kaybı olduğu görülmektedir (Roberts,1979).



Şekil 5.4. Vakum Ortamında Metil - Iodide Olması Durumunda Basınca Bağlı Olarak, Yutucu Plakadan Isı Kaybı - Yutucu Plaka Arasındaki İlişki.



Şekil 5.5. Vakum Ortamında Hava Olması Durumunda Basınca Bağlı Olarak, Yutucu Plakadan Isı Kaybı - Yutucu Plaka Arasındaki İlişki.



Şekil 5.6. $\epsilon_p=0,21$ İken Düzlemsel Ve Vakumlu Güneş Kollektörlerinin Isı Kayıp Karakteristikleri. a) Vakum Ortamında $1,315 \cdot 10^{-2}$ atm'den Az Basınç Altında Hava Olması Durumu. b) Düzlemsel Kollektör (Tek Sırlı). c) $1,315 \cdot 10^{-2}$ atm'den Az Basınç Altında Vakum Ortamında Metil - Iodide Olması Durumu. d) Düzlemsel Kollektör (Çift Sırlı). e) Yutucu Alt Kenarından Sıfır Kayıp Olması Durumu (Metil - Iodide İçin).

5.1.1.3. Düzlem Yüzey Tip - Vakumlu Güneş Kollektörlerinin Isıl Analizi

Yutucu plakadan tüpe radyasyonla ve iletimle ısı transferi aşağıdaki gibidir.

Tüpün üst kesiti için; radyasyonla ısı transferi,

$$q_{IR} = \sigma al \left[\frac{1}{(1/\epsilon_p + 1/\epsilon_g - 1)} \right] (T_A^4 - T_{IG}^4) \quad (5.1)$$

şeklindedir. Burada, σ Stefan - Boltzman sabiti, a yutucu plaka genişliği, l yutucu plaka boyu, T_A yutucu plaka sıcaklığı, T_{1G} tüpün üst kesitinin cam sıcaklığı, ε_p yutucu plakanın yayma katsayısı, ε_g ise camın yayma katsayısıdır. İletim ile ısı transferi aşağıdaki gibidir.

$$q_{1C} = 2kl\phi (T_A - T_{1G}) \quad (5.2)$$

(5.2) eşitliğinde $(T_A - T_{1G})$, ΔT_1 ile gösterilebilir. Yine,

$$\varepsilon_{p,g} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1 \right)} \quad (5.3)$$

$$F_b = al \quad (5.4)$$

eşitlikleri yazılabilir. Burada F_b yutucu plakanın yüzey alanıdır.

(5.1) ve (5.2) eşitliklerinde gerekli kısaltmalar yapılırsa, radyasyonla olan ısı transferi

$$q_{1R} = \sigma F_b \varepsilon_{p,g} (T_A^4 - T_{1G}^4) \quad (5.5)$$

$$q_{1R} = \sigma F_b \varepsilon_{p,g} (T_A^4 - T_{1G}^4) \quad (5.5)$$

olur. Yine, iletim ile ısı transferinde kısaltmalar yapılırsa,

$$q_{1C} = 2kl\phi \Delta T_1 \quad (5.6)$$

olur. Burada k vakum gazının ısı iletim katsayısıdır.

İletim ile ısı transferinde ϕ , yutucu plaka ve tüpün geometrisine bağlı olarak iletim ile ısı transferi ifadesinin bir fonksiyonudur.

Tüpün üst kesiti için, toplam ısı transferi ise eşitlik (5.5) ve (5.6)'nın toplanmasıyla,

$$q_1 = q_{1C} + q_{1R} \quad (5.7)$$

şekline gelir.

Tüpün alt kesiti için; radyasyonla olan ısı transferi,

$$q_{2R} = \sigma al \left[\frac{1}{\left(\frac{2}{\varepsilon_R} - 1 \right)} \right] (T_A^4 - T_{2G}^4) \quad (5.8)$$

şeklindedir. Burada, ε_R yutucu plaka ve yansıtıcının toplam yayma katsayısıdır.

$$\varepsilon_{r,p} = \frac{1}{\left(\frac{2}{\varepsilon_R} - 1 \right)} \quad (5.9)$$

yazılabilir.

İletim ile ısı transferi.

$$q_{2C} = 2kl\phi (T_A - T_{2G}) \quad (5.10)$$

şeklindedir.

Yine yukarıdaki eşitliklerde gerekli kısaltmalar yapılırsa, iletim ile ısı transferi ise aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$q_{2R} = \sigma F_b \varepsilon_{r,p} (T_A^4 - T_{2G}^4) \quad (5.11)$$

$$q_{2C} = 2kl\phi \Delta T_2 \quad (5.12)$$

ifadeleri yazılabilir. Yukarıdaki eşitliklerde geçen T_{2G} tüpün alt kesitinin cam sıcaklığıdır.

Tüpün alt kesiti için, toplam ısı transferi de eşitlik (5.8) ve eşitlik (5.10) 'un toplanmasıyla,

$$q_2 = q_{2C} + q_{2R} \quad (5.13)$$

şeklinde belirlenir.

Yutucu plaka ve tüpün geometrisine bağlı olarak iletim ile ısı transferi,

$$q_c = 2 \int_0^{\pi/2} krl \left(\frac{dT}{dx} \right) d\theta \quad (5.14)$$

şeklinde yazılabilir (Roberts, 1979).

U sıcaklığa bağlı olarak,

$$U = \frac{(T - T_G)}{(T_A - T_G)} \quad (5.15)$$

ve X tüp çapına bağlı olarak,

$$X = \frac{x}{r} \quad (5.16)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada U ve X boyutsuz sayılardır. U eşitliğinde T_G , cam sıcaklığıdır.

Eşitlik (5.15) 'un T 'ye göre türevi alınırsa;

$$\frac{dU}{dT} = \frac{1}{T_A - T_G} \quad (5.17)$$

olur ve dT ifadesi,

$$dT = dU(T_A - T_G) \quad (5.18)$$

şeklini alır. X boyutsuz sayısında, X'in x'e göre türevi alınır ve dx ifadesi düzenlenirse,

$$dx = dX r \quad (5.19)$$

olur. Bulunan ifadeler iletim ile ısı transferi bağıntısında yerine yazılırsa,

$$q_c = 2 \int_0^{\pi/2} krl \left(\frac{dU(T_A - T_G)}{dX r} \right)_r d\theta \quad (5.20)$$

olur ve yine bu ifade aşığıdaki bağıntı ile eşitlendiğinde ϕ şu şekilde belirlenir.

$$q_c = 2kl\phi (T_A - T_G) \quad (5.21)$$

$$\phi = \int_0^{\pi/2} \left(\frac{dU}{dX} \right)_{X=1} d\theta \quad (5.22)$$

Diğer yandan, tüpün üst kesiti için camdan dış ortama olan ısı kaybı, tüpün üst tarafından radyasyonla ve konveksiyonla olan ısı kayıplarının toplamıdır.

$$q_{ası} = \frac{\pi d_0 l}{2} \sigma \varepsilon_s (T_{1G}^4 - T_s^4) + \frac{\pi d_0 l}{2} \alpha_{ısı} (T_{1G} - T_s) \quad (5.23)$$

Yine tüpün alt kesiti için camdan dış ortama olan ısı kaybı, tüpün alt tarafından radyasyonla ve konveksiyonla olan ısı kayıplarının toplamıdır.

$$q_{alt} = \frac{\pi d_0 l}{2} \sigma \varepsilon_s (T_{2G}^4 - T_s^4) + \frac{\pi d_0 l}{2} \alpha_{ısı} (T_{2G} - T_s) \quad (5.24)$$

Tüpün alt ve üst kesitindeki camdan dış ortama olan ısı kayıplarının toplamı, tüpten dış ortama olan ısı kaybına eşittir. Buna göre,

$$q_L = q_{ast} + q_{alt} \quad (5.25)$$

şeklinde yazılabilir.

Eşitlik (5.23) ve (5.24) 'de ifade edilen α_{isi} , ısı transfer katsayısı Holman tarafından şu şekilde teklif edilmiştir (Roberts,1979).

α_{isi} , doğal konveksiyon durumunda,

$$\alpha_{isi} = 1.32 \left(\frac{T_G - T_s}{d_0} \right) \quad (5.26)$$

Zorlanmış konveksiyon durumunda ise,

$$\alpha_{isi} = \frac{1}{d_0} (0.0161 Re^{0.492} + 0.007) \quad (5.27)$$

şeklinde tarif edilmiştir. SI birim sistemine göre Reynolds ifadesi de,

$$Re = 72770 d_0 V \quad (5.28)$$

eşitliğinden bulunur.

Burada V , rüzgar hızıdır. $Re > 400$ için durum, zorlanmış konveksiyondur.

Vakumlu güneş kolektöründe yutucu plakadan vakum ortamına olan ısı transferi ile vakum ortamından dış ortama olan ısı transferi birbirine eşittir. Bundan dolayı şu eşitlikler yazılabilir.

Yutucu plakadan vakum ortamına olan toplam ısı transferi, radyasyonla ve iletimle olan ısı transferi toplamına eşittir. O halde radyasyonla olan ısı transferi, üst ve alt kesitte meydana gelen radyasyonla ısı transferinin toplamına eşit olduğundan eşitlik (5.5) ve (5.11) toplanmasıyla aşağıdaki bağıntı yazılabilir.

$$q_{RT} = \sigma F_b (\varepsilon_{p,g} (T_A^4 - T_{1G}^4) + \varepsilon_{r,p} (T_A^4 - T_{2G}^4)) \quad (5.29)$$

Yutucu plakadan vakum ortamına olan iletim ile ısı transferi, üst ve alt kesitteki kayıplar toplamına eşit olduğundan, eşitlik (5.2) ve (5.10) 'un toplanmasıyla aşağıdaki bağıntı yazılabilir.

$$q_{CT} = 2kl\phi (2T_A - T_{1G} - T_{2G}) \quad (5.30)$$

Yutucu plakadan vakum ortamına olan toplam ısı transferi radyasyonla ve iletimle olan ısı transferlerinin toplamıdır.

$$q_{RCT} = \sigma al(\varepsilon_{p,g} (T_A^4 - T_{1G}^4) + \varepsilon_{r,p} (T_A^4 - T_{2G}^4)) + 2kl\phi (2T_A - T_{1G} - T_{2G}) \quad (5.31)$$

Vakum ortamından dış ortama olan toplam ısı kaybı, eşitlik (5.25)'den görüldüğü üzere, radyasyonla ve konveksiyonla olan ısı transferlerinin toplamıdır.

$$q_L = \frac{\pi d_0 l}{2} \sigma \varepsilon_g (T_{1G}^4 + T_{2G}^4 - 2T_s^4) + \frac{\pi d_0 l}{2} \alpha_{is,1} (T_{1G} + T_{2G} - 2T_s) \quad (5.32)$$

Buna göre aşağıdaki bağıntı yazılabilir;

$$q_{RCT} = q_L \quad (5.33)$$

Eşitlik (5.7) ve (5.23) eşitlendiğinde üst kesit cam sıcaklığı T_{1G} aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$T_{1G} = \left[\frac{(\sigma F_b \varepsilon_{p,g} T_A^4 + 2kl\phi T_A + \frac{\pi d_0 l}{2} \sigma \varepsilon_g T_s^4 + \frac{\pi d_0 l}{2} \alpha_{is1} T_s) - T_{1G} (2kl\phi + \frac{\pi d_0 l}{2} \alpha_{is1})}{\sigma F_b \varepsilon_{p,g} + \frac{\pi d_0 l}{2} \varepsilon_g \sigma} \right]^{1/4} \quad (5.34)$$

Eşitlik (5.13) ve (5.24) eşitlendiğinde, alt kesit cam sıcaklığı T_{2G} de aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$T_{2G} = \left[\frac{(\sigma F_b \varepsilon_{r,p} T_A^4 + 2kl\phi T_A + \frac{\pi d_0 l}{2} \sigma \varepsilon_g T_s^4 + \frac{\pi d_0 l}{2} \alpha_{is1} T_s) - T_{2G} (2kl\phi + \frac{\pi d_0 l}{2} \alpha_{is1})}{\sigma F_b \varepsilon_{r,p} + \frac{\pi d_0 l}{2} \varepsilon_g \sigma} \right]^{1/4} \quad (5.35)$$

Bu eşitliklerden iterasyonla T_{1G} ve T_{2G} sıcaklıkları bulunabilir. Vakumlu güneş kollektör ısı verimi η (boyutsuz),

$$\eta = \frac{q_U}{F I} \quad (5.36)$$

şeklinde tarif edilir (Duffie ve Beckman, 1974). Burada, q_U kollektörde çalışma akışkanı için faydalı ısı transferi, F kollektör tüpün yüzey alanı, I birim alanda kollektör üzerindeki güneş radyasyonudur.

Kollektör üzerindeki enerji bağıntısı,

$$q_U + q_L + q_S = F(I(\tau\alpha)) \quad (5.37)$$

şeklinde yazılabilir. Burada, q_L kollektörden çevreye olan toplam enerji kaybı, q_S kollektörde enerji depolama oranı ve $\tau\alpha$ ise sistem üzerindeki ısıtım geçirgenlik - yutma sayısıdır. q_U ifadesi denklem (5.37) eşitliğinden çekilirse,

$$q_U = F(I(\tau\alpha)) - q_L - q_S \quad (5.38)$$

olur. q_L ifadesi eşitlik (5.32), burada yerine konursa, eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$q_U = F(I(\tau\alpha)) - \left[\frac{\pi d_0 l}{2} \sigma \epsilon_g (T_{1G}^4 + T_{2G}^4 - 2T_s^4) + \frac{\pi d_0 l}{2} \alpha_{isi} (T_{1G} + T_{2G} - 2T_s) \right] \quad (5.39)$$

Genellikle yutucu plakadaki ısı depolama miktarı az olduğundan burada q_S ihmal edilmiştir.

Eşitlik (5.35) 'de q_U değeri yazılırsa kollektör ısı verimi,

$$\eta = (\tau\alpha) - \left[\frac{\sigma \epsilon_g}{2I} (T_{1G}^4 + T_{2G}^4 - 2T_s^4) + \frac{\alpha_{isi}}{2I} (T_{1G} + T_{2G} - T_s) \right] \quad (5.40)$$

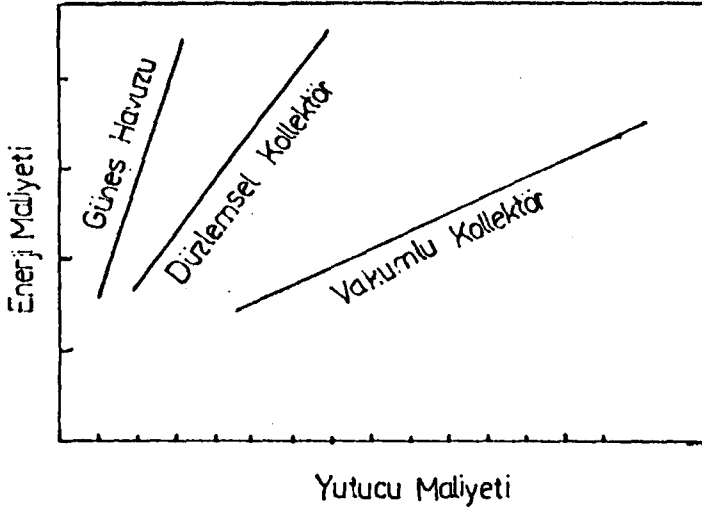
şekline getirilir.

5.1.1.4. Vakumlu Güneş Kollektörlerinin Maliyeti

Şekil 5.7. den görüldüğü gibi en fazla enerji maliyeti güneş havuzlarında olmaktadır. Çünkü güneş ışınımının geldiği yüzey alan arttıkça enerji maliyeti de artmaktadır. Düzlemsel ve vakumlu güneş kolektörlerinin enerji maliyeti güneş havuzlarının enerji maliyetinden azdır. Fakat buna karşılık güneş havuzlarının yutucu maliyeti az olmaktadır. Vakumlu güneş kolektörlerinde ise enerji maliyeti diğerlerinden az olmasına karşılık yutucu maliyeti fazladır. Bu da vakumlu güneş kolektörlerin imalatında maliyet açısından bir problem teşkil etmektedir.

Türkiye’de vakumlu güneş kolektörlerinin imal edilmemesinin sebebi yutucu maliyetinin diğerlerine göre biraz fazla oluşudur. Vakumlu güneş kolektörlerinde düzlemsel tipten farklı olarak bazı tiplerinde değişik malzemeler kullanılmaktadır. Örneğin, yoğunlaştırma tip - vakumlu güneş kolektörlerinde dış tüpün iç tarafında yansıtıcı yüzey kullanılmaktadır. Bu kolektörde yansıtıcı yüzey olarak yansıtma aynaları kullanılmaktadır. Düzlem yüzey tip-vakumlu güneş kolektörlerinde ısı kaybını önleme ve bu ısıyı tekrar yutucuya yansıtma amacıyla yansıtıcı kullanılabilir. Ayrıca bu sistemlere vakum uygulandığından dolayı ve özellikle boru giriş - çıkışlarda tam sızdırmazlığın olması lazımdır. Bundan dolayı, imalat sırasında işçilik ve malzeme sarfiyatı artmaktadır.

Yutucu maliyeti olarak; metrekaşe başına vakumlu yutucunun maliyeti, alüminyum yutucudan 1,62 kat, bakır yutucudan 1,17 kat, çelik yutucudan 1,49 kat, alüminyum - bakır alaşımlı yutucudan 1,25 kat ve plastik yutucudan 6,25 kat daha fazladır. Vakumlu güneş kolektörlerinde, yutucu malitelinin diğer kolektörlere göre fazla oluşu, imalatını maliyet açısından zorlaştırmaktadır (Sayigh, 1980).



