

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

78207

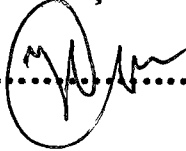
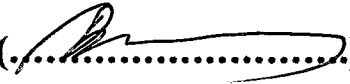
GÜNEŞ ENERJİSİ ve GÜNEŞ KOLLEKTÖR TESTLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Haldun DİZDAR

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27.10.1998

Tezin Savunulduğu Tarih : 30.11.1998

Tez Danışmanı	Üye	Üye
Prof.Dr.Mehmet Uysal	Prof.Dr.Şinasi Onur	Doç.Dr.Mustafa Tırıs
(..... )	(..... )	(..... )

EKİM 1998

GÜNEŞ ENERJİSİ ve GÜNEŞ KOLLEKTÖR TESTLERİ

Haldun DİZDAR

Anahtar Kelimeler:Güneş Enerjisi, Güneş Kollektörleri, Kollektör Testleri

Özet: Güneş enerjisinin dünyadaki uygulamaları; doğrudan ve dolaylı elektrik üretimi ve termal uygulamalar olmak üzere iki kola ayrılabilir.

Termal uygulamalar güneş enerjisinden ısı elde etmek amacıyla kullanılan çeşitli teknolojilerdir. Bu uygulamaların çoğunda, kullanılan düzlemsel yüzeyli kollektörler ve verimleri önemli bir yer tutar.

Özellikle gelişmiş ülkelerde, güneş enerjisi teknolojileri konusunda sürdürülen araştırma-geliştirme ve uygulama çalışmaları paralelinde bu çalışmada, düzlemsel yüzeyli güneş kollektörlerinin verim testlerine yer verilmiştir. Bu çerçevede, kabul edilen en son uluslararası standartlara göre verim testleri yapılarak, sistem boyutlandırması için gerekli parametreler çıkartılmıştır.

SOLAR ENERGY and TESTS OF SOLAR COLLECTORS

Haldun DİZDAR

Keywords: Solar energy, Solar collectors, Tests of flat-plate collectors

Abstract: Solar energy applications can be divided into two groups; direct or indirect electricity generation and thermal applications.

Thermal applications are the various technologies used for obtaining heat from solar energy. Flat plate collectors and efficiencies which use most of these applications take place an important position in most of these applications.

The recent developments in the field of flat-plate solar collector testing are included in this study. Collector tests have been performed and relevant factors for system sizing have been obtained using the latest international standards.



ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Yenilenebilir enerji kaynakları, özellikle çevre kirliliğinin kontrolü nedeniyle son yıllarda fosil enerji kaynaklarına tercih edilmektedir. Orta kuşak güneş bölgesinde bulunan bir ülke olan Türkiye’de güneş enerjisi ve uygulamaları yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde önemli bir yere sahiptir.

Hemen hemen bütün güneş enerjisi uygulamalarında kullanılan düzlemsel güneş kolektörleri ve bunların verimleri proses verimini doğru orantılı olarak etkilemektedir.

Bu çalışmayı yürüten, engin bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım Sayın Prof. Dr. Mehmet UYSAL’a, ayrıca çalışmamın deneysel kısmının gerçekleşmesinde gerekli laboratuvar imkanını sağlayan TÜBİTAK-MAM Enerji ve Çevre Sistemleri Enstitüsü Müdür Yrd. Sayın Doç. Dr. Mustafa TIRIS’a ve tüm Enstitü personeline teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
1.1. Enerji.....	1
1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Güneş Enerjisi.....	2
BÖLÜM 2. GÜNEŞ ENERJİSİ HESABI ve ÖLÇÜMÜ.....	6
2.1. Güneş Işınımının Hesabı.....	7
2.1.1. Yatay düzleme gelen aylık ortalama tüm güneş ışınımı.....	10
2.1.2. Günlük tüm güneş ışınımı.....	11
2.1.3. Anlık tüm güneş ışınımı.....	12
2.2. Güneş Işınımı Ölçerler.....	13
BÖLÜM 3. DÜZLEMSEL GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ.....	16
3.1. Güneş Kollektörlerinin Sınıflandırılması.....	17
3.2. Düzlemsel Güneş Kollektörünün Yapısı	18
3.2.1. Kollektör örtüsü.....	24
3.2.2. Yutucu yüzey.....	25
3.2.3. Yalıtım malzemesi.....	27
3.2.4. Conta malzemesi.....	27
3.3. Kollektörde Isı Yalıtımı	28

BÖLÜM 4. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN TESTİ.....	30
4.1. Güneş Kollektörlerinin Verim Testleri.....	30
4.1.1. Deney şartları.....	33
4.1.2. Kollektör verim testinde yapılan ölçümler.....	34
4.1.3. Test sırasında kullanılan ölçü aletleri.....	37
4.2. Güneş Kollektörlerinin Dayanıklılık Testleri.....	39
 BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	47
5.1. Deney Düzenegi.....	47
5.2. Deneyin Yapılışı.....	49
 BÖLÜM 6. SİSTEM BOYUTLANDIRMA.....	67
 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	74
KAYNAKLAR.....	75
EKLER.....	76
ÖZGEÇMİŞ.....	81

SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR

A_c	: Kollektör yüzey alanı , (m^2)
α	: Güneş yükseklik açısı , ($^{\circ}$)
β	: Güneş azimut açısı , ($^{\circ}$)
δ	: Deklinasyon açısı , ($^{\circ}$)
ξ	: Isı taşıyıcı akışkanın ortalama sıcaklığı , ($^{\circ}C$)
F_R	: Isı kazanç faktörü
g	: Yerçekimi ivmesi , (m/s^2)
γ	: Yüzey azimut açısı , ($^{\circ}$)
h	: Isı iletim katsayısı , ($W/m^{\circ}K$)
IAM	: Geliş açısı düzeltme faktörü
I	: Anlık tüm güneş ışıınımı şiddeti , (W/m^2)
λ	: Güneş ışıınımı dalga boyu , (μm)
m	: Kütle , (kg)
P	: Basınç , (Kpa)
Ψ	: Günlük tüm güneş ışıınımı şiddeti , (W/m^2)
Q	: Kollektör tarafından kullanılan faydalı ısı , (W)
ρ	: Yoğunluk , (kg/m^3)
S	: Eğim açısı , ($^{\circ}$)
T_a	: Çevre sıcaklığı , ($^{\circ}C$)
θ_r	: Güneye bakan eğik yüzey geliş açısı , ($^{\circ}$)
V	: Hacim , (m^3)
W	: Saat açısı , ($^{\circ}$)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Toplam güneş ışıınının bileşenleri.....	6
Şekil 2.2. Güneş ışıınının atmosferde katettiğı uzunluk.....	9
Şekil 2.3. Anlık tüm güneş ışıınının günlük tüm güneş ışıınınına oranının güneş öğlesinden olan zaman farkına göre değışimi.....	14
Şekil 3.1. Farklı kollektör tiplerinin uygulama alanları ve çalışma parametreleri..	16
Şekil 3.2. Düzlemsel ve vakum tüplü güneş kollektörlerinde güneş ışıınınının izlediğı yol.....	19
Şekil 3.3. Kollektör yüzeyine gelen güneş ışıınınının geliş açısına bağılı olarak dağılması.....	20
Şekil 3.4. Farklı güneş kollektörlerinde geliş açısı düzeltme faktörünün değışimi.....	21
Şekil 3.5. Farklı kollektörler için alan tanımları.....	22
Şekil 3.6. Sıvılı düzlemsel güneş kollektörlerinin kesiti.....	23
Şekil 3.7. Kalınlığı 0,1 mm olan Tedlar (pvr)' nin (a) kısa dalga boylu (b) uzun dalga boylu ışıınımları geçirme oranı.....	24
Şekil 3.8. İdeal ve gerçek seçici yüzeylerin yansıtma oranı.....	26
Şekil 3.9. Bazı seçici yüzeylerin spektral yutma oranı.....	27
Şekil 4.1. Optik ve ısı kayıpların kollektör verimine etkisi.....	32
Şekil 4.2. Kollektör veriminin güneş ışıınımlı ile değışimi.....	33
Şekil 4.3. Tek cam örtülü ve seçici yüzeyli düzlemsel güneş kollektörünün verim testi sonucunda çizilen kollektör verim eğrisi.....	36
Şekil 4.4. Kollektör verim testi için kapalı çevrim.....	38
Şekil 4.5. Kollektör verim testi için açık çevrim.....	39
Şekil 4.6. Metal yutucu yüzeyli kollektörler için iç basınç deney düzeneğı.....	41
Şekil 4.7. Yüksek sıcaklığa dayanım deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	42
Şekil 4.8. Güneşlenme deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	43
Şekil 4.9. İç ısı şok deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	44
Şekil 4.10. Yağmur testinin şematik gösterimi.....	45
Şekil 4.12. Donmaya dayanıklılık deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	46

Şekil 5.1. Düzlemsel yüzeyli güneş kollektörünün verim testi deney düzeneği....	47
Şekil 5.2. Siyah mat boyalı kollektörün anlık verimi ile kollektör içindeki ısı taşıyıcı akışkanın ortalama sıcaklığı arasındaki lineer değişim.....	66
Şekil 5.3. Seçici yüzeyli kollektörün anlık verimi ile kollektör içindeki ısı taşıyıcı akışkanın ortalama sıcaklığı arasındaki lineer değişim.....	66
Şekil 6.1. Evsel sıcak su ihtiyacının karşılanmasında kullanılan standart sistem	67



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Güneş enerjisinden faydalanma şekilleri.....	5
Tablo 2.1. Gebze’de yatay düzleme gelen global güneş radyasyonu.....	15
Tablo 3.1. Bazı yalıtım malzemelerinin özellikleri.....	28
Tablo 4.1. ISO-9806-2’ye göre dayanıklılık test prosedürü adımları.....	40
Tablo 4.2. Yüksek sıcaklığa dayanım deneyi için ortam şartları.....	42
Tablo 4.3. Güneşlenme, iç ve dış ısı şok deneyleri için ortam şartları.....	43
Tablo 5.1. Siyah mat boyalı kollektör için ölçüm değerleri	50
Tablo 5.2. Seçici yüzeyli kollektör için ölçüm değerleri.....	56
Tablo 5.3. Deneyde üzerinde çalışılan siyah mat boyalı kollektörün özellikleri.....	62
Tablo 5.4. Deneyde üzerinde çalışılan seçici yüzeyli kollektörün özellikleri.....	63
Tablo 5.5. Siyah mat boyalı kollektör için hesaplanan η_a , η_g , ξ_o , ξ_g değerleri...	64
Tablo 5.6. Seçici yüzeyli kollektör için hesaplanan η_a , η_g , ξ_o , ξ_g değerleri.....	65
Tablo 6.1. Isı transferi akışkanı olarak sıvıların kullanıldığı güneş enerjili su ısıtma sistemlerinde f-chart yönteminin uygulanabilmesi için tasarım parametrelerinin değişim aralığı.....	68
Tablo 6.2. Kocaeli’de güneş enerjili su ısıtma sisteminin aylara göre güneş enerjisinden faydalanma oranları.....	73

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Enerji

Enerji; termodinamikte, "bir etki meydana getirebilme kapasitesi" olarak tanımlanır. Enerji maddenin bir özelliğidir ve madde enerjiye sahiptir. Günlük hayatımızda "enerji" terimi ile genellikle iş ve ısı enerjisi kastedilmektedir.

Isınma için ihtiyacımız olan ısı enerjisi genellikle çeşitli yakacakların yakılması sonucunda kimyasal enerjiden elde edilir. Teknolojinin ihtiyacı olan ısı enerjisinin temini de benzer şekildedir. Isı enerjisinden termodinamiğin ikinci kanununa göre ancak belirli bir verimle mekanik enerji elde edilir. Nakil ve kullanma kolaylığı sebebiyle mekanik enerji, elektrik enerjisine ve sonra da kullanılacak amaca göre diğer enerji şekillerine (başta mekanik, ısı, kimyasal) dönüştürülür. Bu arada ısı enerjisinin ve kimyasal enerjinin direkt elektrik enerjisine dönüştürüldüğü makineler (termoelektrik jeneratör, yakıt hücresi vs.) da geliştirilmektedir. Enerji şekillerinden birinin diğerine dönüştürülmesinde kullanma kolaylığının yanında depolanma özelliği de göz önüne alınır. Enerji üretimi ve tüketimi, çağımızda toplumların refah seviyesini gösteren bir ölçü olmuştur ve ekonomik gelişme enerji tüketimiyle doğru orantılı olarak değişmektedir.

İnsanların, kullandığı enerji kaynağı termodinamik gelişmelere göre değişmiştir. Önceleri enerji kaynağı olarak sadece odun ve benzeri yakacaklar kullanılırken, uzun süre sonra kömür, yakın tarihte de petrol ve doğal gaz bulunup kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde insanlığın ihtiyacı olan enerjinin büyük bir kısmı yakacaklardan, hidrolik enerjiden ve küçük bir payı da nükleer enerjiden elde edilmektedir.

Enerji kaynakları, üretildiği miktarlar göz önüne alınarak, "birincil enerji kaynakları" ve "ikincil enerji kaynakları" olarak iki grupta incelenmektedir. Ayrıca, potansiyeli mevcut olan ve teknolojik güçlükler sebebiyle yeni faydalanılabilen enerji kaynaklarına "yeni" ve pratikte tükenmeyen kaynaklara da "yenilenebilir" enerji kaynakları denilmektedir. Konvansiyonel enerji kaynakları, fosil kaynaklar (kömür, petrol vs.) hidrolik enerji ve nükleer enerji, yeni enerji kaynakları ise güneş enerjisi, gel-git enerjisi, dalga enerjisi, rüzgar enerjisi, fizyon enerjisi vs. dir.

Dünya'da tüketilen enerjinin %90'nına yakını fosil kaynaklardan temin edilmektedir. Fosil kaynaklar içerisinde en çok kullanılanı petroldür. Yapılan tahminlere göre fosil yakacaklar, bugünkü oranda kullanılmaya devam edilirse, yakın gelecekte tükenecektir. Dünyadaki hidrolik enerji potansiyelinin sadece %33'ünden faydalanılmasına rağmen hidrolik santrallerin ilk tesis maliyeti fazladır ve yapımı için uzun süre gerekmektedir. Nükleer enerjinin üretilen toplam enerjiye katkısı son yıllarda artmaya başlamıştır. Birim enerji maliyeti düşüktür, ancak yakıtın elde edilebilmesi katı atık ve doz artışı vb. problemleri vardır.