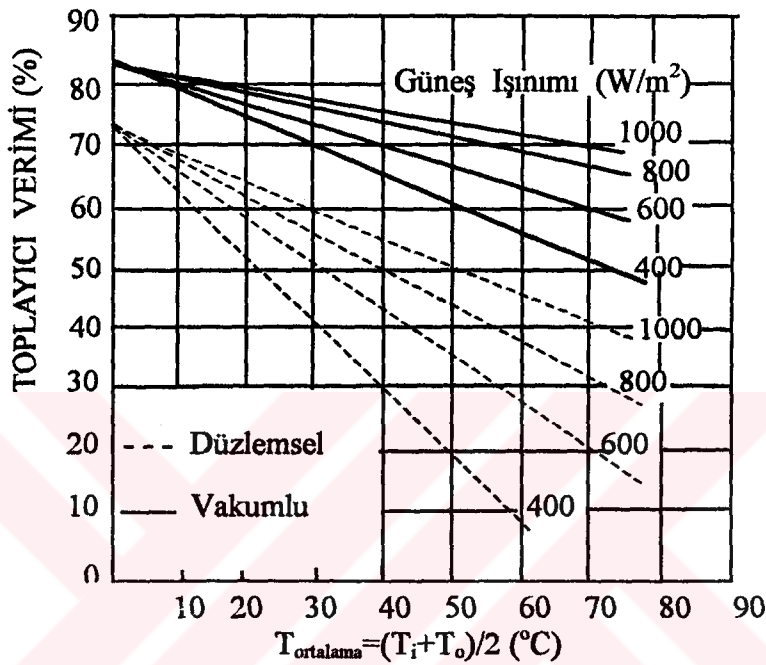
Şekil 5.7. Çeşitli Kollektörlerin Enerji Maliyetleri - Yutucu Maliyetleri Arasındaki İlişki.

5.1.2. Yoğuşturucu Tüpler Tip - Vakumlu Güneş Kollektörleri

Klasik düzlem toplayıcılar, genellikle seçici siyah emici bir levha ile bunu dış etkilere koruyan bir kasadan ibarettir. Kasanın ön yüzünde bir veya iki cam, arkasında da klasik bir kaplama malzemesi bulunur. Bu tip toplayıcıların verimi, ısı ve optik kayıplara karşı korunma derecelerinin bir fonksiyonu olarak belirir. Yüksek sıcaklık dereceleri bahis konusu olduğundan, alınan önlem ne olursa olsun bu kayıplar önemli boyutlara ulaşır.

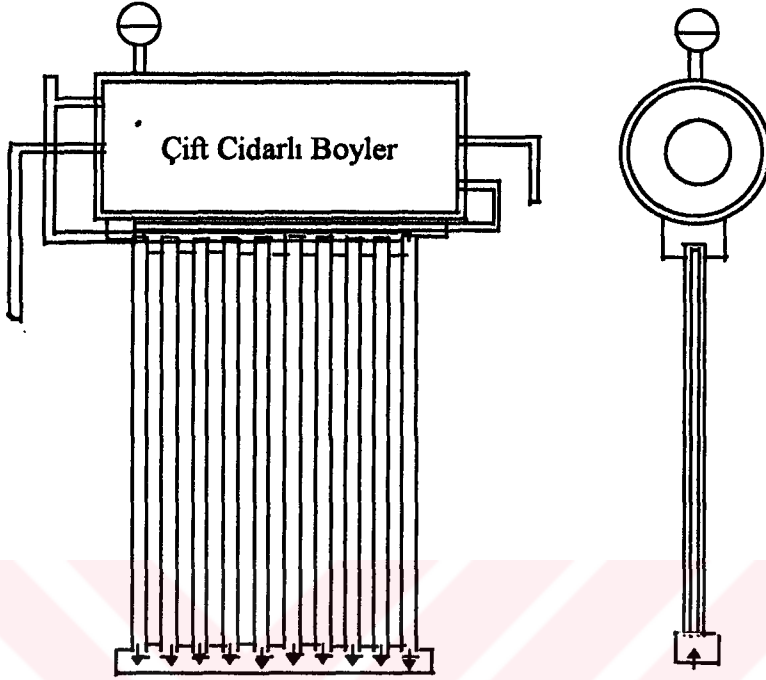
Yoğuşturucu tüpler tipli vakumlu güneş kolektörlerinde ise, iletim ve taşınım kayıpları vakumdan dolayı tamamen ortadan kaldırılmıştır. Işınım kayıpları ise, en aza indirilmiştir. Yüksek performans sağlamak için, her türlü hava şartlarında bir tek cam yeterli olmaktadır. Böylece optik kayıplar azaltıldığı gibi emici levhanın bütününe etrafında çok iyi izolasyon sağlanmış olur. Bu nedenlerle bu tür toplayıcıların verimi, eşit levha alanları söz konusu olduğunda, klasik düzlem

toplayıcılarınkinden iki ile beş defa yüksektir. Dolayısıyla 120 °C - 150 °C gibi yüksek sıcaklıklar elde etmek için yoğunlaştırıcı veya güneş izleyici sistemler kullanmak gerekmez (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. Yoğuşturucu Tüpler Tipli Vakumlu Güneş Kollektörü İle Düzlemsel Kollektörlerde Ortalama Su Sıcaklığı İle Verimin Güneş Işınım Şiddetine Bağlı Olarak Değişimi.

Yoğuşturucu tüpler tipli vakumlu güneş kolektörünün avantajları şunlardır. Tüp içinde sağlanan yüksek vakum, taşınım ve iletim kayıplarını ortadan kaldırmıştır. Dış etkenlere karşı yalıtım yeterli olduğundan ısı ve rüzgar şartları ne olursa olsun yutucu levhanın verimi aynı kalmaktadır. Yapılış özellikleri nedeni ile bu toplayıcı basit taşıyıcı iskelelere kolaylıkla monte edilebilir. Rutubete ve ısıya karşı ek bir yalıtım gerektirmez (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. Yoğuşturucu Tüpler Tipli Vakumlu Güneş Kollektörü

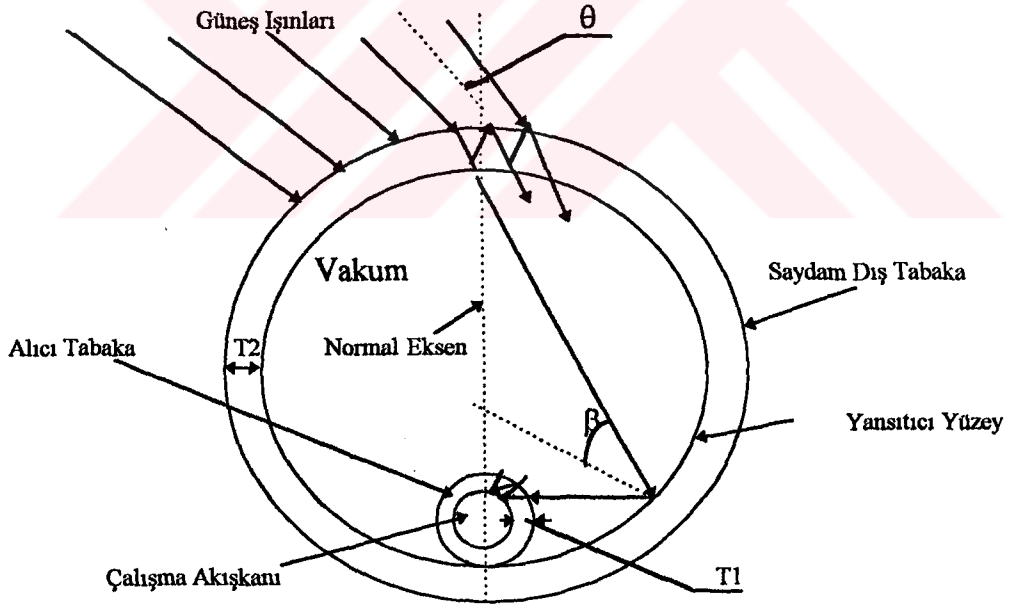
5.1.3. Yoğuşturma Tip - Vakumlu Güneş Kollektörleri

Yoğuşturma tipli vakumlu güneş kollektör sistemi, ışın analizleri ile nümerik olarak araştırılmıştır. Kollektörün optik verimi için, her ışıında alıcı tarafından absorbe edilen enerji miktarı hesaplanır ve tüm ışınlar için enerjinin integrali alınır. Birçok uygulamalarda, 100 °C üzeri, yani orta sıcaklıklarda enerji dağıtımı gerekir. Bu tür kollektörlerin verimi, kollektör tarafından ısı kayıplarının artmasından dolayı bu gibi yüksek sıcaklıklarda düşer. Kayıpları azaltmak için iki metod vardır. İki metodun da aynı anda sistemde uygulanması gerekmektedir.

1-) Küçük bir alıcı üzerine güneş radyasyonu yoğunlaştırma. Böylece, bölgede ısı kaybında düşme meydana gelebilir.

2-) Yutucu etrafındaki bölgenin havasının alınması. Böylece konveksiyon kayıpları en aza indirilmiş olur.

Bu tür silindiriksel yoğunlaştırıcı, ilk önce Tabor tarafından teklif edilmiştir ve daha sonra, Gerich tarafından İngilterede, Lawrence Livermore Laboratuvarlarında araştırılmıştır. Ayrıca bu tür kollektörlerde bir yayıcı da kullanılır. Tabor'un kollektörünün en dış silindir çapı 1,5 m ve Livermore'un ise 1,0 m'dir. Eğer, kollektör ebadı küçültülseydi, vakum en dış örtü silindir ve en iç alıcı arasında kolayca korunabilirdi. Böylece konveksiyon kayıpları azaltılabilirdi. Örtü ve alıcı arasındaki boşlukta havası alınmış böyle bir düzenleme, bu çalışmada araştırılmıştır. Kollektörün bir kesiti şekilde gösterilmiştir (Saltiel ve Sokolov, 1982) (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Yoğuşurma Tipi Vakumlu Güneş Kollektörü Kesiti

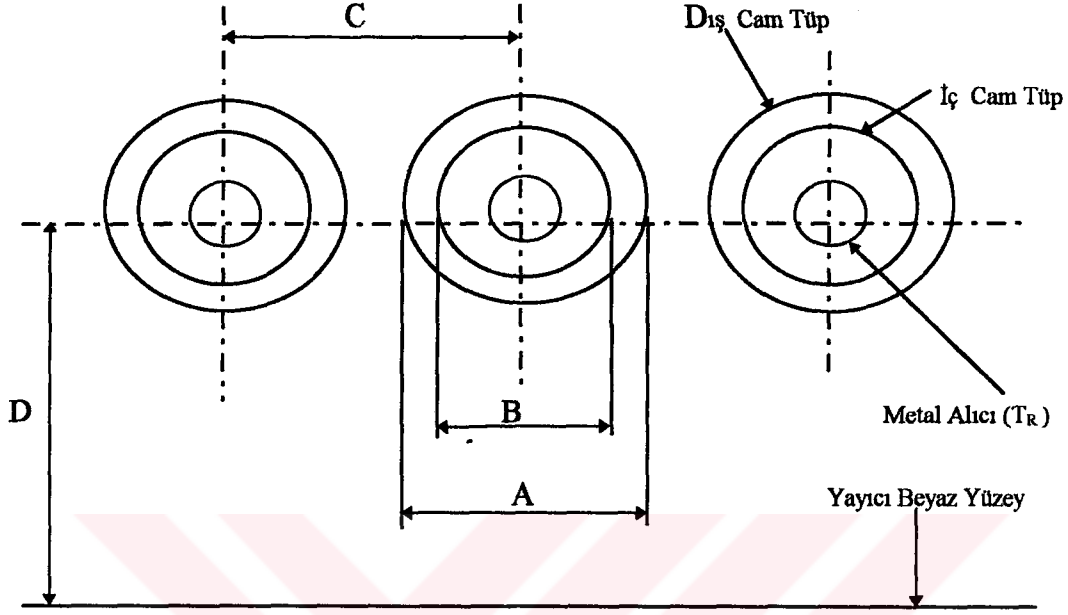
5.1.4. Vakum Borulu Arka Alıcı Yüzey Tip - Vakumlu Güneş Kollektörleri

Bu tip vakumlu güneş kolektörleri, üç ayrı enerji taşıma yöntemi ile karakterize edilir. Bunlar, güneş enerjisi soğurma, çevreye termal enerji kaybı ve kullanılan ısıdır. Isı akışında içerilen fiziksel yöntemler oldukça karışık olabilir. Genelde, kolektörün çeşitli bölümlerinin sıcaklıkları üniform değildir ve ısı transfer yöntemlerinin bazıları sıcaklığa bağlı olabilir.

Bu tip vakumlu güneş kolektörlerine bir örnek, Schmid, Collins ve Dailthorpe adlı araştırmacılar tarafından yapılmış bir kolektör dizaynı verilebilir. Yapılmış olan çalışma, havası alınmış tüpsel kolektörlerde enerji taşıma yöntemleri ile ilgilidir. Deneysel çalışma, Dewar-tip kolektörler üzerinde yapılmıştır ve bir teorik analiz, bu sistem için geliştirilmiştir.

Bu sistemde, bir seçici yüzey, en içteki cam tüpün yüzeyinde tabakalandırılmıştır. Seçici yüzey tarafından yutulan enerji, içteki tüp üzerine yerleştirilmiş bir ısı alma sistemi ile taşınmalıdır. Böyle sistemler, önde gelen firmalar tarafından benimsenmiştir. Örneğin; Sunmaster, General Electric firmaları gibi...

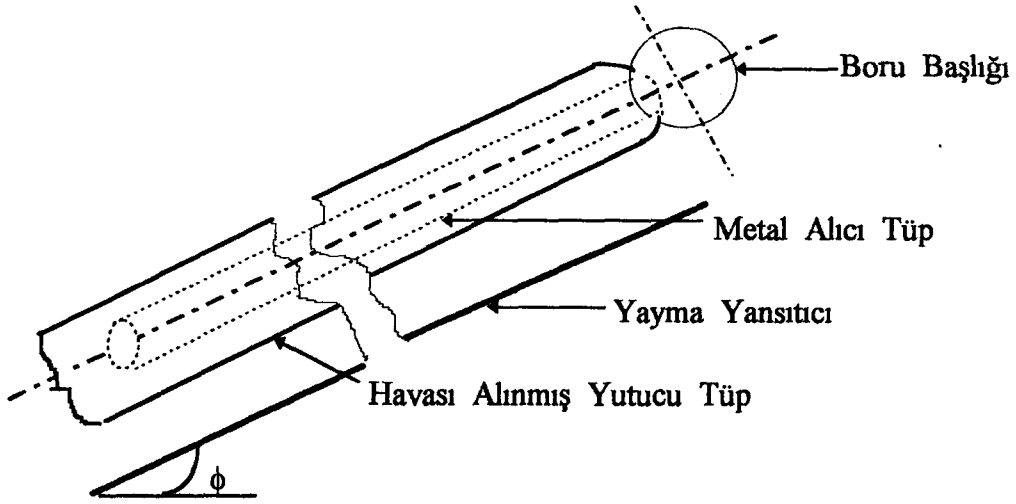
Birçok farklı ısı alma sistemleri, bu tip kolektörde kullanılmıştır. Bütün durumlarda, bir ısı transfer akışkanı (sıvısı) kolektör içinde ve dışında akışa sebebiyet verir. Uygun ısı alma sistemlerinin farklı tiplerinin bazıları şekilde gösterilmiştir (Şekil 5.11). Bunlar tüp ve tüp içinde akışkan (sıvı) kanallarından ibarettir. Şekillerde gösterilmeyen diğer ısı alma sistemleri, iki fazlı sistemleri içerir. Örneğin; Sanyo kolektör tüpleri gibi...(Schmid ve ark., 1990).



Şekil 5.11. Vakum Borulu Arka Alıcı Yüzey Tip Vakumlu Güneş Kollektör Sisteminin Geometrik Yapısı

Dewar - tip kollektörlerde, ısıl iletim daha azdır (özel durumlar hariç, örneğin, akışkan (sıvı) - cam sistemleri). Isı, içteki cam tüpün içine ve daha sonra ısı alma kısmının içine transfer edilmelidir. Birkaç tasarımda, bir metal ısı transfer kanatçığı, iki eleman arasındaki hava boşluğunun termal direncini azaltmak için kullanılır.

Bu sistemde yukarıda da bahsedildiği gibi bir ısı alma sistemi bulunmaktadır. Bu sistem, havası alınmış tüplerde konumlandırılmış, sıvı ile doldurulmuş tüplerden ibarettir ve yaygın olan bir montaj tertibatı ile birleştirilmiştir (Şekil 5.12). Birkaç tüp bir yayıcı beyaz yansıtıcı üzerine monte edilmiştir. Bu ısı yer değiştirme sistemi bir akışkan (sıvı) - cam manifolduna benzerdir.



Şekil 5.12. Vakum Borulu Arka Alıcı Yüzey Tip Vakumlu Güneş Kollektörü

Sydney Üniversitesinde, Dewar - tipli kollektör üzerinde çeşitli optiksel durumlar için, havası alınmış tüplerin analizleri yapılmıştır (Schmid ve ark., 1990).

Seçici yüzey ve metal ısı alıcı sistem arasındaki ısı transferi şöyle açıklanabilir. Üç ısı transfer yöntemi, seçici yüzey ve metal arasında enerjinin yer-değiştirmesini gerçekleştirebilir. Bunlar iletim, konveksiyon ve radyasyondur.

Seçici yüzeyi taşıyan içteki cam tüpe karşı sıcaklık düşmesi, örneğin 45 W/tüp olan maksimum ısı akışı için, $0,5^{\circ}\text{C}$ 'den daha azdır. Bu sıcaklık farkı, havası alınmış tüpün enerji kayıplarının hesaplanmasındaki hataları ihmal edilmesiyle giderilebilir.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Yüksek verim elde etmek amacıyla vakumlu güneş kolektörleri üzerine çalışılmıştır. Bu çalışmada, Adana ilinde ısı kazancının en yüksek olduğu gün olan 23 Temmuz için vakumlu güneş kolektörden dış ortama anlık ısı kaybı ve verim grafikleri elde edilmiştir. 23 Temmuz günü için saat 10:00, 11:00, 12:00, 13:00 ve 14:00 'deki çevre sıcaklıkları tespit edilmiştir. Vakumlu güneş kolektör verimi ve kolektörden dış ortama olan toplam ısı kaybı; rüzgar hızı, çevre sıcaklığı, yutucu plaka sıcaklığı, toplam ışıyım miktarı ve kolektör tüp - yutucu plaka geometrisi parametrelerine bağlıdır. Vakumlu güneş kolektörlerde; kolektör geometrisi, dış ortam sıcaklığı ve rüzgar hızına bağlı olarak anlık ısı kaybı ve verimin $(T_A - T_S)/I$ ile değişim grafikleri elde edilmiştir. Burada $(T_A - T_S)/I$ oranı, verim ve ısı kaybına bağlıdır ve bu orana bağlı olarak grafikler elde edilmiştir. Tüm grafikler bu orana göre elde edildiğinden parametreler arasında daha gerçekçi bir kıyas yapılabilmektedir.

Kollektör geometrisi, yutucu plaka ve kolektör dış cam tüp geometrilerinden meydana gelmiştir. Yutucu plaka geometrisi; yutucu genişlik, kalınlık ve boy parametrelerine bağlıdır. Kollektör dış cam tüp geometrisi ise; tüp çapı, boyu ve tüp çapı-yutucu arasındaki mesafeye bağlıdır. Grafik eldelerinde, bir parametre değişirken diğer parametreler sabit alınmıştır. Örneğin, yutucu plaka genişliği değişirken diğer parametreler (yutucu plaka boyu, tüp çapı gibi...) sabittir.

Sabit dış ortam sıcaklığında, rüzgar hızının değişmesiyle verim de değişmektedir. Rüzgar hızından ve ışıyımdan dolayı radyasyonla ve konveksiyonla çevreden kolektöre ısı transferi olur. Eşitlik 5.28. den görüldüğü gibi, rüzgar hızı arttığından dolayı Reynolds sayısı artmaktadır. Reynolds sayısı artışı ile, dış ortam ısı transfer katsayısı da artacaktır. Bu durum zorlanmış konveksiyon için Eşitlik

5.27. den görülmektedir. Ayrıca, kollektör dış tüp cam sıcaklığının artmasıyla Eşitlik 5.26. dan görüldüğü gibi serbest konveksiyon için dış ortam ısı transfer katsayısı artacaktır. Dolayısıyla, ısı transfer katsayısının artmasıyla kollektörden çevreye ısı kaybı artacaktır. Isı kaybı artışı verimin düşmesine neden olur. Rüzgar hızı arttığından çevreden kollektöre konveksiyonla ısı transferinde bir azalma görülür ve bundan dolayı kollektörün performansı düşer. Şekil 5.13. de, saat 10:00 'da 31,6 °C sabit çevre sıcaklığında rüzgar hızının artmasıyla kollektör veriminin düştüğü görülmektedir. Rüzgar hızının 5 m/sn olduğu durumda kollektör verimi en düşük, rüzgar hızı 1 m/sn olduğunda ise verim en yüksek değerine sahip olmaktadır. Şekil 5.14. de, rüzgar hızının 5 m/sn olduğu durumda kollektörden dış ortama ısı kaybının en fazla, rüzgar hızı 1 m/sn olduğunda ise ısı kaybının en az olduğu durum görülmektedir. Şekil 5.15. de saat 14:00 'de 37,75 °C sabit çevre sıcaklığında rüzgar hızının artmasıyla yine kollektör veriminin düştüğü görülmektedir. Şekil 5.16. dan görüldüğü gibi, rüzgar hızının artmasıyla kollektörden dış ortama ısı kaybı artar.

Sabit rüzgar hızında, çevre sıcaklığının artmasıyla dış ortamdan kollektör cam tüp üzerine konveksiyonla ve radyasyonla daha fazla ısı transferi olacaktır. Bundan dolayı kollektörün ısı kazancı arttığından verim yükselir. Şekil 5.17. den görüldüğü gibi sabit 1 m/sn rüzgar hızında çevre sıcaklığı artmasıyla kollektör verimi artmaktadır ve saat 14:00 'de tespit edilen 37,75 °C 'lik çevre sıcaklığı en yüksek verimi sahip olmaktadır. Saat 10:00 'da 31,6 °C çevre sıcaklığında ise kollektör verimi en düşüktür. Şekil 5.18. den görüldüğü üzere, sabit 2 m/sn rüzgar hızında çevre sıcaklığı artışı ile yine sistem veriminin yükseldiği görülmektedir.

Kollektörün geometrisini şu şekilde inceleyebiliriz:

Yutucu plaka boyu artmasıyla yutucu plakanın yüzey alanı artacaktır. Bu durumda, iletim ile ısı kaybı artacağından yutucu yüzey sıcaklığı fazla olur. Şekil

5.19. dan görüldüğü gibi yutucu boyu arttıkça verim düşmektedir. Şekil 5.20. de ise yutucu boyu arttıkça kollektörden ısı kaybının arttığı durum görülmektedir.

Yutucu plaka genişliği artmasıyla, yine yutucu boyunda olduğu gibi yutucu plakanın yüzey alanı artacaktır. Şekil 5.21. den görüldüğü gibi, yutucu plaka yüzey alanının artmasıyla yutucu yüzey sıcaklığı artışından dolayı daha fazla ısı kaybı meydana gelir ve kollektör verimi düşer. Şekil 5.22. de ise kollektörden dış ortama olan ısı kaybı görülmektedir.

Kollektör çapı arttıkça , dış cam tüpten yutucu plakaya ışıınımdan, çevre sıcaklığından ve rüzgar etkisinden dolayı radyasyonla ve konveksiyonla ısı transferi artar. Bundan dolayı sistem veriminde bir artış olur. Şekil 5.23. de bu durum görülmektedir. Şekil 5.24. de ise, kollektör çapı artmasıyla kollektörden dış ortama daha az ısı kaybının olduğu görülmektedir.

Yutucu plaka kalınlığının artmasıyla ısı direnç artar. Isıl direnç arttığından dolayı sisteme olan ısı kazancı azalır, dolayısıyla sistemden dış ortama ısı kaybı artar ve bu da Şekil 5.25. den de görüldüğü gibi kollektör veriminin azalmasına neden olmaktadır. Şekil 5.26. de ise yutucu plaka kalınlığı arttıkça ısı kaybının arttığı durum görülmektedir. Ayrıca duvar kalınlığı arttıkça yutucu plakadan akışkana iletim ile daha az ısı transferi olacağından yutucu yüzey sıcaklığı fazla olacaktır ve bu durumda ısı kaybı artma eğilimindedir.

Şekil 5.27. den görüldüğü üzere, dış tüp çapı ve yutucu plaka arasındaki mesafe artmasıyla tüp-yutucu plaka arasında bulunan vakum ortamının geometrisi artar. Vakum ortamına izolasyon bölgesi de denir. İzolasyon durumu artacağından tüpten dış ortama olan ısı kaybı azalmış olur ve kollektör verimi artar.

Şekil 5.28. de, dış tüp çapı ve yutucu plaka arasından bulunan belirli bir vakum gazının ısı iletim katsayısını incelediğimizde, verimin $(T_A - T_S)/I$ oranı artışı ile azaldığı görülmektedir. İletim, gaz moleküllerinin birbirlerine temasından ve bu moleküllerin yutucu plakadan dış cam tüpe taşınmasından dolayı gerçekleşir.

Şekil 5.29. da çeşitli vakumlu güneş kolektörlerin teorik çalışmaların karşılaştırılması görülmektedir. Bu grafikte Owens - Illinois kolektör verimi en az görülmektedir. Phillips kolektör verimi, Owens - Illinois verim eğrisinden yüksek, fakat Roberts'in üzerinde çalıştığı kolektör veriminden ($\epsilon_p=0,07$ ve $\alpha_p=0,86$ olduğu anda) düşük olduğu görülmektedir. Bu grafikte, üzerinde çalıştığımız vakumlu güneş kolektör veriminin, $(T_A - T_S)/I$ nın küçük oranlarında diğer vakumlu güneş kolektör verimlerinden yüksek olduğu görülmektedir. $(T_A - T_S)/I$ oranı 0,04 iken verim eğrilerini incelediğimizde şu sonuçlar ortaya çıkmaktadır; bu oranda, üzerinde çalıştığımız sistemin verimi % 78 civarında ve diğer sistemlerin verimine göre en yüksek verime sahip olmaktadır. $\epsilon_p=0,07$ iken, Roberts'in üzerinde çalıştığı kolektörün verimi % 67,5 civarında olmakta, $\epsilon_p=0,21$ iken Roberts'in üzerinde çalıştığı kolektörün verimi ise % 65 - 67,5 arasında görülmektedir. Phillips kolektör verimi ise % 60 - 65 arasında olmaktadır. Son olarak Owens - Illinois kolektörün verimini incelediğimizde, verimin % 50 civarında olduğu görülmektedir. Bu eğrilerde rüzgar hızı 1 m/sn ve çevre sıcaklığı 31,6°C 'dir.

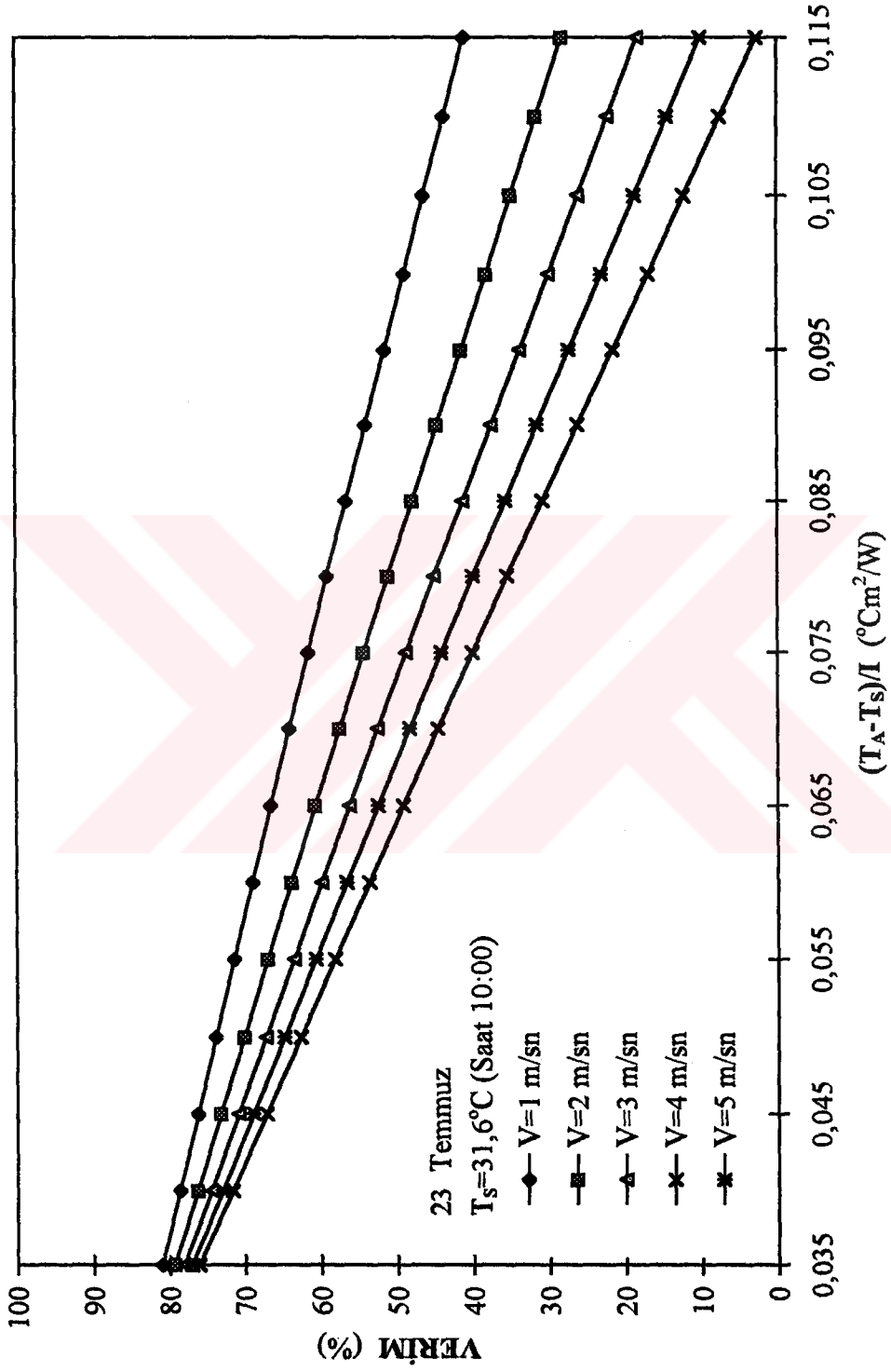
Şekil 5.30. da, düzlemsel ve vakumlu güneş kolektör verim eğrileri karşılaştırılmıştır. Bu eğriler teorik verimler olup, rüzgar hızı 3 m/sn ve çevre sıcaklığı 31,6°C olduğu anda elde edilmiştir. Bu grafikten de görüldüğü gibi, vakumlu güneş kolektör veriminin, küçük $(T_A - T_S)/I$ oranlarında düzlemsel güneş kolektör veriminden yüksek olduğu görülmektedir. $(T_A - T_S)/I$ oranı 0,04

olduğunda, vakumlu güneş kolektör verimi % 75 civarında, düzlemsel güneş kolektör verimi ise % 60 civarında olmaktadır.

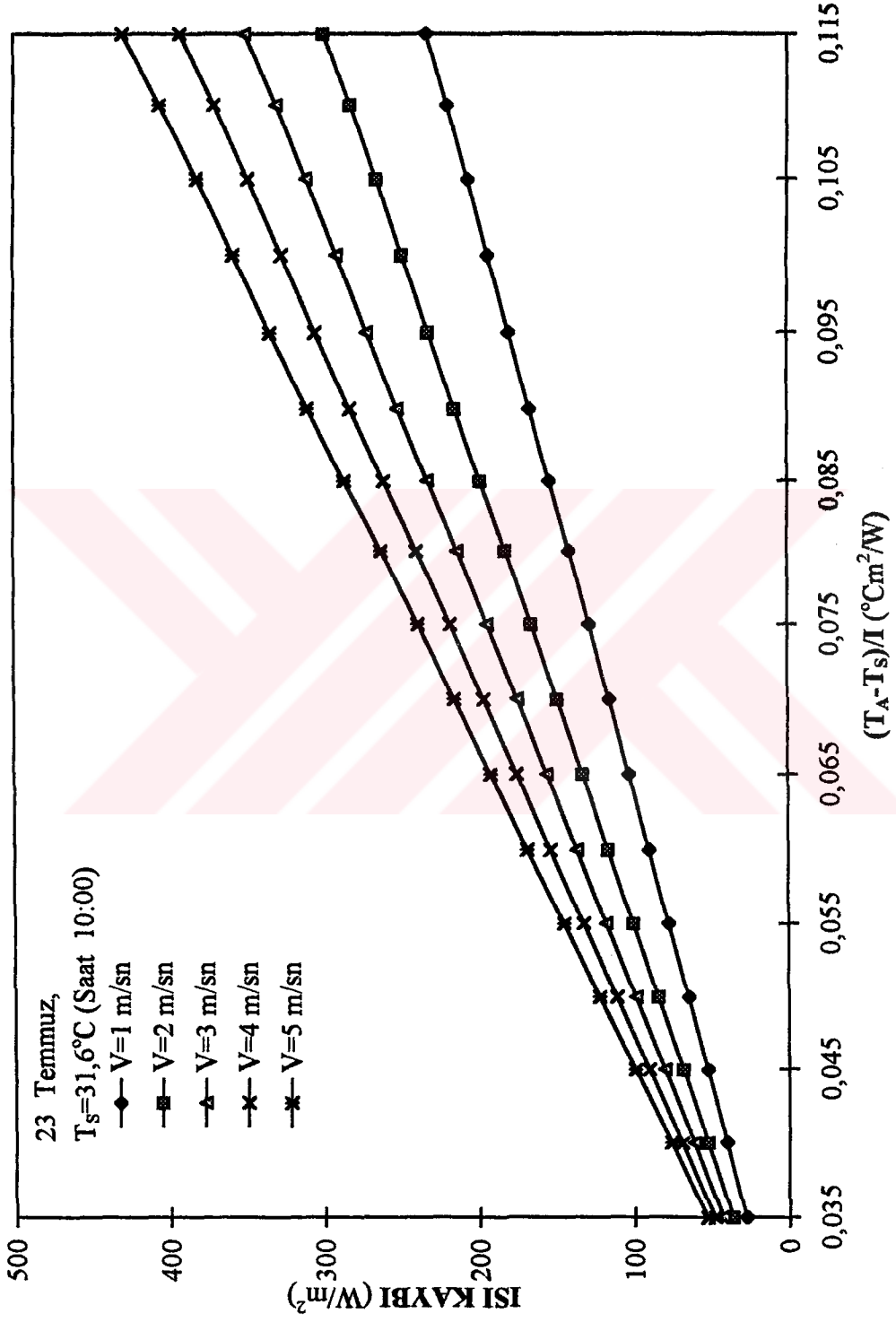
Sonuç olarak, anlık sabit çevre sıcaklık değerleri gözönüne alındığında vakumlu güneş kolektör veriminin rüzgar hızıyla ters orantılı olduğu görülmektedir. Dolayısıyla , kolektörden dış ortama olan toplam ısı kaybı rüzgar hızıyla doğru orantılıdır. Sabit rüzgar hızlarında, anlık çevre sıcaklığı arttığında ısı kaybının azaldığı buna karşılık kolektör veriminin arttığı görülmüştür.

Rüzgar hızı 1 m/sn ve çevre sıcaklığı 31,6 °C (saat 10:00) olduğunda elde edilen grafiğe ait program sonuçları örnek olarak tezin ek kısmına eklenmiştir.