1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Güneş Enerjisi

Yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi, bu enerji kaynaklarının bulundukları ülkelerdeki konumuna göre değişir. Gel-git enerjisinden, gel-git olayının sık rastlandığı Fransa, A.B.D, Kanada, ve Avustralya gibi ülkelerde yararlanılırken, jeotermal enerji uygulamaları İzlanda, Yeni Zelanda, A.B.D, Japonya ve Rusya' da bulunmaktadır. Türkiye'de de jeotermal enerjiden faydalanılmaya başlanmıştır. Ülkemiz,daha çok, ısıtma (konut, sera v.s.) için uygun olan 100°C civarında sıcak su elde edebilecek jeotermal enerji potansiyeli bakımından zengindir. Rüzgar enerjisinden faydalanabilme için yoğun çalışmalar yapılmasına rağmen henüz diğer enerji türlerine göre daha pahalıdır.

Elektrik enerjisi üretiminde rüzgar hızının 3 m/s'den daha büyük olması istenir ve zemine yakın mesafelerde rüzgar çevrintili estiğinden, genellikle 10-100 m yükseklikte esen rüzgardan yararlanılır. Türkiye'de ortalama rüzgar hızı 1,7 m/s ile 5,1 m/s arasındadır, ülkemiz rüzgar enerjisi bakımından fakir sayılmasına rağmen zengin de sayılmamakta ve dünya enerji kuşağının dışında kalmaktadır. Dalga enerjisinden çok az ülkede faydalanılmaktadır. Biyogaz enerjisi ise küçük çaptaki enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en güncel olanı ve en çok uygulama alanı bulanı güneş enerjisidir (Simon 1995).

Güneş dünyamıza ve diğer gezegenlere enerji veren sonsuz denebilecek güce sahip tek enerji kaynağıdır. Termonükleer bir reaktör olan güneşin birim alanından birim zamanda çeşitli dalga boylarında 62 MW/m^2 enerji yayılmakta ve güneşin bütün yüzeyinden yayılan enerjinin sadece iki milyarda biri yeryüzüne gelmektedir. Buna rağmen bir yıl boyunca yeryüzüne gelen enerji, dünya enerji tüketiminin milyonlarca katıdır.

Yeryüzüne gelen ortalama güneş ışıınımı şiddeti $0-1000 \text{ W/m}^2$ arasında değişir. Türkiye' nin bir bölümü de güneş kuşağı adı verilen bölgede bulunmaktadır ve güneş enerjisi bakımından orta zenginliktedir.

Güneş enerjisinin diğer enerji türlerine göre çok sayıda avantajı mevcuttur. Bunlar;

1. Güneş enerjisi herşeyden önce bol ve tükenmeyen tek enerji kaynağıdır.
2. Temiz enerji türüdür; çevreyi kirletici, duman, gaz, karbondioksit, kükürt ve radyasyon gibi artıkları yoktur.
3. Yerel uygulamalar için avantajlıdır. Enerjiye ihtiyaç duyulan, hemen hemen her yerde güneş enerjisinden faydalanmak mümkündür.
4. Dışa bağılı olmadığından doğabilecek ekonomik bunalımdan bağımsızdır.
5. Bir çok uygulaması için karmaşık teknolojiye gerek duyulmamaktadır.
6. İşletme masrafları çok azdır.

Güneş enerjisinin yukarıda belirtilen üstünlüklerine rağmen günümüzde uygulamalarının az oluşunun sebepleri vardır. Bunlar;

1. Yeryüzünde birim yüzeye gelen ortalama güneş ışınımı şiddeti az olduğundan güneş enerjisi uygulamalarının çoğunda büyük yüzeylerin kullanımı gerekir.
2. Güneş ışınımı sürekli olmadığından depolama gerekmektedir.
3. Enerji ihtiyacının fazla olduğu kış aylarında güneş ışınımı az ve geceleri de hiç yoktur.
4. Güneş ışınımından faydalanan sistemin güneş ışığını sürekli alabilmesi için çevrenin açık olması, gölgelenmemesi gerekir.
5. Güneş ışınımından yararlanılan bir çok tesisatın ilk yatırım masrafları fazladır.

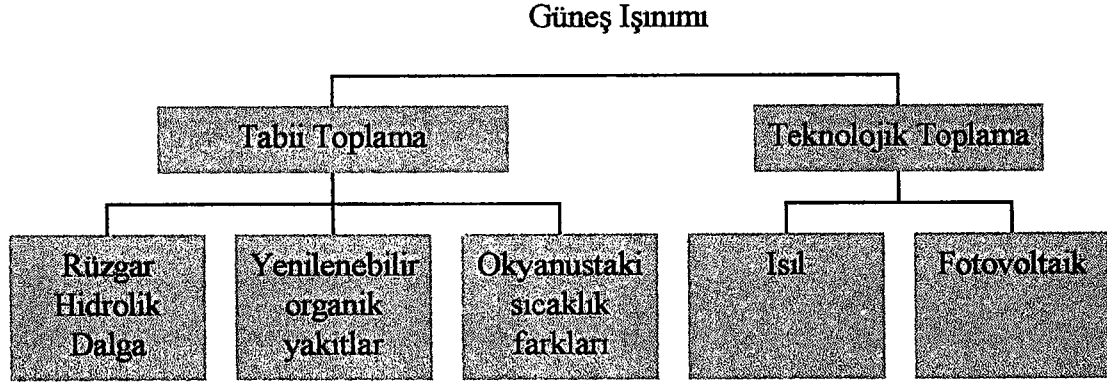
Günümüzde, özellikle petrol fiyatlarının çok hızlı artması, güneş enerjisini gittikçe cazip kılmaktadır. Güneş enerjisinden yararlanan sistemlerin sayısı her geçen gün artmaktadır.

Türkiye'de güneş enerjisi konusundaki çalışmalar yenidir. Özellikle 1973 petrol krizinden sonra ülkemizde de güneş enerjisi ile ilgili çalışmalar artmış ve 1975 yılından sonra güneş enerjisi uygulamaları yaygınlaşmıştır.

Hemen hemen bütün enerji kaynakları güneş ışınımının maddeler üzerindeki fiziksel ve kimyasal etkisinden meydana gelmektedir. Hidrolik enerji, rüzgar enerjisi, dalga enerjisi vs. güneş ışınımından dolaylı olarak oluşan enerjilerdir.

Güneş ışınımının teknolojik toplama ile faydalı enerjiye dönüştürülmesinde ısı veya fotovoltaiik esastan yararlanılır. Isıl esasa dayanan sistemlerin daha geniş uygulama alanı vardır (Tablo 1.1).

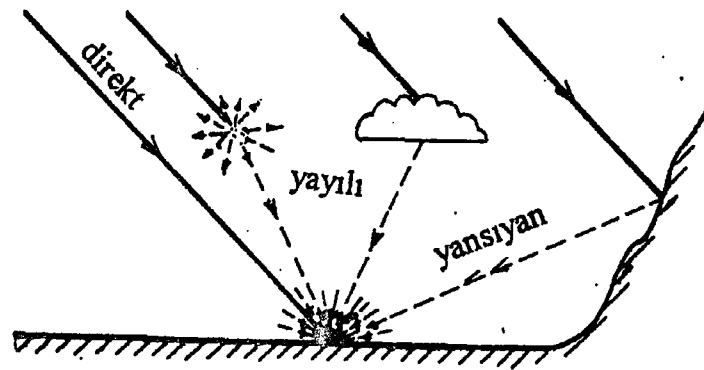
Tablo 1.1. Güneş enerjisinden faydalanma şekilleri.



BÖLÜM 2. GÜNEŞ ENERJİSİ HESABI ve ÖLÇÜMÜ

Güneş enerjisinden faydalanan sistemlerin dizaynında öncelikle faydalanılabilir güneş ışınımının bilinmesi gerekir. Toplayıcıların boyutlandırılması, binalardaki ısı kazancının hesaplanmasında, binaların aydınlatma yükünün belirlenmesinde, güneş fırınları, güneşsel güç sistemleri ve diğer bütün güneş enerjisi uygulamalarında yeryüzüne gelen güneş enerjisi miktarı esas alınır.

Güneş ışınımı atmosferi geçerken, atmosferde bulunan parçacıklar foton molekül, toz v.b. tarafından yutulur ve saçılır, böylece azalarak atmosfer dışına gelen ışınımın 0,1 ile 0,8 arasında bir kesri yeryüzüne ulaşır. Güneş ışınımının doğrudan yeryüzüne gelen kısmına direkt güneş ışınımı, saçılan güneş ışınımının yeryüzüne gelen kısmına difüz güneş ışınımı adı verilir. Direkt ve yayılı güneş ışınımı pratikte 0,3-3,0 μm dalga boylu olduğundan buna kısa dalga boylu ışınım da denir. Direkt ve yayılı ışınımın toplamı global güneş ışınımı olarak adlandırılır. Atmosferdeki gazlar (özellikle su buharı ve karbondioksit) tarafından yeryüzüne atmosfer ışınımı olarak yayılan ve yansıtılan ışınım da yer ışınımı olarak gözönüne alınan uzun dalga boylu ışınımlardır. Tüm bu ışınımlara toplam güneş ışınımı denir. Şekil 2.1’de toplam ışınımın bileşenleri şematik olarak görülebilir.



Şekil 2. 1. Toplam güneş ışınımının bileşenleri.

2. 1. Güneş Işınımının Hesabı

Foton (veya elektro magnetik dalga) bir ortamda ilerlerken maddesel parçacıklara çarptığında yutulur ve saçılır. Fiziksel olarak homojen bir ortamı kateden bir fotonun ortamın bir atom veya molekülüyle çarpışma ihtimali, fotonun alacağı geometrik yol ile orantılıdır. Atmosfer homojen olmayan bir ortamdır, fiziksel karakteristikleri (basınç, sıcaklık) yükseklikle değişir. Güneş ışının azalmasının esas kanunu olan Beer kanunu ancak homojen ortamlar için geçerlidir. Atmosferi homojen ölçek atmosfere indirgemek ve ışınımın atmosferde alacağı mesafeyi izafî birimlerle belirtmek gerekir.

Homojen ölçek atmosfer: Basıncın yer seviyesindeki atmosferik basınca eşit olduğu, birim kesitteki atmosfer kolonunda, yoğunluğun yükseklikle değişmediği atmosfer olarak açıklanabilir. Birim kesitteki homojen gerçek atmosfer kütlesi birim kesitteki gerçek atmosfer kütlesine eşittir. Homojen ölçek atmosferde ve gerçek atmosferde fotonun molekülle çarpışma ihtimali her iki durum için aynıdır (Sivkov 1991).

Homojen ölçek atmosferin kalınlığı; hidrostatik basınç bağıntısından, P yer seviyesindeki basınç, ρ homojen atmosferin yoğunluğu ve g yerçekimi ivmesi olmak üzere;

$$Z = \frac{P}{g \cdot \rho} \quad \text{şeklinde bulunur.} \quad (2.1)$$

Genellikle normal atmosfer yüksekliği Z_0 ; basıncın $P_0=100$ Kpa, sıcaklığı $T_0= 0^\circ\text{C}$, $g=9,806$ m/s² değerleri için belirlenebilir. Bu durumda havanın yoğunluğu $\rho=1,276$ kg/m³ için (2.1) bağıntısından normal yükseklik $Z_0=7994$ m ≈ 8 km. olarak hesaplanabilir. Homojen atmosfer yüksekliği, normal yükseklik ve normal basınca ($P_0=100$ kPa) bağlı olarak;

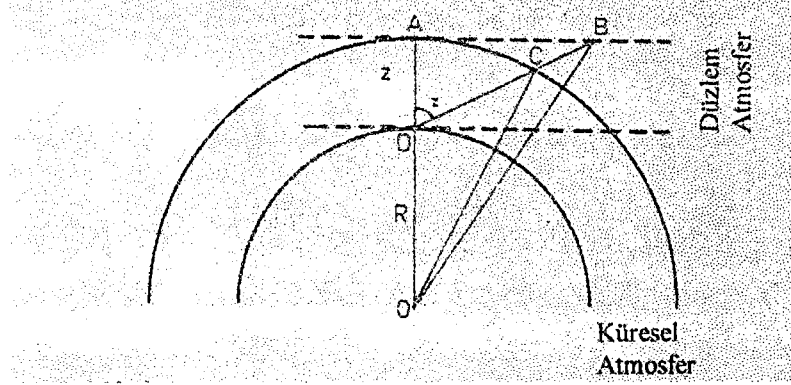
$$Z = \frac{P}{P_0} Z_0 \quad \text{yazılabilir.} \quad (2.2)$$

Güneş ışınının atmosferi geçerken katettiği uzunluk geliş doğrultusuna göre değişir ve pratikte bu uzunluk izafi birimlerle hesaplanır. Normal basınçta güneş ışınının herhangi bir doğrultuda ulaştığı uzunluğun, güneşin zenitte bulunduğu konumdaki uzunluğa oranı izafi optik hava kütlesi olarak isimlendirilir. Güneşin zenitte bulunduğu konumda izafi optik hava kütlesi 1'dir ve diğer zamanlarda birden büyük değerlerdedir (Marko, 1994).

Güneş ışınının herhangi bir basınç değerinde atmosferde ulaşacağı uzunluk “mutlak optik hava kütlesi” veya “optik hava kütlesi” olarak belirtilir. İzafi optik hava kütlesi m_i ve optik hava kütlesi (mutlak) m ile gösterilirse güneş ışınının izafi ve mutlak hava kütlelerine bağlı olarak atmosferde alacağı uzunluk $L=mZ=m_i Z_0$, şeklinde yazılabilir ve (2.2) denkleminde yararlanarak, izafi ve optik hava kütleleri arasındaki ilişki;

$$m_i = m \frac{P}{P_0} \quad \text{olarak belirlenir.} \quad (2.3)$$

İzafi optik hava kütlesi, güneş ışınının geliş açısına bağlıdır. Atmosferin düzlem veya küresel olmasına göre değişir. Şekil 2.2’de güneş ışınının atmosferde alacağı uzunluğun geometrik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2. 2. Güneş ışınının atmosferde katettiği uzunluk.