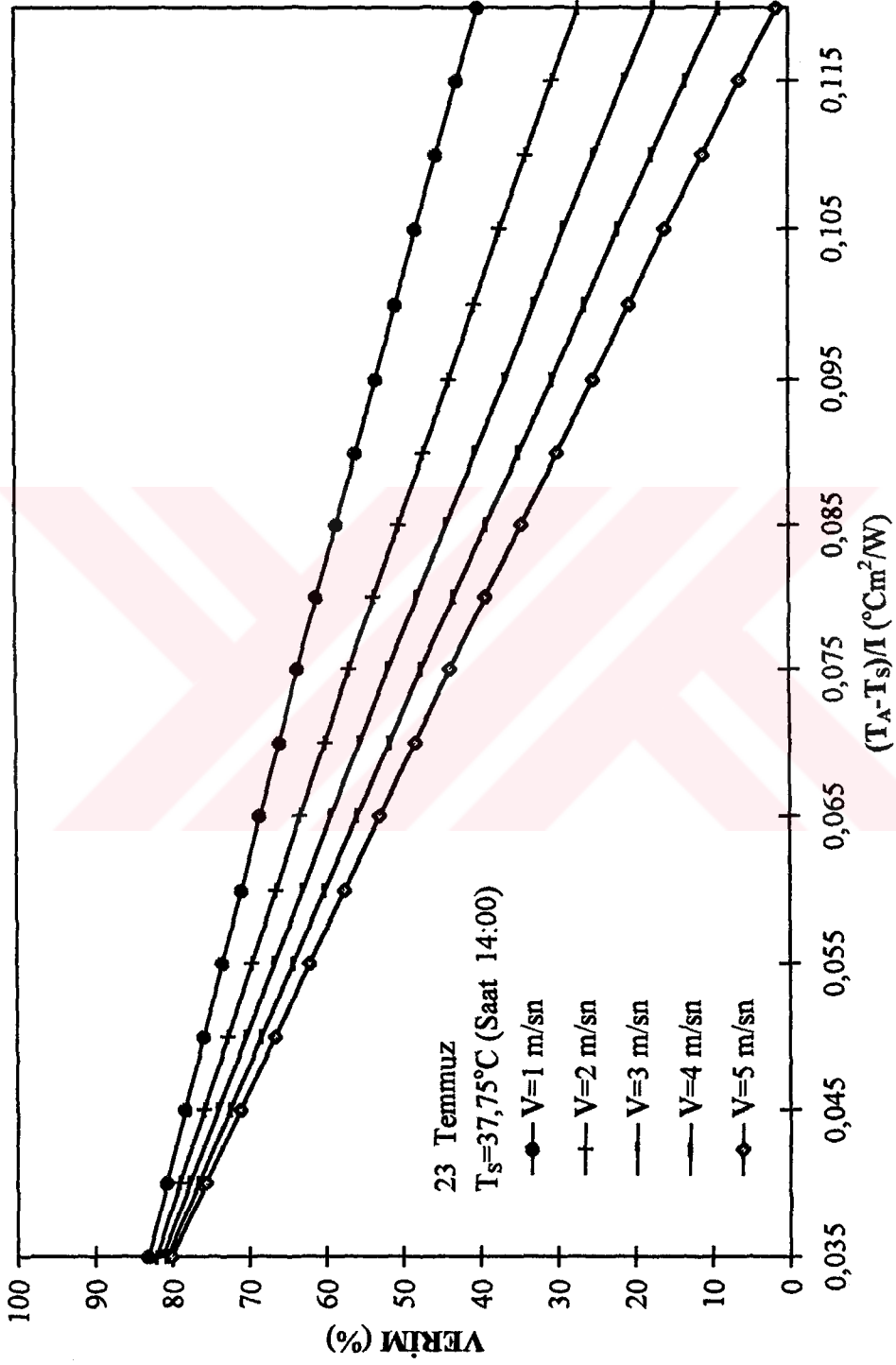
Bu çalışma, Adana ilinde ısı kazancının en yüksek olduğu gün olan 23 Temmuz günü için yapılmıştır..



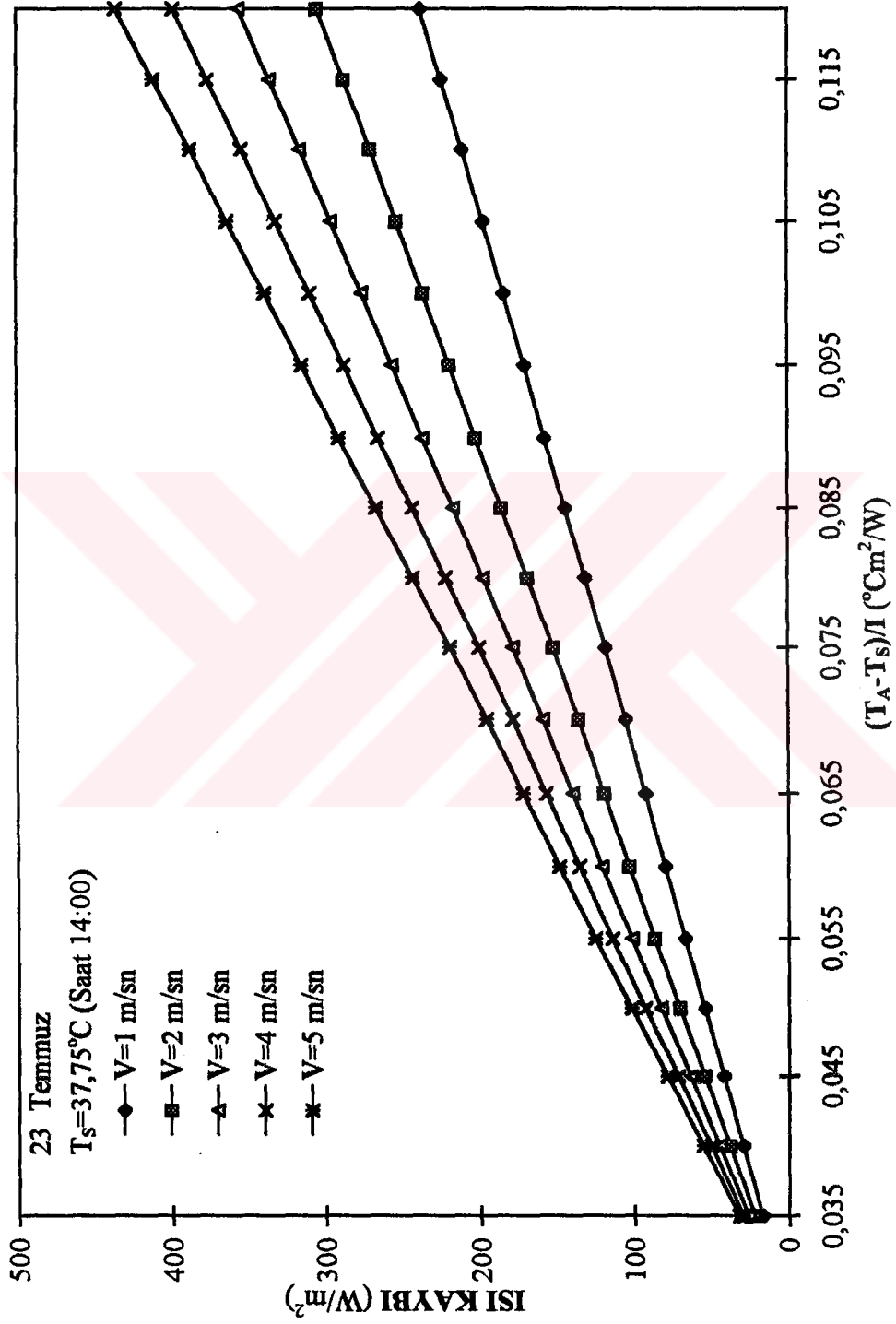
Şekil 5.13. Rüzgar Hızına Bağlı Olarak, Verimin $(T_A - T_S)/I$ İle Değişimi.



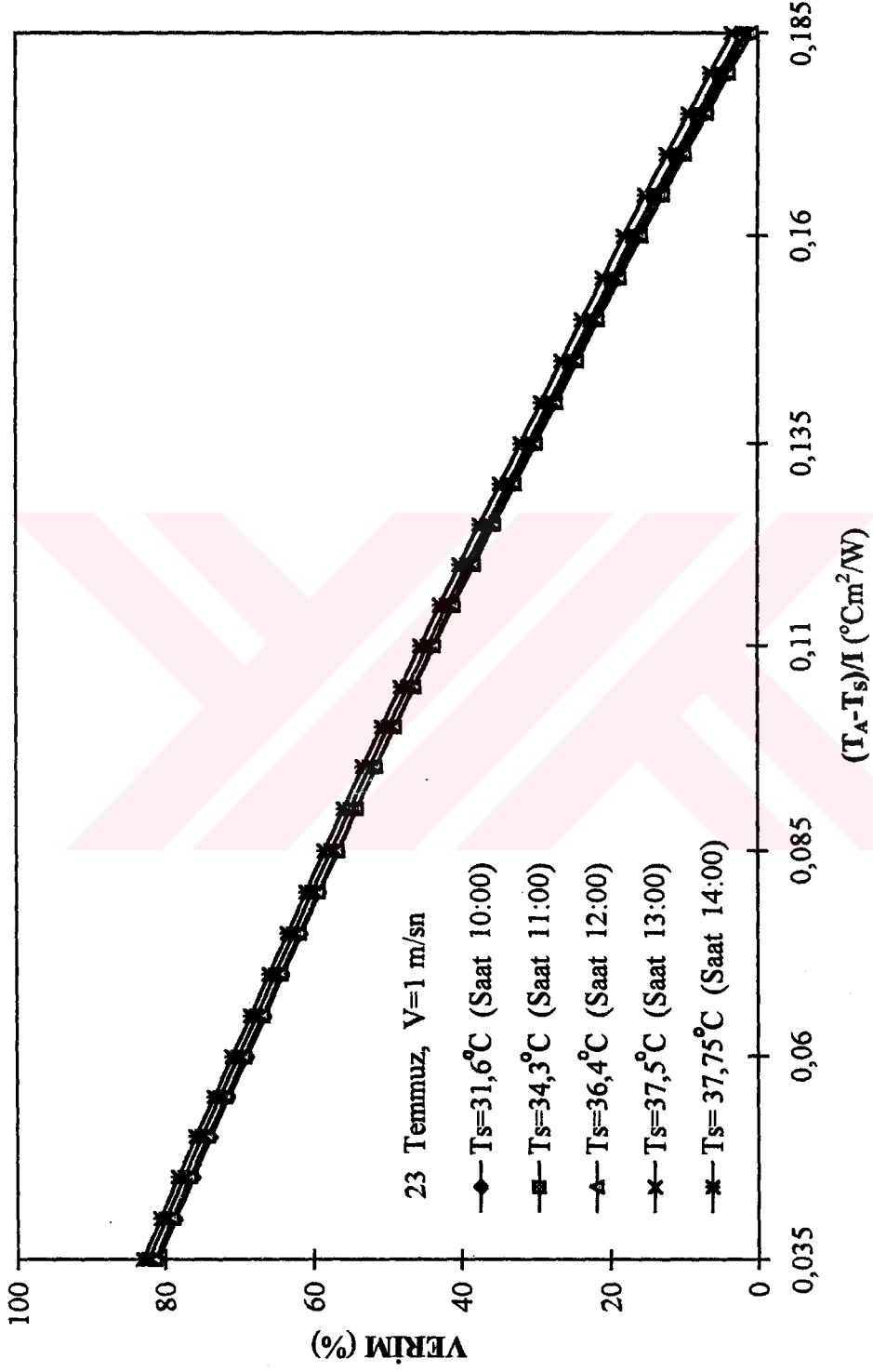
Şekil 5.14. Rüzgar Hızına Bağlı Olarak, Isı Kaybının $(T_A - T_s)/I$ İle Değişimi.



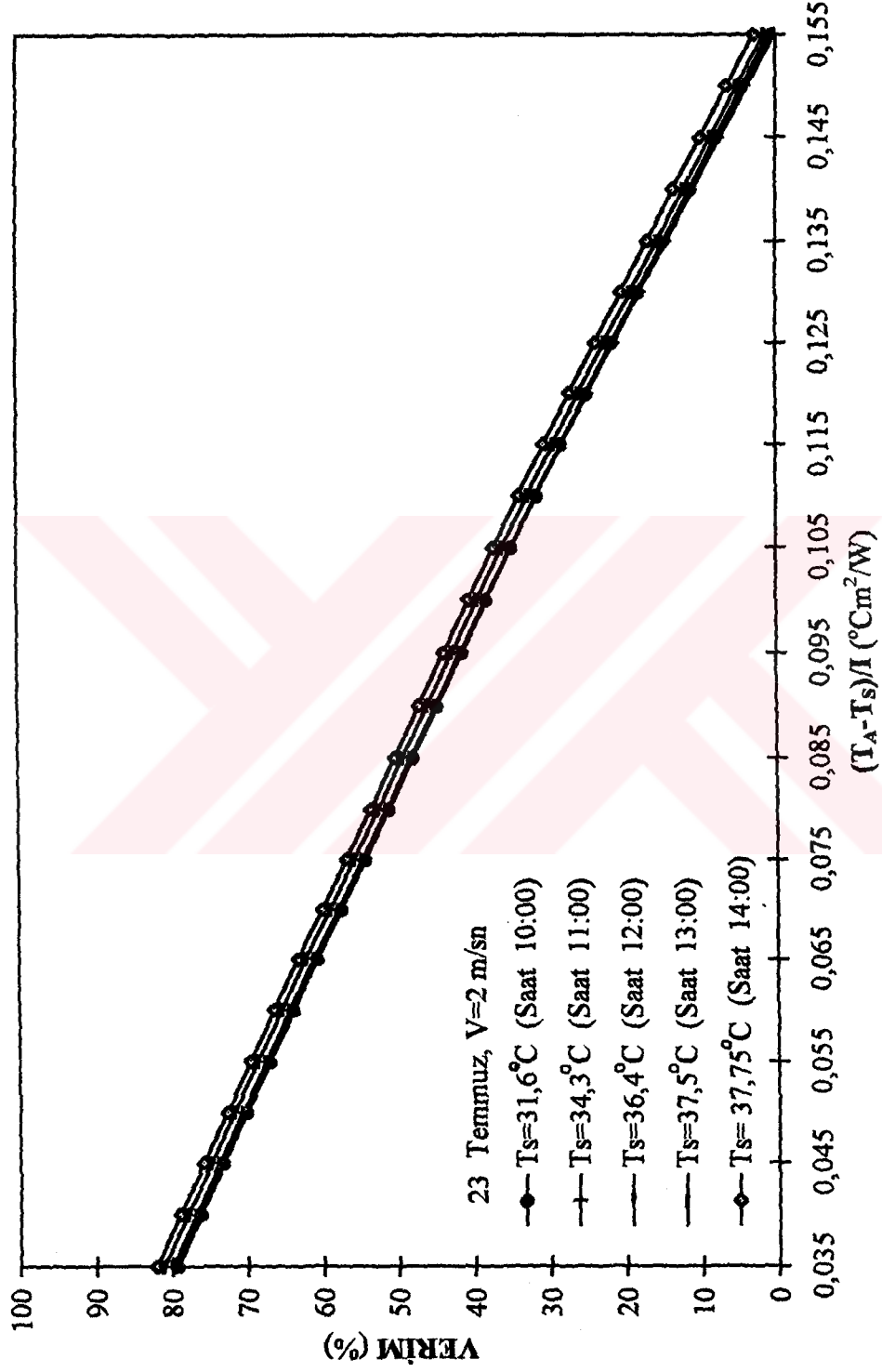
Şekil 5.15. Rüzgar Hızına Bağlı Olarak, Verimin $(T_A - T_S)/I$ ile Değişimi.



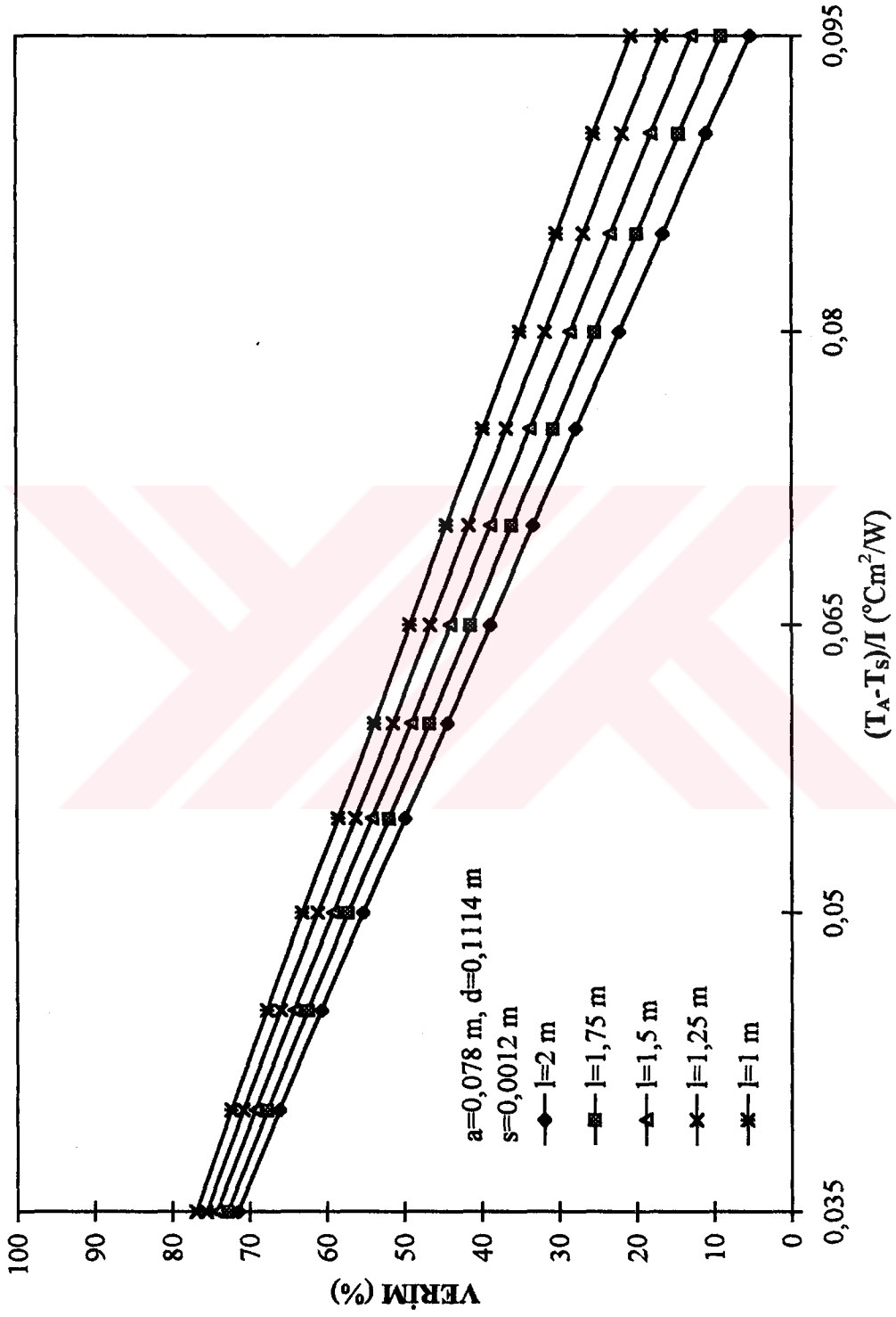
Şekil 5.16. Rüzgar Hızına Bağlı Olarak, Isı Kaybının $(T_A - T_s)/I$ İle Değişimi.