Düzlem homojen atmosfer için izafi optik hava kütlesi Şekil 2.2' den kolaylıkla;

$$m_i = \frac{DB}{AD} = \frac{1}{\cos z} \text{ şeklinde yazılabilir.} \quad (2.4)$$

Denklemden z zenit açısı, güneş ışınının geliş doğrultusu ile düşey doğrultu arasındaki açıdır, e enlem, δ deklinasyon açısı ve h saat açısı olmak üzere;

$$\cos z = \cos \delta \cos e \cos h + \sin \delta \sin e \quad \text{şeklinde elde edilir.}$$

Küresel homojen atmosfer gözönüne alınarak hesaplanan optik hava kütlesi, düzlem atmosfer için hesaplanan hava kütlesinden daha küçük olmaktadır. Küresel atmosfer için izafi optik hava kütlesi; dünyanın yarıçapı $R=6378,17$ km ve normal yükseklik $z_0=7994$ m alınarak Şekil 2. 2'den;

$$m_i = DC / AD = 798 [(\cos^2 z + 0,00251)^{1/2} - \cos z] \quad (2.5)$$

elde edilmektedir (Tırıs 1990).

İzafi optik hava kütlesinin hesaplanmasında atmosferin güneş ışınlamını kırma etkisinin göz önüne alınması gerekir. Gerçek atmosferde güneş ışınlamı hava tabakası tarafından kırılır ve ışınlam şiddeti azalır. Azalma miktarı güneş ışınlamının geliş açısına bağlıdır. Zenit açısı büyüdükçe kırmanın etkisi artar. Havanın kırma indisi hava yoğunluğuna, yükseklik ve zamana bağlıdır. Bu konu üzerinde çalışan bilim adamlarından Bemporad, ortalama hava sıcaklığının dik bir atmosfer kolonu boyunca her kilometrede 6.1°C değiştiğini, ρ_0 'ı normal şartlardaki hava yoğunluğu, z 'yi deniz seviyesinden olan yükseklik olarak düşünüp yoğunluğun yükseklikle değişimini $\rho=\rho_0.0.9^z$, ve havanın kırılma indisini $n/n_0=\rho/\rho_0$ şeklinde kabul etmiştir ve optik hava kütlesinin hava yoğunluğunun bir fonksiyonu olduğunu bulmuştur. Buna göre izafi optik hava kütlesi;

$$m_i = 2 (\cos^2 z + \cos z - 0.003147)^{-1/2} \text{ şeklinde ifade edebiliriz.} \quad (2.6)$$

2.1.1. Yatay Düzleme Gelen Aylık Ortalama Tüm Güneş Işınımı

Yeryüzüne gelen güneş ışınlamı çok sayıda değişkenin oluşturduğu faktörlere bağlıdır. Bunlar:

1. Astronomik faktörler (güneş sabiti, dünya-güneş mesafesi, deklinasyon açısı, saat açısı)
2. Geometrik faktörler (Yüzeyin azimut açısı, yüzeyin eğimi, güneş yükseklik açısı, güneş azimut açısı)
3. Coğrafi faktörler (Bulunulan yerin enlemi-boylamı ve deniz seviyesinden yüksekliği)
4. Fiziksel faktörler (Hava moleküllerinin saçması, atmosferdeki su buharınının azaltması, tozların saçması, ozon ve karbondioksitin yutması vs.)
5. Meteorolojik (bulutların tesiri, çevrenin yalıtılması) faktörlerdir.

Bu faktörlerin hepsinin etkisini teorik olarak hesaplamak zordur, bu sebeple güneş ışıınımı hesaplarında, ölçülen güneş ışıınımı verilerinden yararlanılarak geliştirilen ampirik bağıntılar kullanılır.

2.1.2. Günlük tüm güneş ışıınımı

Yatay düzleme gelen günlük tüm güneş ışıınımının güneşlenme süresi, ızafı nem, mutlak nem, atmosfer basıncı, sıcaklık ve bulutluluk oranı gibi meteoroloji verilerinden birine veya birkaçına bağılıdır. Angström tarafından ortaya konan ve yatay düzleme gelen aylık ortalama güneş ışıınımının ızafı güneşlenme süresi ile lineer değışimi belirlenmiştir. Yatay birim düzleme gelen günlük tüm güneş ışıınımı Q , atmosfer dışına gelen günlük güneş ışıınımı Q_0 , güneşlenme süresi t ve gün uzunluğu t_0 olmak üzere Angström denklemi;

$$\frac{Q}{Q_0} = a + b \frac{t}{t_0} \quad \text{şeklindedir.} \quad (2.7)$$

Denklemdaki a ve b sabitleri tüm güneş ışıınımı ve güneşlenme süresi verilerine dayanarak istatistiki yöntemlerle belirlenmektedir. Teorik yolla elde edilen direkt güneş ışıınımı bağıntısı ile Page (1987) bağıntısının birlikte kullanılmasıyla;

$$Q / Q_0 = \{ t / t_0 (0,594 - 0,0037 w + 0,197 \ln \cos (e - \delta)) \}^{1/2} \quad (2.8)$$

ifadesi elde edilir. Denklemda e enlem, δ deklinasyon açısı, w (mm) yoğunlaştırulabilir su buharı miktarıdır.

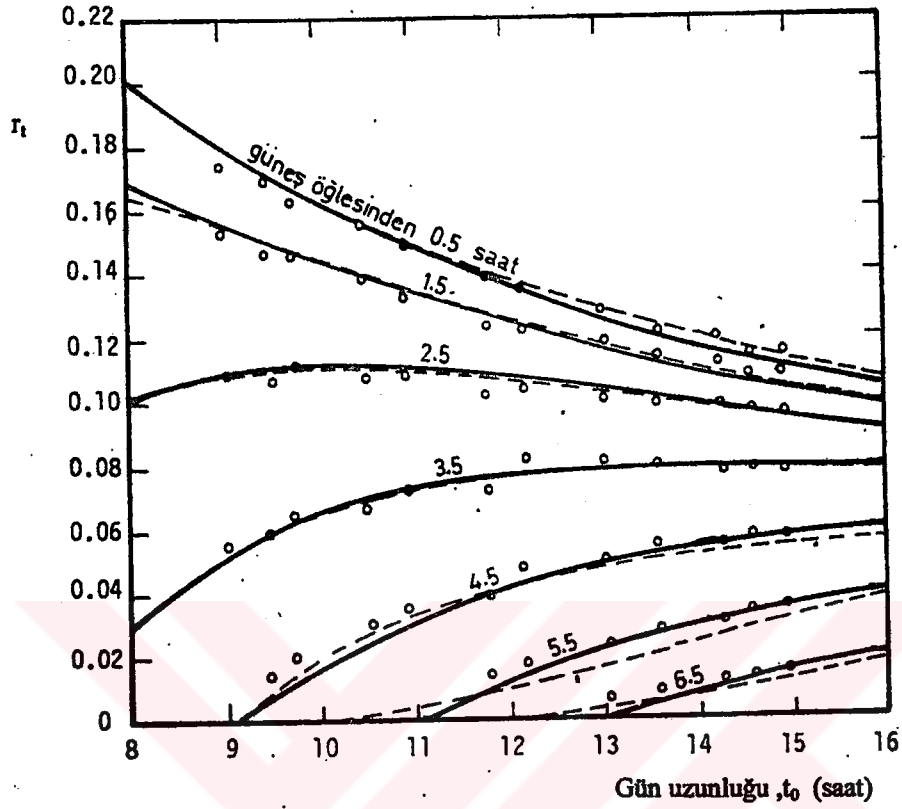
2.1.3. Anlık tüm güneş ışınlamı

Pratikte anlık tüm güneş ışınlamı günlük ışınlamına bağılı olarak hesaplanabilir. Bu iki ışınlam türünün birbiri ile oranı güneş öğlesi ile gün doğuşu ve batışı arasındaki değişimin exp. olduğu kabul edilerek analitik çözümlerle elde edilmiştir. Anlık tüm güneş ışınlamının (I) günlük toplam tüm güneş ışınlamına oranı (Q) ise ($r_t=I/Q$) gün boyunca anlık tüm güneş ışınlamının değişimi exponential ve sinüzoidal değişimlerle birlikte göz önüne alındığında;

$\Psi = \exp.\{ -4(1- h / H)\}$ olmak üzere,

$$r_t = I / Q = \pi/4 t_0 \{ \cos (90.h / H) + 2/\pi^{1/2} (1-\Psi) \} \text{ elde edilir.} \quad (2.9)$$

Burada t_0 gün uzunluğu, H güneş batış açısı ve h saat açısıdır. Şekil 2.3’de anlık tüm güneş ışınlamının günlük ışınlama oranının güneş öğlesinden olan zaman farkına göre değişimi görülmektedir.



Şekil 2.3. Anlık tüm güneş ışınımının günlük tüm güneş ışınımına oranının güneş öğlesinden olan zaman farkına göre değişimi.

2.2. Güneş Işınımı Ölçerler

Dört tür ışınım ölçümü yapılmaktadır.

- Normal doğrultuda gelen direkt güneş ışınımı
- Yatay düzleme gelen tüm (direkt + yayılı) güneş ışınımı
- Atmosfer ışınımı
- Yer ve yüzeylerden yansıyan, yansıtılan ışınım.

Ayrıca özel amaçlar için; direkt, tüm veya atmosfer ışınımının küçük dalga boyu aralıklarındaki şiddeti, eğik yüzeylere gelen güneş ışınımı ölçümleri de yapılmaktadır.

Pirheliometre (Pyrheliometer): Normal doğrultuda gelen direkt güneş ışıınımı ölçülür. Güneşi gören hacimsel açının eksenine dik olarak güneş ışıınlarını dar bir açıdan görürler ve güneşi izlerler.

Piranometre (Pyranometer): Tüm güneş ışıınımı ölçülür, piranometre için solarimetre, aktinometre veya ölçülen ışıınımı kaydetme imkanı varsa, piranograf , solarigraf veya aktinograf isimleri de kullanılmaktadır.

Pirradiometre (Pyrradiometer): Kısa ve uzun dalga boylu ışıınım ölçülür. Ayrıca yer ışıınımını ölçen, küresel bir yüzeye gelen toplam ışıınımı ve tüm ışıınımı ölçen cihazlar da vardır.

Tablo 2.1’de Kocaeli’nin Gebze ilçesinde güneş ışıınımı ölçü cihazı olan piranometre ile yapılan ölçüm değeri verilmıştır.

Tablo 2.1. Gebze’de yatay düzleme gelen global güneş radyasyonu (KJ/m²-gün)

Saat	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
4-5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.6	17.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5-6	0.0	0.0	0.0	29.6	168.2	270.9	182.2	62.8	8.0	0.0	0.0	0.0
6-7	0.0	7.6	57.6	262.7	532.0	712.7	604.8	411.9	233.0	59.4	8.2	0.0
7-8	25.7	90.9	297.0	617.9	990.0	1195.0	1102.0	931.2	644.0	343.8	125.7	35.4
8-9	201.5	358.8	632.5	1016.5	1476.6	1658.8	1538.6	1439.5	1120.2	697.6	398.9	194.3
9-10	452.5	675.7	971.8	1371.3	1852.3	2145.9	2002.5	1866.9	1585.6	1066.5	702.5	425.3
10-11	653.6	947.6	1231.2	1665.2	2108.8	2371.7	2203.7	2204.7	1923.2	1359.8	922.6	604.4
11-12	791.0	1092.9	1388.2	1854.0	2337.5	2541.9	2392.4	2390.7	2055.5	1461.5	1016.7	675.0
12-13	813.7	1156.5	1423.7	1862.0	2384.6	2561.4	2534.6	2423.2	2082.4	1468.5	1003.6	694.8
13-14	733.5	1069.7	1336.2	1739.0	2206.7	2411.6	2418.2	2233.4	1959.2	1313.2	829.6	582.4
14-15	522.9	850.7	1152.9	1501.5	1930.2	2090.2	2192.4	1990.7	1629.1	1013.0	591.9	368.4
15-16	306.2	543.6	867.5	1100.3	1553.4	1709.6	1808.8	1589.5	1201.4	625.4	655.2	202.2
16-17	83.7	239.3	480.5	708.0	1075.6	1231.1	1363.4	1056.8	696.9	237.7	53.0	27.4
17-18	0.0	31.4	142.9	314.1	568.8	709.0	830.5	521.2	228.4	29.2	0.0	0.0
18-19	0.0	0.0	5.3	29.9	185.2	261.2	317.0	126.8	13.6	0.0	0.0	0.0
19-20	0.0	0.0	0.0	4.9	14.4	22.7	26.4	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Günlük (KJ/m ²)	4584.8	7064.7	9987.3	14076.7	19384.3	21910.3	21535.4	19255.8	15380.5	9675.6	6307.9	3809.6

BÖLÜM 3. DÜZLEMSEL GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ

Güneş enerjisinden faydalanma kollektörlerle olmaktadır. Konutların sıcak su ve ısıtma sistemlerinde, yüzme havuzlarının ısıtılmasında ve endüstri için gerekli sıcak su eldesinde düzlemsel güneş kollektörleri kullanılır. Güneş ışınımı ile akışkanın sıcaklığının artmasını sağlayan gereçlere "güneş toplayıcıları (kollektörü)" adı verilir.

Yüzeye düşen güneş ışınlarından bir kısmı yüzey tarafından yutulur ve akışkana doğru iletim, taşınım ile ısı geçişi olurken dış yüzeyden de çevreye, yüzey sıcaklığına ve ısı taşınım katsayısına bağlı olarak taşınım ile ısı geçişi olur. Yutulan ışınlama ile çevreye olan ısı kaybının farkı faydalanılan güneş enerjisidir. Şekil 3.1’de farklı kollektör tiplerinin uygulama alanları ve çalışma parametreleri verilmiştir.

		U_{gff} $W/m^2 K^{-1}$	Kollektör çalışma sıcaklığı	Uygulama alanı
Basit yutucu		0.90	20	15 - 25 C Yüzme havuzu
Düzlemsel güneş kollektörü		0.80	6	15 - 40 C Sıcak su
Seçici yüzeyli düzlemsel güneş kollektörü		0.80	4	15 - 40 C 40 - 70 C Sıcak su Yardımcı ısıtıcı
Seçici yüzeyli, geçirgen filmli düzlemsel güneş kollektörü		0.75	3	15 - 40 C 60 - 90 C Sıcak su Yardımcı ısıtıcı
Seçici yüzeyli vakum tüplü kollektör		0.65	2	60 - 90 C 80 - 130 C Yardımcı ısıtıcı Proses ısısı
Vakum tüplü parabolik yansıtıcı kollektör		0.60	1	60 - 90 C 100 - 200 C Yardımcı ısıtıcı Proses ısısı

Şekil 3. 1. Farklı kollektör tiplerinin uygulama alanları ve çalışma parametreleri.