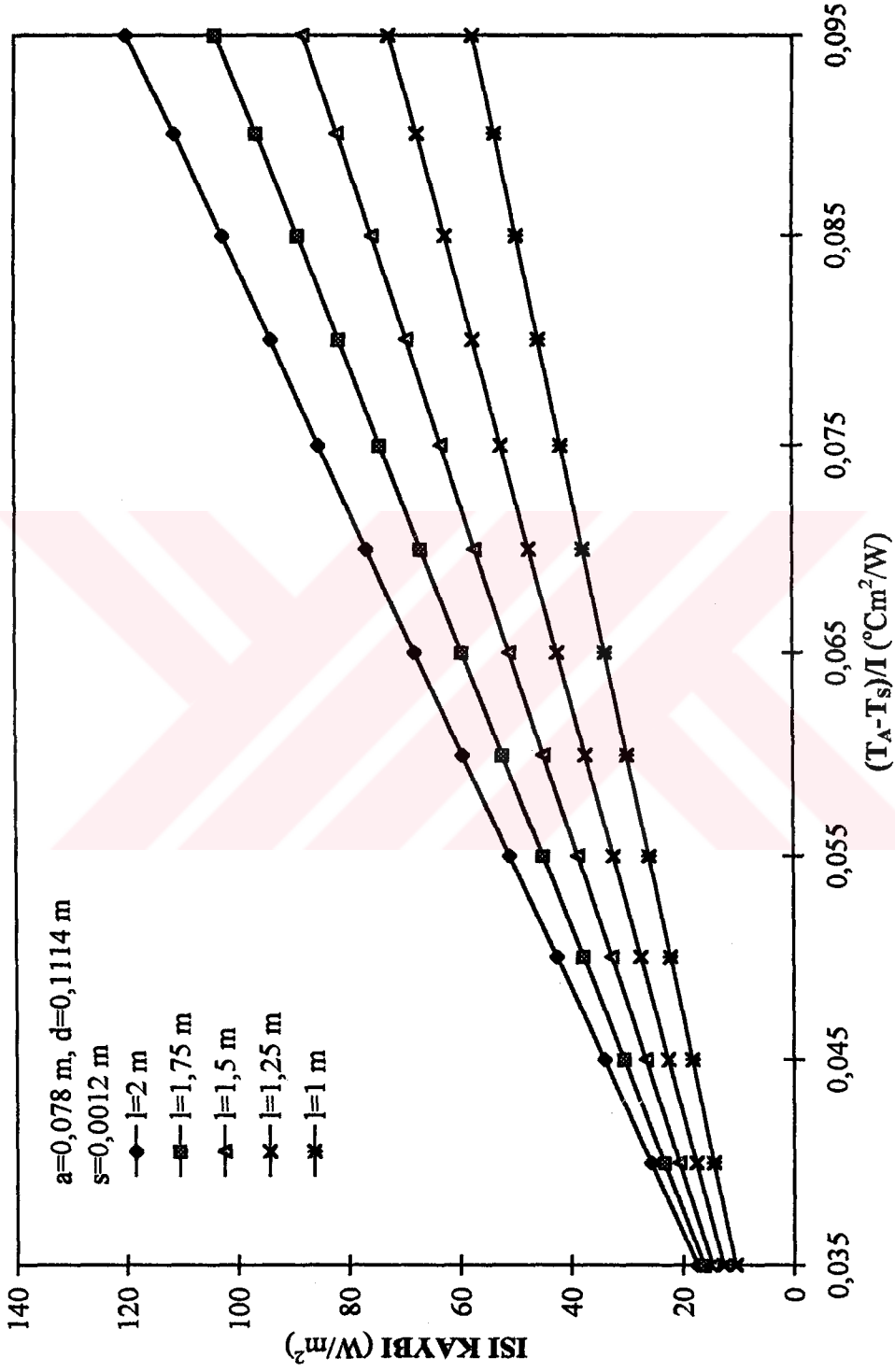
Şekil 5.17. Dış Ortam Sıcaklığına Bağlı Olarak, Verimin $(T_A - T_s)/I$ İle Değişimi.



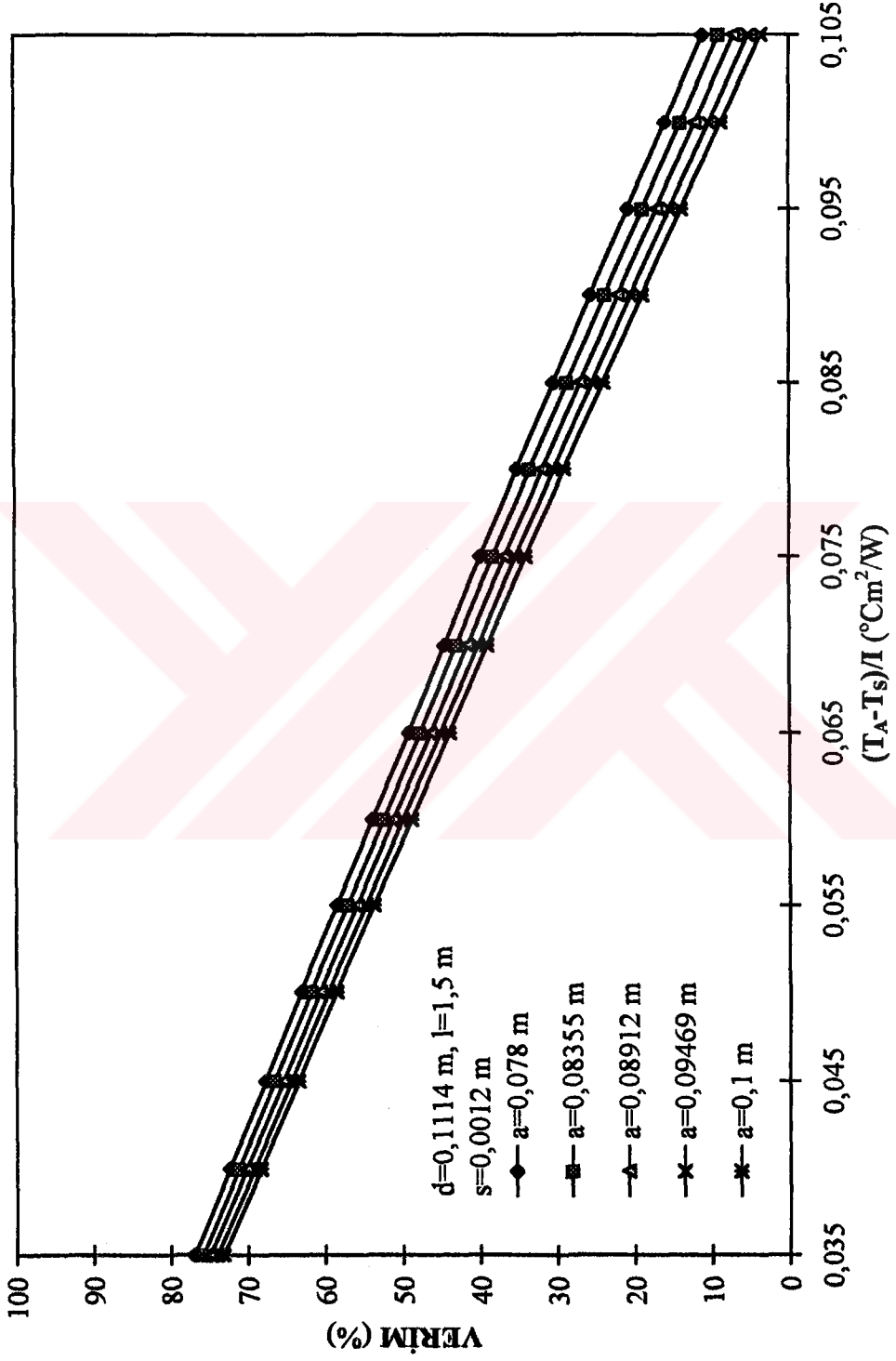
Şekil 5.18. Dış Ortam Sıcaklığına Bağlı Olarak, Verimin $(T_A - T_s)/I$ İle Değişimi.



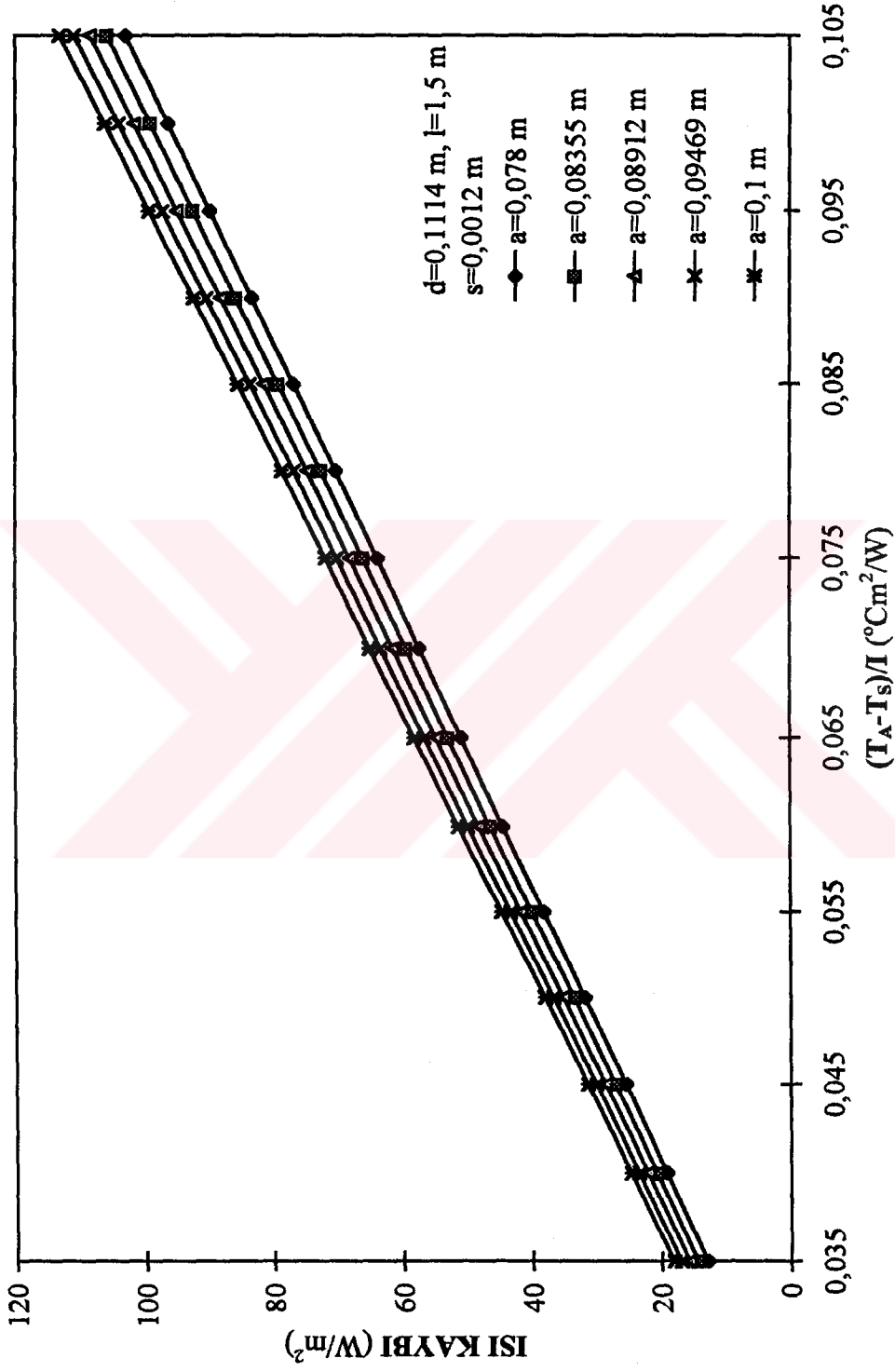
Şekil 5.19. Yutucu Plaka Boyuna Bağlı Olarak, Verimin $(T_A - T_s)/I$ İle Değişimi.



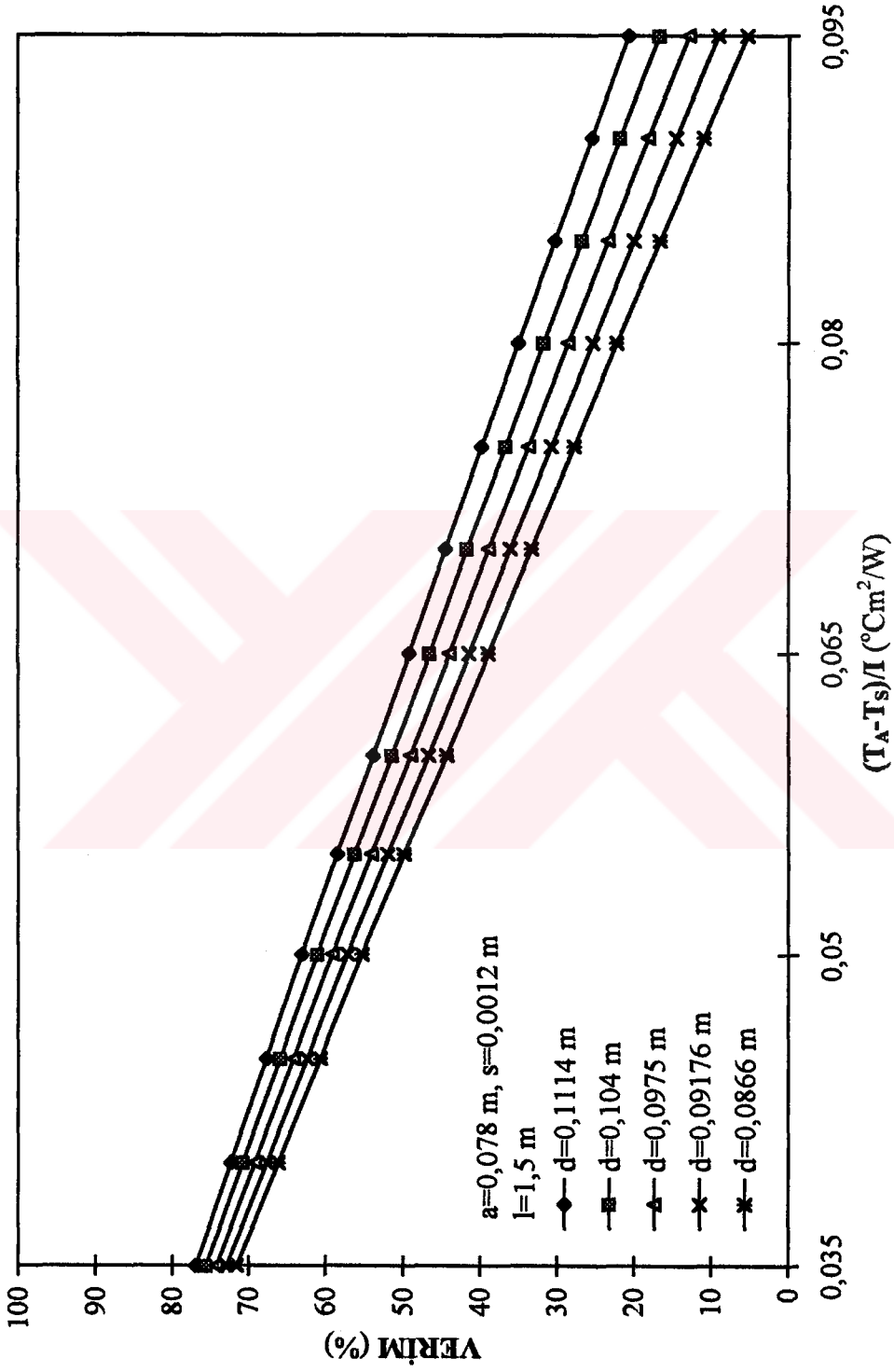
Şekil 5.20. Yutucu Plaka Boyuna Bağlı Olarak, Isı Kaybının $(T_A - T_s)/I$ İle Değişimi.



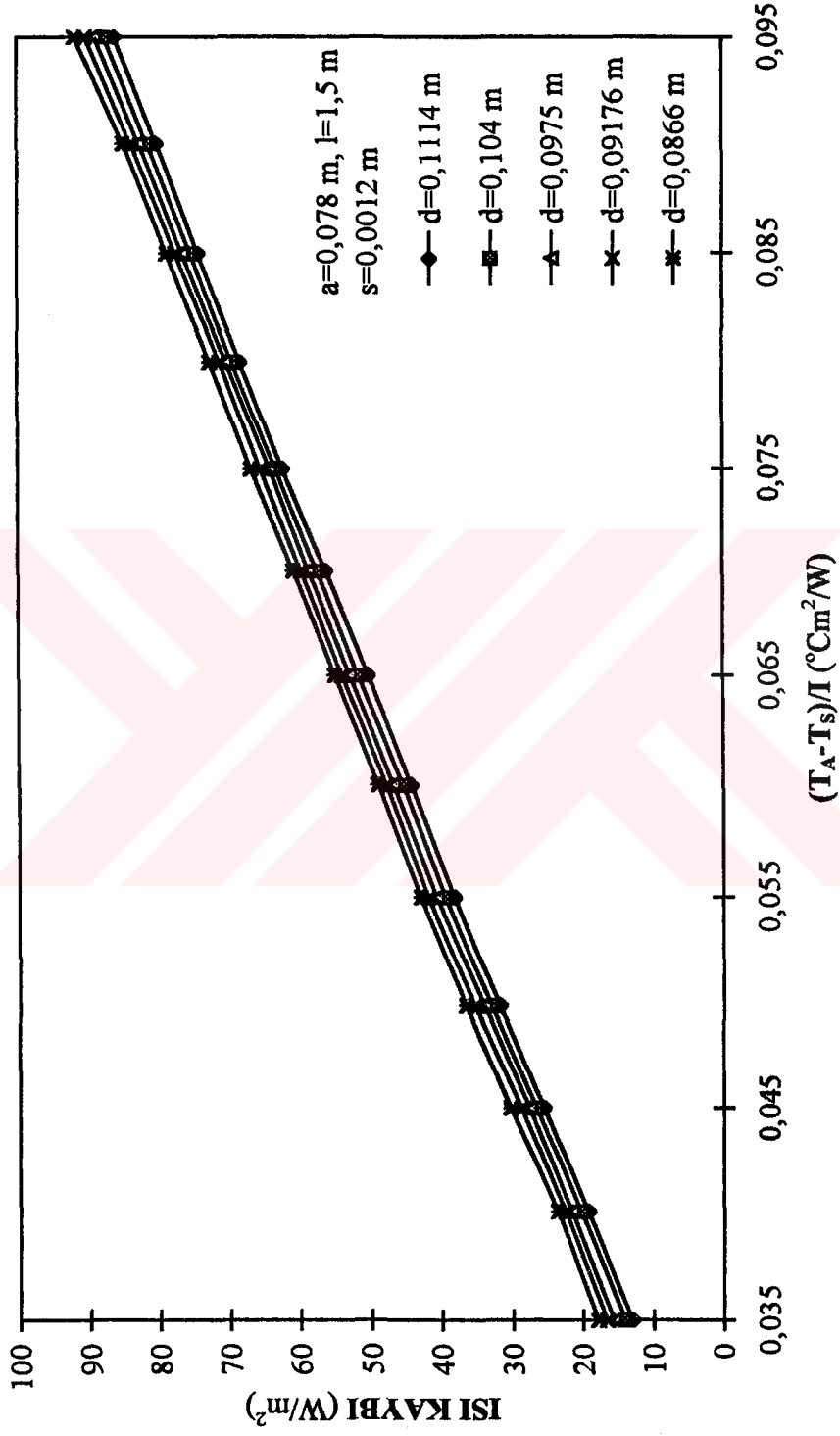
Şekil 5.21. Yutucu Plaka Genişliğine Bağlı Olarak, Verimin $(T_A - T_s)/I$ İle Değişimi.