Belirli bir miktardaki ısıtım akısından kollektörlerle faydalanılırken;

a -Dışa taşıyımıla ısı kaybının azaltılması ile

b -Yüzeyin yutuculuğunun arttırılması ile

c-Akışkana ısı geçişinin yükseltilmesi ile yararlanılan güneş enerjisi miktarı arttırılabilir.

3.1. Güneş Kollektörlerinin Sınıflandırılması

TS 3680'e göre güneş kollektörlerinin sınıflandırılması aşağıdaki şekildedir:

Isı taşıyıcı akışkan cinsine göre;

- Sıvılı güneş kollektörleri
- Havalı güneş kollektörleri

Kollektörlerin yerleştirilme şekillerine göre;

- Sabit güneş kollektörleri
- Hareketli güneş kollektörleri

Kasaların imal edildiği malzemenin cinsine göre;

- Alüminyum kasalı
- Paslanmaz çelik kasalı
- Galvaniz sac kasalı
- Plastik kasalı
- Ağaç kasalı güneş kollektörleri

Soğurucuların imal tekniğine ve imal edildikleri malzemenin cinsine göre;

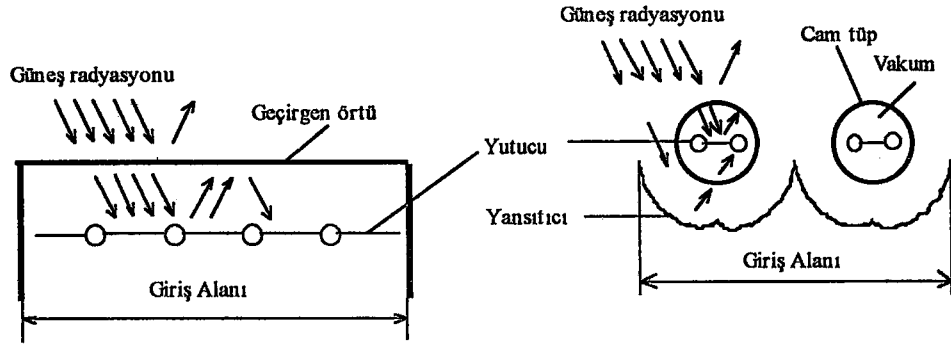
- Roll-Bond alüminyum soğurucu
- Ekstrüde alüminyum soğurucu
- Ekstrüde bakır soğurucu
- Dikiş kaynak – paslanmaz çelik soğurucu
- Dikiş kaynaklı bakır soğurucu

- Dikiş kaynaklı DKP saç soğuruculu
- Dikiş kaynaklı - derin sıvamatik saç soğuruculu
- Lehimli bakır boru - bakır levha soğuruculu
- Kaynaklı bakır boru – bakır levha soğuruculu
- Sıvama bakır boru – bakır levha soğuruculu
- Kalıplanmış plastik soğuruculu
- Kalıplanmış EPDM soğuruculu

şeklinde olmak üzere güneş kollektörleri sınıflandırılır.

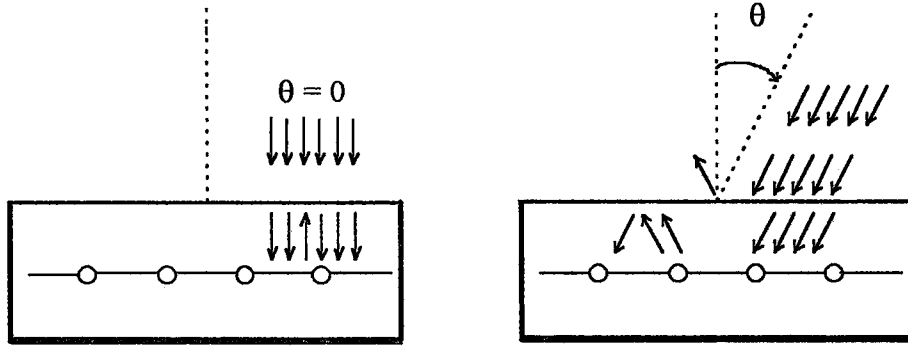
3.2. Düzlemsel Güneş Kollektörünün Yapısı

Kollektör dış yüzeyden olan ısı kayıpları, yüzeyle çevre arasındaki sıcaklık farkı kadar, h_d ısı taşınım katsayısına bağlıdır, hava rüzgarlı olduğunda h_d büyüdüğü gibi, yüzey sıcaklığının artması ile de h_d büyür. Bu açıdan dış yüzeydeki hava hareketini azaltmak amacıyla ısınım geçiren saydam bir örtünün kullanılması ısı kaybını düşürmek için gereklidir, böylece aradaki havanın ısı direnci dolayısıyla ısı kaybı azalır. Şekil 3.2’den düzlemsel ve vakum tüplü güneş kollektörlerinde güneş ısınımının izlediği yol görülebilir.



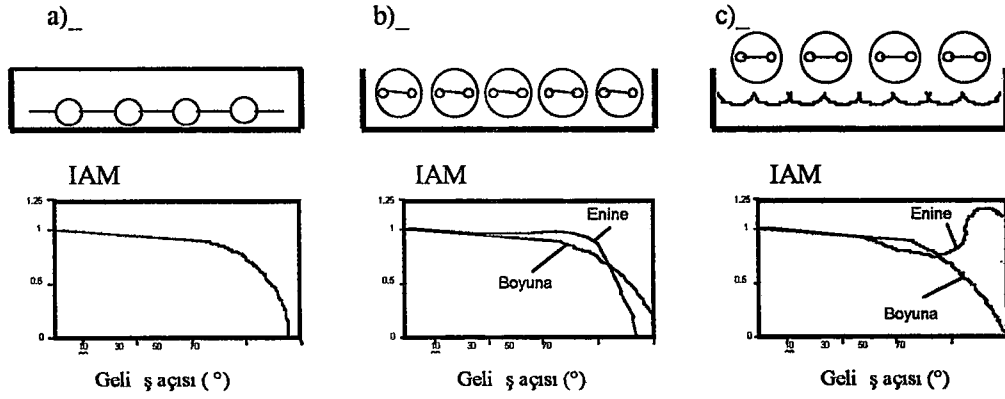
Şekil 3.2. Düzlemsel ve vakum tüplü güneş kolektörlerinde güneş ışıınının izlediği yol.

Şekil 3.3'te güneş ışıınının geliş açısına bağlı olarak, düzlemsel güneş kolektöründe, güneş ışıınının dağılımı görülebilir.



Şekil 3.3. Kollektör yüzeyine gelen güneş ışınımının geliş açısına bağlı olarak dağılımı.

Güneş kolektörlerinin geometrisine ve bileşenlerine bağlı olarak güneş ışınımının dağılımı değişim göstermektedir. Şekil 3.4'te farklı geometrilere sahip güneş kolektörlerinin geliş açısı ile geliş açısı düzeltme faktörü arasındaki değişimi görülmektedir.