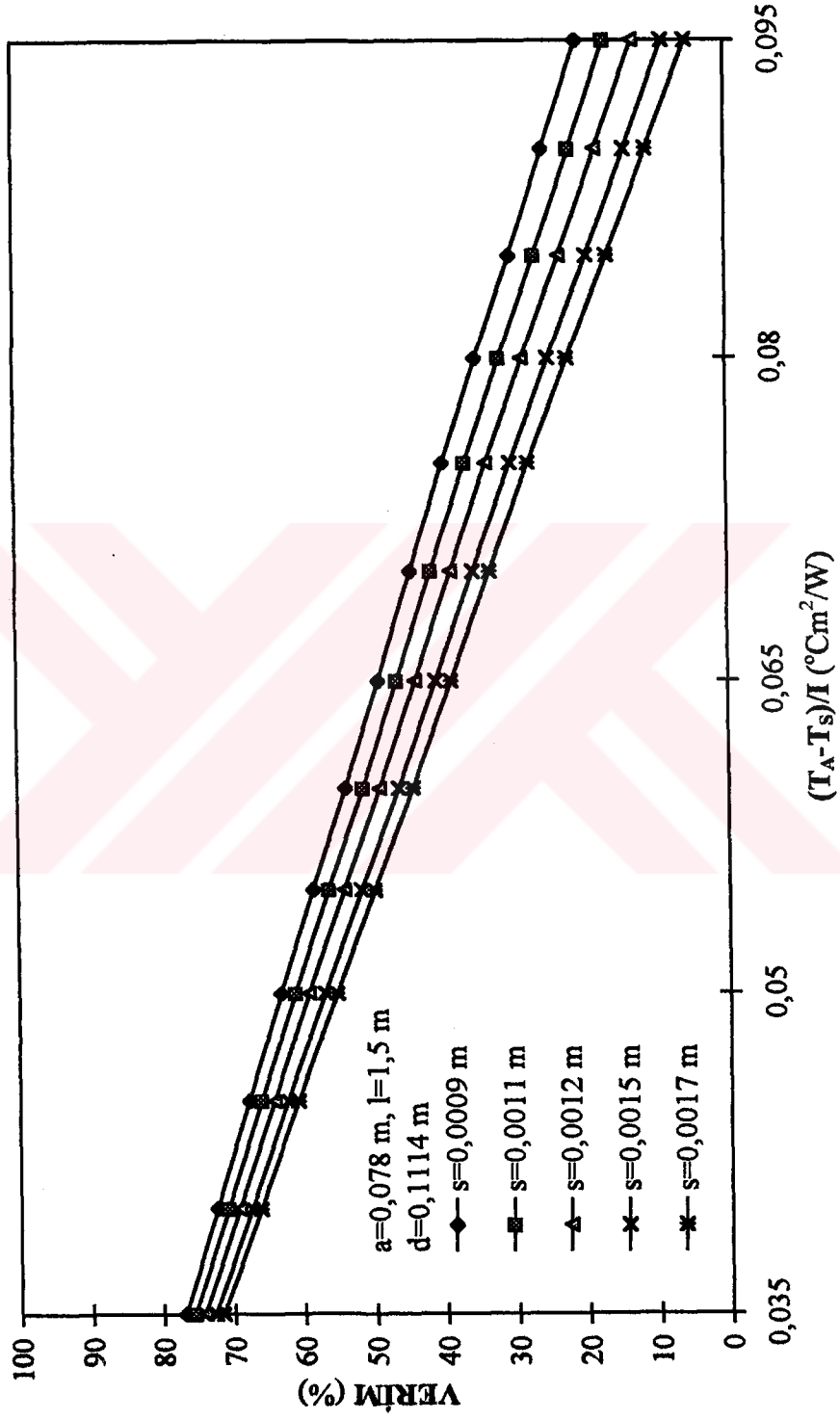
Şekil 5.22. Yutucu Plaka Genişliğine Bağlı Olarak, Isı Kaybının $(T_A - T_s)/I$ İle Değişimi.



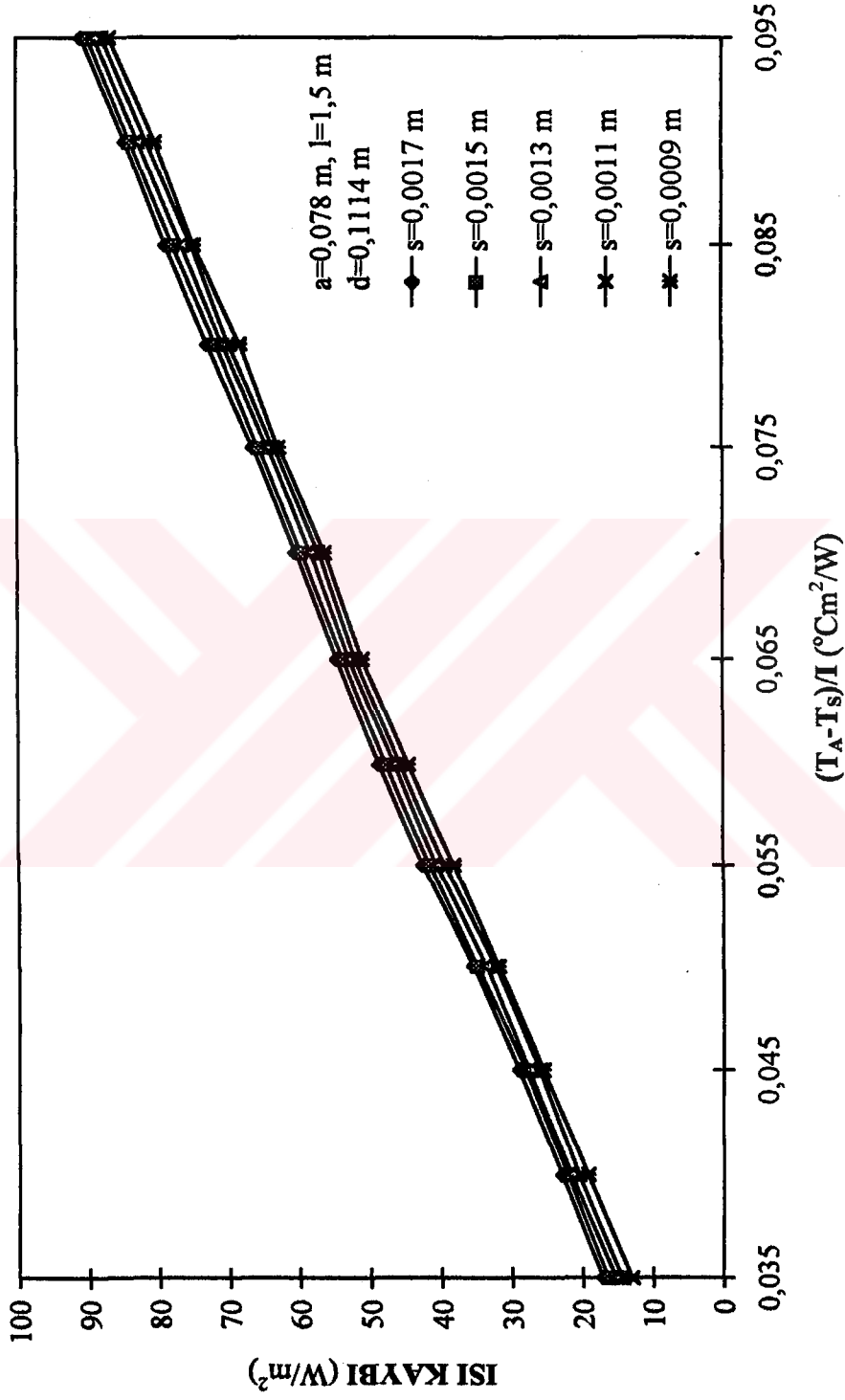
Şekil 5.23. Kollektör Tüp Çapına Bağlı Olarak, Verimin $(T_A - T_s)/I$ İle Değişimi.



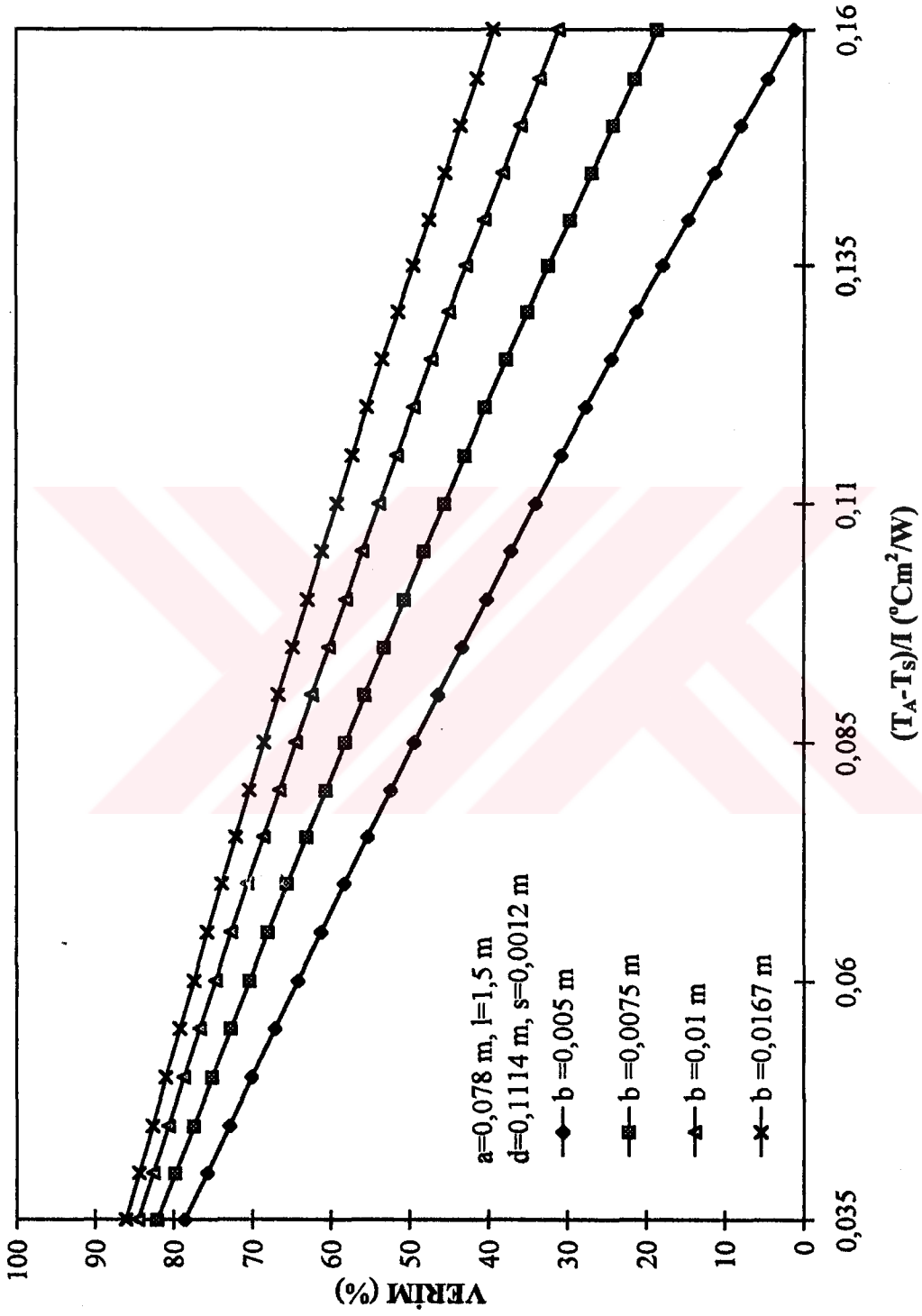
Şekil 5.24. Kollektör Tüp Çapına Bağlı Olarak, Isı Kaybının $(T_A - T_s)/I$ İle Değişimi.



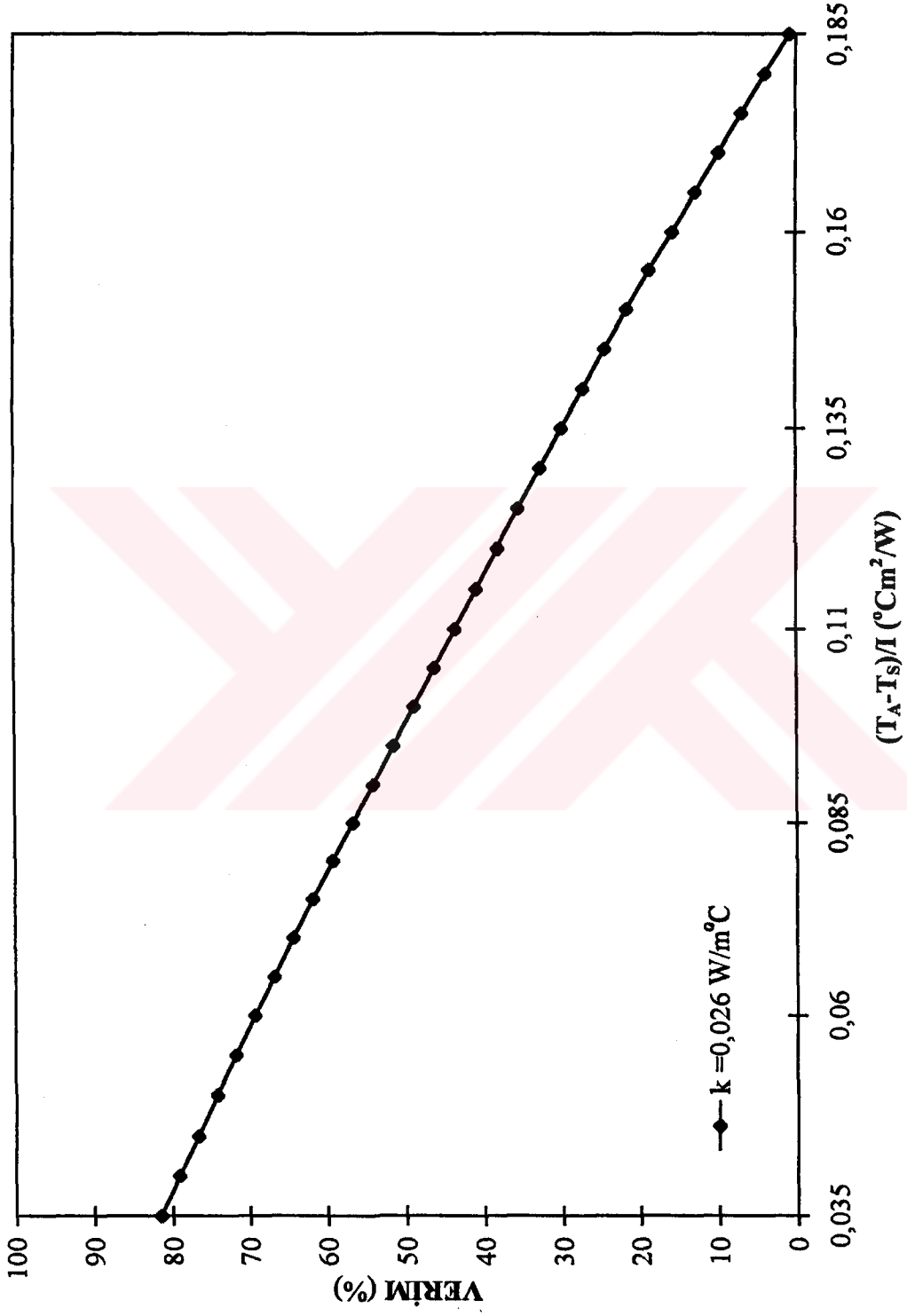
Şekil 5.25. Yutucu Plaka Kalınlığına Bağlı Olarak, Verimin $(T_A - T_s)/I$ İle Değişimi.



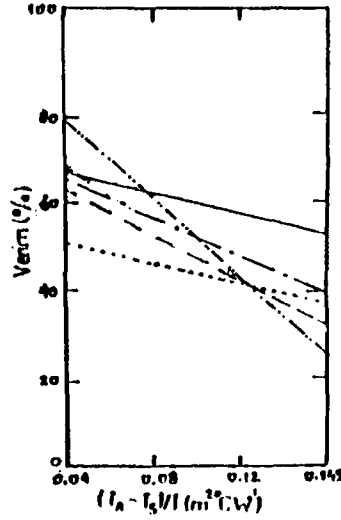
Şekil 5.26. Yutucu Plaka Kalınlığına Bağlı Olarak Isı Kaybının, $(T_A - T_s)/I$ İle Değişimi.



Şekil 5.27. Dış Tüp Çapı - Yutucu Plaka Arasındaki Mesafeye Bağlı Olarak, Verimin $(T_A - T_s)/I$ İle değişimi.

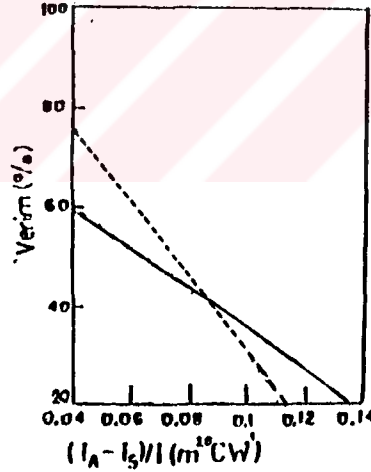


Şekil 5.28. Belirli Vakum Gazı Isı İletim Katsayısında, Verimin $(T_A - T_s)/I$ İle değişimi.



Şekil 5.29. Vakumlu Güneş Kollektör Verim Eğrilerinin Karşılaştırılması.

- Owens - Illinois Kollektör Verimi.
- Phillips Kollektör Verimi.
- Roberts'in Üzerinde Çalıştığı Kollektörün Verimi ($\epsilon_p=0,21$, $\alpha_p=0,90$ iken).
- Roberts'in Üzerinde Çalıştığı Kollektörün Verimi ($\epsilon_p=0,07$, $\alpha_p=0,86$ iken).
- Üzerinde Çalıştığımız Kollektörün Verimi ($V=1\text{ m/Sn}$).



Şekil 5.30. Üzerinde Çalıştığımız Vakumlu Güneş Kollektör Verimi ile Düzlemsel Güneş Kollektör Veriminin Karşılaştırılması ($V=3\text{ m/sn}$, $T_s=31,6^\circ\text{C}$).

- Üzerinde Çalıştığımız Güneş Kollektörün Verimi.
- Düzlemsel Güneş Kollektör Verimi.

SONUÇLAR

Enerji insanlığın en büyük ihtiyacıdır ve hemen hemen kullandığımız her türlü enerjinin kaynağı güneştir. Özellikle ısı gerektiren işlemler için güneş enerjisinin direk kendisinden yararlanmak oldukça ekonomik sayılır. Klasik enerji kaynaklarının sınırlı olması yeni enerji kaynaklarının bulunmasını zorunlu kılmıştır. Güneş enerjisi ucuz, temiz ve tükenmeyen bir kaynak olması nedeniyle en önemli alternatif sayılmaktadır. Bu nedenle güneş enerjisinden yararlanmak için çok değişik teknolojiler geliştirilmektedir. Bundan dolayı güneş kolektörleri kullanımı büyük önem kazanmaktadır. Yüksek verim tespiti amacıyla vakumlu güneş kolektörleri üzerinde çalışılmıştır.

Vakumlu güneş kolektörlerinin, düzlemsel güneş kolektörlerine göre avantajları ve dezavantajları şöyledir.

Vakumlu güneş kolektörlerinin avantajları şunlardır;

- İletim ve taşınım kayıpları vakum etkisinden dolayı en aza indirilmiştir. Bunlara ek olarak ışıınım kayıpları da minimum seviyeye getirilmiştir.
- Her türlü hava şartlarında bu tür kolektörlerde tek bir cam yeterli olmaktadır. Tek cam kullanıldığından optik kayıpların azalması yanında, levhanın bütününün etrafında çok iyi izolasyon yapılmış olur.
- Yüksek sıcaklıklar elde etmek için bu tür kolektörlerde güneş izleyici veya yoğunlaştırıcı sistemler kullanmak gerekmez.
- Yapılış özellikleri itibariyle bu tür kolektörler basit taşıyıcı iskelelere rahatlıkla monte edilebilir.

- Vakumlu güneş kolektörlerinden biri olan yoğuşturucu tipli vakumlu güneş kolektörlerinde ısı kayıplarını azaltmak, neticede verimi yüksetmek için iki metot vardır. Bunlardan biri, güneş radyasyonunu küçük bir alıcı üzerine yoğunlaştırma ve diğeri, yutucu etrafındaki bölgenin havasının alınmasıdır. Burada bahsedilen alıcı, ısı alma sistemidir ve bu sistem, bu tip vakumlu güneş kolektörlerinde uygulanmaktadır. Neticede, bu sistem sayesinde kolektör veriminde bir artış görülmektedir.

- Vakumlu güneş kolektörlerinin yaygın bir montaj tertibatı bulunmaktadır ve küçük ebatlar ile yüksek verimlere ulaşmak mümkündür.

- İyi bir düzlem toplayıcıdan elde edilebilecek en yüksek sıcaklık 80-100 °C civarındadır. Vakumlu güneş kolektörlerinde ise, 120-150 °C gibi yüksek sıcaklıklara ulaşmak mümkündür.

Vakumlu güneş kolektörlerinin dezavantajları ise şunlardır;

- Bir çok uygulamalarda, orta sıcaklıklarda (100°C üzeri) enerji dağıtması gerekir. Bu tür kolektörlerin verimi, çok yüksek sıcaklıklarda, ısı kayıplarının artmasından dolayı bir miktar düşer.

- Dış camı tüp şeklinde olan kolektörlerde, karlı havalarda dış şeffaf tüp aralarına kar birikebilir. Bu gibi hava durumlarında güneş radyasyonu alımı problem olacağından verimde bir miktar düşme görülür.

- Vakumlu güneş kolektörlerinde, düzlemsel tip kolektörlerde kullanılan malzemelere (örn. yutucu plaka, bağlantı boruları gibi) yansıtma aynaları, yansıtıcılar gibi ek malzemeler kullanılmaktadır. Dolayısıyla, bu tip kolektörlerin imalatına ek bir maliyet binmektedir.

ÖZET

Dünyada enerji tüketimi, uygarlık düzeyinin yükselmesiyle hızla artarken, insanlığın en güncel ve en başta gelen sorunu, artan enerji gereksinmelerini karşılayabilecek yeni enerji kaynaklarının bulunmasıdır.

Güneş enerjisi, teknolojinin hızla gelişmesi, çok çeşitli uygulama alanları bulması ve günlük yaşantımıza konut ısıtılmasından elektrik üretimine kadar değişik alanlarda girmesiyle yeni enerji kaynakları arasında en ön sırayı almaktadır. Şu andaki en önemli sorun, sürekli ve yoğun bir enerji türü olmaması nedeniyle uzun süre depolanmayı gerektirmesidir. Bu nedenle maliyeti düşük ve verimi yüksek vakumlu toplayıcı teknolojisinin geliştirilmesine gerek vardır.

Özellikle absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde sağladıkları yüksek sıcaklıklar nedeniyle vakumlu güneş kolektörlerinin önemi bir kez daha ortaya çıkmıştır. Sistem veriminin yüksek olması, düzlemsel kolektörlere göre bu gibi kullanım yerlerinde daha bir önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada, yutucu plakadan vakum ortamına ve tüpten dış ortama olan ısı kayıpları teorik olarak hesaplanmış, sonuç olarak sistem verimi ve toplam ısı kayıpları hesaplanmıştır. Ayrıca, sistem veriminin ve tüpten dış ortama olan toplam ısı kayıplarını hesap eden bir bilgisayar programı yapılmıştır. Hesaplar Adana ili için ısı kazancının en yüksek olduğu 23 Temmuz günü yapılmıştır ve anlık verim ve ısı kaybı eğrileri; kolektör tüp ve yutucu plakanın geometrisine, dış ortam sıcaklığına, rüzgar hızına, vakum basıncına bağlı olarak elde edilmiştir. Yüksek verim elde etmek amacıyla vakumlu güneş kolektörleri üzerine çalışılmıştır. Bu çalışmada, Adana ilinde ısı kazancının en yüksek olduğu gün olan 23 Temmuz için vakumlu güneş kolektörden dış ortama anlık ısı kaybı ve verim grafikleri elde edilmiştir. 23 Temmuz günü için saat 10:00, 11:00, 12:00, 13:00

ve 14:00 'deki çevre sıcaklıkları tespit edilmiştir. Vakumlu güneş kolektör verimi ve kolektörden dış ortama olan toplam ısı kaybı; rüzgar hızı, çevre sıcaklığı, yutucu plaka sıcaklığı, toplam ısıtım miktarı ve kolektör tüp - yutucu plaka geometrisi parametrelerine bağlıdır.

Sonuç olarak bu çalışmada rüzgar hızı arttıkça verimin azaldığı ve aynı rüzgar hızında, çevre sıcaklığı yükseldiğinde verimin arttığı tespit edilmiştir. Vakumlu güneş kolektör veriminin klasik düzlem toplayıcılara göre yüksek olduğu görülmüştür.



SUMMARY

The attractiveness of solar energy as a renewable source of energy available world wide is self-evident in these times of world energy shortage. But the harnessing of solar energy on a large scale is confronted with two intrinsic difficulties arising from two fundamental characteristics of solar radiation: Low energy-density and irregularity.

Low energy-density means that collecting solar energy in commercial quantities would require a collecting apparatus of very large dimensions. Such large collector systems involve large investments both in money and materials and explain why even the simplest solar collectors are not viable in an area of cheaper fuels.

Due to their high temperatures, especially in absorption cooling systems importance of evacuated solar energy collectors has been accepted one more time. Due to system's high efficiency, evacuated solar collectors are much more important than classic flat plate solar collectors in such systems.

In this study, the heat losses from the absorber plate to vacuum and from the tube to outside have been theoretically calculated. Result of this, the system efficiency and total heat losses have been calculated. In addition, a computer program has been devised to calculate system efficiency and total heat losses from the tube to outside. Curves of simultaneous efficiency and heat loss have been obtained for collector tube and absorber plate geometry, surrounding temperature, wind velocity, vacuum pressure. Evacuated solar collectors have been studied for high efficiency. Simultaneous efficiency curves and heat loss curves from the tube to outside have been obtained on 23 rd July, which corresponds to the day of the highest heat gain for the city of Adana. On 23 rd July,

surrounding temperatures have been established for 10:00, 11:00, 12:00, 13:00 and 14:00. Evacuated solar energy collector efficiency and heat loss from the tube to outside depend on wind velocity, surrounding temperature, absorber temperature, total radiation and collector tube - absorber plate geometry.

Consequently, in this study, it has been shown that, as the wind velocity increases, the efficiency decreases, the temperature being constant. As the temperature increases, the efficiency increases the wind velocity being the same. In general, it has been observed that evacuated solar energy collectors's efficiency is higher than the classic flat plate solar energy collectors's efficiency.



EK1. Bilgisayar programı

CDüzlem Yüzey Tip Vakumlu Güneş Kollektörde Tüpten
CDış Ortama Olan Toplam Isı Kaybını Ve Sistemin Verimini
CHesaplayan Bilgisayar Programı

```

C      * * * * *
C      *   PROGRAM DÜZLEM YÜZEY TIP-VAKUMLU GÜNEŞ KOLLEKTÖRDE   *
C      *   TÜPTEN DIŞ ORTAMA OLAN TOPLAM ISI KAYBINI VE           *
C      *   SİSTEM VERİMİNİ VERİR.                                  *
C      * * * * *
C      *   PROGRAMDA KULLANILAN SEMBOLLER                          *
C      *   W.....RÖZGAR HIZI                                     *
C      *   BK.....VAKUM GAZININ ISI İLETİM KATSAYISI             *
C      *   FI.....İLETİM İLE ISI TRANSFERİNDE YUTUCU PLAKA       *
C      *   VE TÖPÖN GEOMETRİSİNE BAĞLI OLARAK İLETİM              *
C      *   İLE ISI TRANSFERİ İFADESİNİN BİR                        *
C      *   FONKSİYONU                                              *
C      *   T1GY.....TÖPÖN ÜST KESİTİ İÇİN TAHMİNİ SICAKLIK        *
C      *   T2GY.....TÖPÖN ALT KESİTİ İÇİN TAHMİNİ SICAKLIK        *
C      *   QORT.....GÜNLÜK TOPLAM İŞİNİMİN YILLIK ORTALAMASI     *
C      *   FGI.....İŞİNİM FONKSİYON GENLİĞİ                      *
C      *   RO1.....ÇEVRE YANSITMA ORANI                          *
C      *   ER.....YUTUCU PLAKA VE YANSITICININ TOPLAM YAYMA     *
C      *   SAYISI                                                  *
C      *   EP.....YUTUCU PLAKANIN YAYMA SAYISI                  *
C      *   EG.....CAMIN YAYMA SAYISI                              *
C      *   ZN.....GÜN SAYISI                                       *
C      *   T.....SAAT                                              *
C      *   E1.....ENLEM AÇISI                                       *
C      *   AL11.....YATAY YÜZEYİN EĞİMİ                           *
C      *   ZM01.....AZİMUT AÇISI                                    *
C      *   TO2.....CAMIN YAYGIN İŞİNİMİ GEÇİRME ORANI             *
C      *   ALF.....YUTUCU PLAKANIN YUTMA SAYISI                 *
C      *   VOR1.....(TA-TS)/SI                                       *
C      *   TA.....YUTUCU PLAKA SICAKLIĞI                          *
C      *   TS.....DIŞ ORTAM SICAKLIĞI                             *
C      *   B.....BERRAKLIK ENDEKSİ                                *
C      *   SI.....TOPLAM İŞİNİM MİKTARI                            *
C      *   T1G.....TÖPÖN ÜST KESİTİNİN SICAKLIĞI                 *
C      *   T2G.....TÖPÖN ALT KESİTİNİN SICAKLIĞI                 *
C      *   QKAYIP...ÇEVREYE OLAN TOPLAM ISI KAYBI                 *
C      *   QST.....ÜST KESİTTEN ÇEVREYE ISI KAYBI                 *
C      *   QLT.....ALT KESİTTEN ÇEVREYE ISI KAYBI                 *
C      *   VERİM....VAKUMLU GÜNEŞ KOLLEKTÖR VERİMİ               *
C      * * * * *

```

```

CHARACTER*8 VERI,CIKTI
WRITE(*,*)'VERI DOSYASI ISMI GIRINIZ=?'
READ(*,1) VERI
OPEN(5,FILE='VERI.DAT')
WRITE(*,*)'CIKTI DOSYASI ISMI GIRINIZ=?'
READ(*,1) CIKTI

```

```

OPEN(6,FILE='CIKTI')
1  FORMAT(A20)
   WRITE(*,*)'ÜST KESİT SICAKLIK İÇİN TAHMİNİ BİR DEĞER GİR=?'
   READ(*,2) T1GY
2  FORMAT(F14.4)
   WRITE(*,*)'ALT KESİT SICAKLIK İÇİN TAHMİNİ BİR DEĞER GİR=?'
   READ(*,3) T2GY
3  FORMAT(F14.4)
C  * * * * * PROGRAMDA KULLANILAN SABİT DEĞERLER* * * * *
C  * SIGMA.....STEFAN-BOLTZMAN SABİTİ *
C  * A.....YUTUCU PLAKA GENİŞLİĞİ *
C  * AL.....KOLLEKTÖR TÜP UZUNLUĞU *
C  * D.....KOLLEKTÖR TÜP DIŞ ÇAPI *
C  * PI.....PI SAYISI *
C  * QS.....GÜNEŞ SABİTİ *

C  * RO.. ....SAYDAM ÖRTÖNÖN LEVHADAN YANSIYAN İŞİNİMİ *
C  * YANSITMA ORANI *
C  * * * * *
C  .....SABİTLER.....
SIGMA=5.68 E-8
A=0.385
AL=1.25
D=0.55
PI=3.1415
QS=1353.
RO=0.16

C  .....
C  .....DATA DOSYASI.....
READ(5,*) W,BK,FI
READ(5,*) QORT,FGI,RO1,ER
READ(5,*) EP,EG,ZN,T
READ(5,*) E1,AL11,ZMO1,T02,ALF,TS

C
DELT=(2*PI/365)*(23.45*SIN((2*PI/365)*(284.+ZN)))
W11=(12.-T)*15.
C  .....RADYANA ÇEVİRME.....
W1=(W11*PI)/180
E=(E1*PI)/180
AL1=(AL11*PI)/180
ZMO=(ZMO1*PI)/180
C  .....İŞİNİM GELİŞ AÇISI HESABI.....
TET1=(SIN(DELT))*(SIN(E))*(COS(AL1))
TET2=(SIN(DELT))*(COS(E))*(SIN(AL1))*(COS(W1))
TET3=(COS(DELT))*(COS(E))*(COS(AL1))*(COS(W1))
TET4=(COS(DELT))*(SIN(E))*(SIN(AL1))*(COS(W1))*(COS(ZMO))
TET5=ABS((COS(DELT))*(SIN(AL1))*(SIN(ZMO))*(SIN(W1)))
TETAS=ACOS((TET1-TET2+TET3+TET4+TET5))

```

```

TETA=(TETAS*180)/PI
IF (TETA.LE.40) GO TO 4
T01=0.8
GO TO 5
4 T01=0.92
C .....
C
C .....YATAY YÜZEYE GELEN ANLIK DIREK,YANSIYAN VE YAYGIN
C IŞINIM HESABI.....
C
5 QTOP=QORT-FGI
TGU2=ACOS(-(TAN(E))*(TAN(DELT)))
TGU1=(TGU2*180)/PI
TGU=TGU1*(2./15.)
TGI=(PI/2.)*(1/(1.18*(TGU**(-0.854))))
TGI1=(TGI*180.)/PI
ATS=(PI/2.)*(QTOP/TGI)
QT=ATS*((COS((PI*(T-12.))/TGI1)))
FE=1+(0.033*(COS(ZN/365.)))
QAD=(24./PI)*(QS*FE)
C .....
C .....BERRAKLIK ENDEKSI.....
C
C B=QTOP/QAD
C .....
C
AZ1=(1-B)**2
AZ2=(1+(3*(B*B)))
B1=(AZ1*AZ2)
QY=QTOP*B1
AYS=(PI/2.)*(QY/TGU)
QYT=AYS
QD=QT-QYT
C .....
C
C .....EĞİK YÜZEYE GELEN ANLIK DIREK,YANSIYAN VE YAYGIN
C IŞINIM HESABI.....
C
TETA1=(SIN(DELT))*(SIN(E))
TETA2=(COS(DELT))*(COS(E))*(COS(WI))
TETA=ACOS(TETA1+TETA2)
TETA1=(TETA*PI)/180
RD=COS(TETA)/COS(TETA1)
QDE=RD*QD
IF (QDE.LE.0) GO TO 15
GO TO 16
15 QDE=0
16 ASA=(1-(COS(ALI)))/2
QYA=QT*R01*(ASA)
IF (QYA.LE.0) GO TO 17

```



```

GO TO 18
17 QYA=0
18 RY=((1.+(COS(AL1)))/2.)
CO=(COS((PI*(T-12))/TGU))
QYT1=QYT*CO
QYE=RY*QYT1
IF (QYE.LE.0) GO TO 19
GO TO 20
19 QYE=0
C .....
C .....EĞİK YÜZEYE GELEN TOPLAM IŞINIM.....
C .....
20 SI=(QDE+QYA+QYE)
C .....
C .....
C .....
C .....DERECEYE ÇEVİRME.....
C .....
DELT15=(DELT*180)/PI
WI15=(WI*180)/PI
E15=(E*180)/PI
ZMO15=(ZMO*180)/PI
AL115=(AL1*180)/PI
C .....
DO 900 VOR1=0.035,3,.005
C .....YUTUCU PLAKA SICAKLIĞI.....
TA=(VOR1*SI)+TS
C .....
C .....
C .....ÖST VE ALT KESİT İÇİN CAM SICAKLIKLARI HESABI.....
C .....
Z=72770.
RE=Z*D*W
IF (RE.GT.400) GO TO 21
ALFA=(1.32*((TA-TS)/D))
GO TO 24
21 ALFA=(1/D)*((.0161)*(RE**.492)+.007)
24 EPG=1/((1/EP)+(1/EG)-1)
SABIT1=(A*AL*EPG*(TA**4))+(2*BK*AL*FI*TA)
ATO1=EG*(TS**4)
ATO=ALFA*TS
SABIT2=(SIGMA*PI*D*AL*(ATO1))/2
SABIT3=(T1GY)*((2*BK*AL*FI)+(PI*D*AL*(ALFA/2)))
SABIT4=(EPG*A*AL)+(PI*D*AL*(EG/2))
T1G=((SABIT1+SABIT2-SABIT3)/SABIT4)**0.25
C1=(T1GY-T1G)/T1GY
IF (C1.LT.0.01) GO TO 25
T1GY=(T1G+T1GY)/2
GO TO 24

```

```

25  ERP=1/((2/ER)-1)
    SABIT5=(A*AL*ERP*(TA**4))+(2*BK*AL*FI*TA)
    SABIT6=(SIGMA*PI*D*AL*(ATO1))/2
    SABIT7=(T2GY)*((2*BK*AL*FI)+(PI*D*AL*(ALFA/2)))
    SABIT8=(ERP*A*AL)+(PI*D*AL*(EG/2))
    T2G=((SABIT5+SABIT6-SABIT7)/SABIT8)**0.25
    C2=(T2GY-T2G)/T2GY
    IF (C2.LT.0.01) GO TO 30
    T2GY=(T2G+T2GY)/2
    GO TO 25

C  .....
C  .....ISI KAYBI VE VERİM HESABI.....
C  .....
30  QST=(SIGMA*D*AL*EG/2*(((T1G+273)**4)+((T2G+273)**4)
    /-(2*((TS+273)**4))))
    QLT=(D*(AL/2)*ALFA*(((T1G)+(T2G))-(2*(TS))))
    QKAYIP=QST+QLT
    QST1=((D*AL*SIGMA*EG/2)*(((T1G+273)**4)-((TS+273)**4)))
    QST2=((D*AL/2)*ALFA*((T1G-TS)))
    QLT1=((D*AL*SIGMA*EG/2)*(((T2G+273)**4)-((TS+273)**4)))
    QLT2=((D*AL/2)*ALFA*((T2G-TS)))
    QST=QST1+QST2
    QLT=QLT1+QLT2
    YI1=SIGMA*EG*(((T1G+273)**4)+((T2G+273)**4)
    /-(2*((TS+273)**4)))/2
    YI2=(ALFA*((T1G)+(T2G))-(2*(TS)))/2
    VERIM=((SI*TO1*ALF)-(YI1+YI2))/SI
    IF (VERIM.LE.0) GO TO 1300

C  .....
C  .....
C  .....FORMATLAR VE ÇIKTILAR.....
C  .....
C  WRITE(*,89)QKAYIP
    WRITE(6,89)QKAYIP
89  FORMAT('TOPLAM ISI KAYBI',F14.4)
C  WRITE(*,90)QST
    WRITE(6,90)QST
90  FORMAT('ÜST KISIMDAN ISI KAYBI',F14.4)
C  WRITE(*,91)QLT
    WRITE(6,91)QLT
91  FORMAT('ALT KISIMDAN ISI KAYBI',F14.4)
C  WRITE(*,93)VERIM
    WRITE(6,93)VERIM
93  FORMAT('ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI',F14.4)
C  WRITE(*,95)T1G
    WRITE(6,95)T1G
95  FORMAT('ÜST KISIM CAM SICAKLIK',F14.4)
C  WRITE(*,96)T2G
    WRITE(6,96)T2G
96  FORMAT('ALT KISIM CAM SICAKLIK',F14.4)

```

```

C      WRITE(*,101)SI
      WRITE(6,101)SI
101    FORMAT('TOPLAM ISINIM',F14.4)
C      WRITE(*,102)QDE
      WRITE(6,102)QDE
102    FORMAT('QDE,ANLIK ISINIM',F14.4)
C      WRITE(*,103)QYA
      WRITE(6,103)QYA
103    FORMAT('QYA, YANSIYAN ISINIM',F14.4)
C      WRITE(*,104)QYE
      WRITE(6,104)QYE
104    FORMAT('QYE, YAYGIN ISINIM',F14.4)
C      WRITE(*,105)W
      WRITE(6,105)W
105    FORMAT('RÜZGAR HIZI',F14.4)
C      WRITE(*,107)ALFA
      WRITE(6,107)ALFA
107    FORMAT('ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI',F14.4)
C      WRITE(*,108)RE
      WRITE(6,108)RE
108    FORMAT('REYNOLDS SAYISI',F14.4)
C      WRITE(*,110)B
      WRITE(6,110)B
110    FORMAT('BERRAKLIK ENDEKS',F14.4)
C      WRITE(*,115)TETA
      WRITE(6,115)TETA
115    FORMAT('ISINIM GELIS AÇISI',F14.4)
C      WRITE(*,129)DELT15
      WRITE(6,129)DELT15
129    FORMAT('DEKLINASYON AÇISI',F14.4)
C      WRITE(*,130)W115
      WRITE(6,130)W115
130    FORMAT('SAAT AÇISI',F14.4)
C      WRITE(*,150)E15
      WRITE(6,150)E15
150    FORMAT('ENLEM AÇISI',F14.4)
C      WRITE(*,190)ZM015
      WRITE(6,190)ZM015
190    FORMAT('AZIMUT AÇISI',F14.4)
C      WRITE(*,195)VOR1
      WRITE(6,195)VOR1
195    FORMAT('(TA-TS)/SI',F14.4)
C      WRITE(*,*)
      WRITE(6,*)
900    CONTINUE
C
1300   STOP
      END

```

EK 2. Program sonuçları

DATA DOSYASI:

1 0.026 1.8
 12600 6580 0.6 0.23
 0.212 0.288 204 10
 37 45 14.89 0.77 0.94 31.6

PROGRAM SONUÇLARI:

TOPLAM ISI KAYBI	=	28.0734
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	14.6983
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	13.3751
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.8101
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	37.4604
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	36.9363
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELİS AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZİMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS)/SI	=	0.0350

TOPLAM ISI KAYBI	=	40.2623
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	20.8400
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	19.4223
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.7864
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	39.8833
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	39.3254
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480

RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELIS AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS)/SI	=	0.0400

TOPLAM ISI KAYBI	=	52.5276
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	27.0204
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	25.5072
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.7625
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	42.3062
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	41.7144
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELIS AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS)/SI	=	0.0450

TOPLAM ISI KAYBI	=	64.8704
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	33.2402
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	31.6302
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.7385
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	44.7291
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	44.1034
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000

ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELIS AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS)/SI	=	0.0500

TOPLAM ISI KAYBI	=	77.2919
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	39.5000
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	37.7919
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.7143
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	47.1520
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	46.4924
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELIS AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS)/SI	=	0.0550

TOPLAM ISI KAYBI	=	89.7934
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	45.8004
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	43.9929
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.6899
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	49.5749
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	48.8814
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930

REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELIS AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS)/SI	=	0.0600

TOPLAM ISI KAYBI	=	102.3760
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	52.1421
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	50.2339
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.6654
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	51.9978
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	51.2704
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELIS AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS)/SI	=	0.0650

TOPLAM ISI KAYBI	=	115.0409
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	58.5256
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	56.5153
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.6408
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	54.4207
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	53.6594
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000

BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELIS AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS)/SI	=	0.0700

TOPLAM ISI KAYBI	=	127.7894
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	64.9515
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	62.8379
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.6160
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	56.8436
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	56.0485
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELIS AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS)/SI	=	0.0750

TOPLAM ISI KAYBI	=	140.6227
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	71.4206
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	69.2021
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.5910
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	59.2666
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	58.4375
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666

ISINIM GELIS AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS)/SI	=	0.0800

TOPLAM ISI KAYBI	=	153.5420
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	77.9334
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	75.6087
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.5658
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	61.6895
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	60.8265
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELIS AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS)/SI	=	0.0850

TOPLAM ISI KAYBI	=	166.5486
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	84.4905
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	82.0581
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.5405
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	64.1124
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	63.2155
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELIS AÇISI	=	30.7437

DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS)/SI	=	0.0900

TOPLAM ISI KAYBI	=	179.6439
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	91.0927
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	88.5511
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.5150
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	66.5353
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	65.6045
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELİS AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS)/SI	=	0.0950

TOPLAM ISI KAYBI	=	192.8289
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	97.7406
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	95.0883
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.4893
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	68.9582
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	67.9936
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELİS AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624

SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS)/SI	=	0.1000

TOPLAM ISI KAYBI	=	206.1050
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	104.4347
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	101.6702
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.4635
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	71.3811
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	70.3826
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELIS AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS)/SI	=	0.1050

TOPLAM ISI KAYBI	=	219.4735
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	111.1759
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	108.2976
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.4374
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	73.8040
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	72.7716
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELIS AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000

ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS)/SI	=	0.1100
TOPLAM ISI KAYBI	=	232.9357
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	117.9647
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	114.9710
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.4112
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	76.2270
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	75.1606
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELİS AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS)/SI	=	0.1150
TOPLAM ISI KAYBI	=	246.4929
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	124.8018
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	121.6911
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.3848
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	78.6499
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	77.5497
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELİS AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000

AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS)/SI	=	0.1200
TOPLAM ISI KAYBI	=	260.1464
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	131.6879
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	128.4585
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.3582
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	81.0728
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	79.9387
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELİŞ AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS)/SI	=	0.1250
TOPLAM ISI KAYBI	=	273.8975
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	138.6236
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	135.2739
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.3315
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	83.4957
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	82.3277
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELİŞ AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900

(TA-TS) / SI	=	0.1300
TOPLAM ISI KAYBI	=	287.7476
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	145.6097
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	142.1379
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.3045
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	85.9186
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	84.7167
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELIS AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS) / SI	=	0.1350
TOPLAM ISI KAYBI	=	301.6980
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	152.6469
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	149.0512
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.2773
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	88.3415
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	87.1057
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELIS AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS) / SI	=	0.1400

TOPLAM ISI KAYBI	=	315.7502
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	159.7357
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	156.0144
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.2500
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	90.7644
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	89.4947
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELIS AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS)/SI	=	0.1450
TOPLAM ISI KAYBI	=	329.9052
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	166.8770
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	163.0282
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.2224
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	93.1873
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	91.8838
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELIS AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS)/SI	=	0.1500
TOPLAM ISI KAYBI	=	344.1648

ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	174.0714
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	170.0934
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.1946
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	95.6103
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	94.2728
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELIS AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS)/SI	=	0.1550
TOPLAM ISI KAYBI	=	358.5300
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	181.3196
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	177.2104
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.1667
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	98.0332
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	96.6618
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELIS AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS)/SI	=	0.1600
TOPLAM ISI KAYBI	=	373.0024
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	188.6223

ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	184.3801
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.1385
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	100.4561
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	99.0508
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELIS AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS)/SI	=	0.1650
TOPLAM ISI KAYBI	=	387.5835
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	195.9803
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	191.6031
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.1101
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	102.8790
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	101.4398
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELIS AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS)/SI	=	0.1700
TOPLAM ISI KAYBI	=	402.2744
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	203.3943
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	198.8801

ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.0815
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	105.3019
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	103.8288
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELIS AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS)/SI	=	0.1750
TOPLAM ISI KAYBI	=	417.0768
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	210.8650
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	206.2118
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.0526
ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	107.7248
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	106.2179
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELIS AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS)/SI	=	0.1800
TOPLAM ISI KAYBI	=	431.9919
ÜST KISIMDAN ISI KAYBI	=	218.3930
ALT KISIMDAN ISI KAYBI	=	213.5989
ANLIK KOLLEKTÖR PERFORMANSI	=	0.0236

ÜST KISIM CAM SICAKLIK	=	110.1477
ALT KISIM CAM SICAKLIK	=	108.6069
TOPLAM ISINIM	=	746.9716
QDE,ANLIK ISINIM	=	491.2643
QYA, YANSIYAN ISINIM	=	65.1592
QYE, YAYGIN ISINIM	=	190.5480
RÜZGAR HIZI	=	1.0000
ORTAMIN ISI TRANSFER KATSAYISI	=	5.3930
REYNOLDS SAYISI	=	40023.5000
BERRAKLIK ENDEKS	=	0.5666
ISINIM GELIS AÇISI	=	30.7437
DEKLINASYON AÇISI	=	19.7624
SAAT AÇISI	=	30.0000
ENLEM AÇISI	=	37.0000
AZIMUT AÇISI	=	14.8900
(TA-TS)/SI	=	0.1850

KAYNAKLAR

Bayazitoğlu, Y., Asgarpour, S.:(1980). Effective Transmittance And Thermal Analysis Of Tubular Solar Collector Cover. Solar Energy & Conservation Symposium-Workshop. Rice University. U.S.A. pp. 51-54.

Beckman, W. Klein, S., Duffie, J.:(1977). Solar Heating Design by the F-Chart Method. A.Wiley-Interscience Publication John Wiley & Sons. New York, U.S.A. (200 s.).

Chow, S.P., Harding, G.L., Window, B., Cathro, K.T.:(1984). Effect Of Collector Component On The Collection Efficiency Of Tubular Evacuated Collectors With Diffuse Reflectors. Solar Energy. Vol.32. No.2. Printed In Great Britain. pp. 251-262.

Chow, S.P., Mills, D.R., Harding, G.L.:(1983). Prediction Of Heat Losses By Conduction And Radiation From Total Heat Loss Data For Degraded Evacuated Collectors. Solar Energy. Vol.31. No.4. Printed In Great Britain. pp.433-435.

Deriş, N.:(1975). Güneş Enerjisi Sıcak Su İle Isıtma Tekniği. Sermet Matbaası. İstanbul. (171 s.).

Duffie, J., Bekman, W.:(1974). Solar Energy Thermal Processes. John Wiley & Sons. Inc. U.S.A. (386 s.).

Garrison, J.; (1983). A Fixed, Evacuated, Glass, Solar Collector Panel. San Diego State University San Diego, California, U.S.A. pp. 171-180.

Grimmer, D., Avery, J.:(1982). Bonding Solar - Selective Absorber Foils To Glass Recevier Tubes For Use In Evacuated Tubular Collectors. Solar Energy. Vol.29. No.2. Great Britain. pp. 121-124.

Harding, G.L., Zhiqlang, Y.:(1985). Thermosiphon Circulation In Solar Heaters Incorporating Evacuated Tubular Collectors And Novel Water-In-Glass Manifold. Solar Energy. Vol.34. No.1. Printed in U.S.A. pp. 13-18.

Harding, G.L., Zhiqlang, Y., Mackey, D.W.:(1985). Heat Extraction Efficiency Of A Concentric Glass Tubular Evacuated Collector. Solar Energy. Vol.35. No.1. Printed in U.S.A. pp. 71-79.

Hull, J.R., Schertz, W.:(1985). Evacuated Tube Directional Radiating Cooling System. Solar Energy. Vol.35. No.5. Printed in U.S.A. pp. 429-434.

Jalayerian, M.K., Burmeister, L.C.:(1986). Solar Flux Enhancement on a Tilted Surface by a Vertical South Wall. Solar Energy. Vol.36. No.5. pp. 437-441.

Kılıç, A., Öztürk, A.:(1983). Güneş Enerjisi. Kipaş Dağımcılık. İstanbul. (331 s.).

O'Gallagher, J., Snail, K., Winston, R., Peek, C., Garrison, J.D.:(1982). A New Evacuated CPC Collector Tube. Solar Energy Vol.29. No.6. Printed in Great Britain. pp.575-577.

Oğulata, R.T.:(1987). Yaz Klimasında Isı Kazancının Teorik-Nümerik Hesaplanması. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi. Kod no=212. Adana.

Roberts, G.T.:(1979). Heat Loss Characteristic Of An Evacuated Plate In Tube Collector. Solar Energy. Vol.22. Printed Great Britain. pp.137-140.

Saltiel, C.J., Sokolov, M.:(1982). Thermal And Optical Analysis Of An Evacuated Circular Cylindrical Concentrating Collector. Solar Energy. Vol.29. No.5. Printed in Great Britain. pp.391-396.

Sayigh, M.:(1980). The Economics Of Solar Energy. Riyadh University. Riyadh, Saudi Arabia.

Schmid, R., Collins, R., Pailthorpe, B.A.:(1990). Heat Transport In Dewar-Type Evacuated Tubular Collectors. Solar Energy. Vol.45. No.5. U.S.A. pp.291-300.

Tanes, M.Y., Onur, H.S., Konak, G.:(1982). Bir Yerdeki Sıcaklık ve Güneş Işınımının Yıllık Değişiminin Sürekli Fonksiyonlarla İfadesi. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi. Cilt 5. Sayı 2. 21-25.

Theunissen, P.H., Beckman, W.A.:(1985). Solar Transmittance Characteristics Of Evacuated Tubular Collectors With Diffuse Back Reflectors. Solar Energy. Vol.35. No.4. Printed in U.S.A. pp. 311-320.

Ünal, A., Tanes, Y.:(1986). Yatay Düzleme Gelen Saatlik Ortalama Güneş Işınımının Hesaplanması. Isı Bilimi ve Tekniği 4. Kongresi. 233-245

Williams, R.:(1977). Solar Energy Technology And Applications. U.S.A. (184 s.)

Yamankaradeniz, R.:(1986). Güneş Enerjisi Kaynaklı Isı Pompası İçin Geliştirilen Teorik Analiz Modeli. Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi. Cilt 9. Sayı 2. 27-31.

Zhiqlang, Y., Harding, G.L., Craig, S., Collins, R.E, Window, B.:(1985). Comparative Study Of Fluid-In-Metal Manifolds For Heat Extraction From Single Ended Evacuated Glass Tubular Collectors. Solar Energy. Vol.35. No.1. Printed in U.S.A. pp. 81-91.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim süresince değerli yardım ve katkılarından dolayı Danışman Hocam Sayın Doç.Dr.R. Tuğrul OĞULATA'ya içtenlikle teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Ayrıca çalışmalarım süresince her konuda bana yardımcı olan Mustafa Kemal Üniversitesi ve Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi'nde görevli çok değerli Sayın Hocalarıma ve çok değerli arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.



ÖZGEÇMİŞ

1970 yılında Adana'da doğdu. İlk ve Orta öğrenimini Adana'da tamamladı. 1992 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden Makina Mühendisi ünvanıyla mezun oldu. Aynı yıl Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans çalışmalarına başladı. Halen Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