Şekil 3.4. Farklı güneş kolektörlerinde geliş açısı düzeltme faktörünün değişimi;

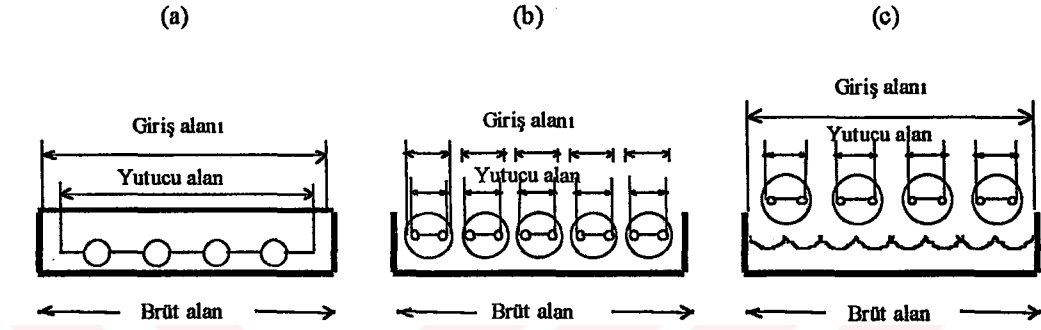
a - Düzlemsel güneş kolektörü

b - Vakum tüplü kolektör

c - Parabolik toplayıcı vakum tüplü kolektör

Güneş kolektörlerinde üç tip referans alan tanımlanır (Şekil 3.5) :

- Yutucu alan (A_a) güneş ışıınının yutulup, ısıya dönüştürülen alanın tamamıdır.
- Giriş alanı (A_e) yoğunlaştırılmamış güneş ışıınının kolektöre ulaşırken içinden geçtiği en büyük izdüşüm alanıdır.
- Brüt alan (A_g) kolektörün varsa, tespit malzemesi ile birlikte tamamının izdüşüm alanıdır.



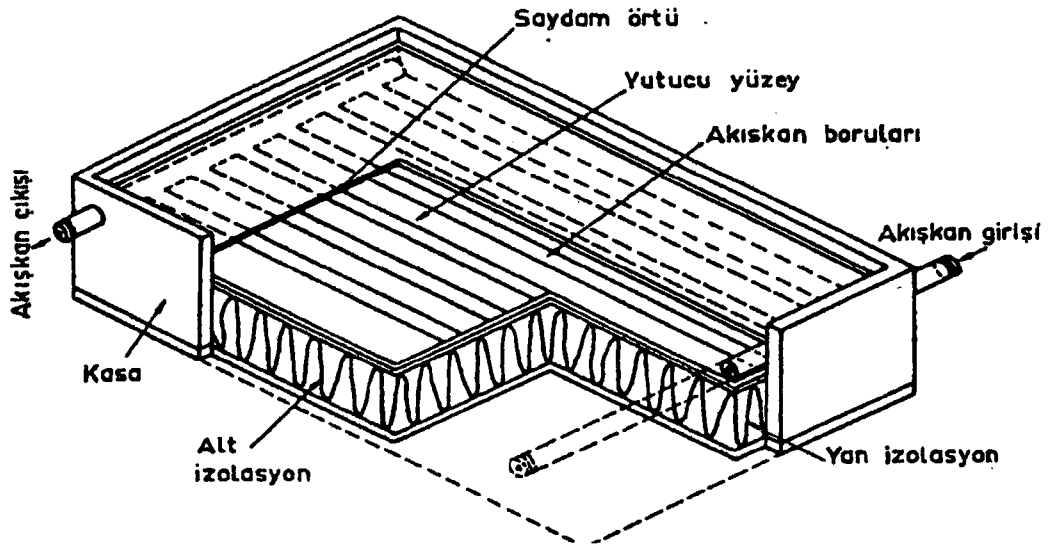
Şekil 3.5. Farklı kollektörler için alan tanımları

a - Düzlemsel güneş kollektörü

b - Vakum tüplü kollektör

c - Parabolik toplayıcılı vakum tüplü kollektör

Düzlemsel güneş kollektörleri, güneş ışıınımını ısı enerjisine dönüştüren basit ve yaygın olarak kullanılan araçlardan birisidir. Şekil 3.6’da görüldüğü gibi saydam örtü enerjiyi toplayan yutucu yüzey, yutucu yüzeye entegre edilmiş taşıyıcı borular, yalıtım malzemesi ve kasa düzlemsel güneş kollektörünü oluşturan elemanlardır.



Şekil 3.6.Sıvılı düzlemsel güneş kolektörünün kesiti.

Avantajları:

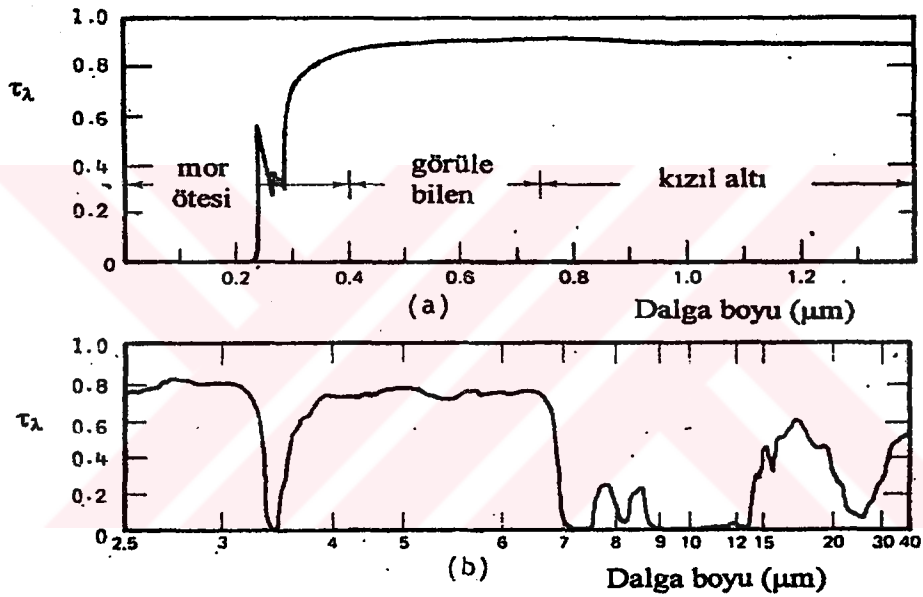
- Konstrüksiyonları basittir.
- Difüze ışıınımından da faydalanılır.
- Tesisatın yerleştirilebileceği zeminin hazırlanması kolaydır.
- Mukavemetli ve uzun ömürlüdür.
- Nakliyesi kolay ve işletme masrafları azdır.

Kollektörler, dolaştırılan akışkan cinsine göre sıvılı ve havalı kollektörler olarak ikiye ayrılır. Sıvılı tip kollektörlerin verimi havalılarınınkinden daha yüksek, yapımı kolay ve ucuzdur ancak sıvının donma tehlikesi, korozyon ve sızdırma gibi problemleri vardır, ayrıca hacim ısıtması içinde uygun değildir.

Havalı kollektörler ise; daha uzun ömürlüdür, ağırlıkça hafiftir, verimleri üniformdur. Hacim ısıtması için uygun olması, donma ile korozyon gibi problemleri olmamasına rağmen yapımı daha zordur bunun yanısıra tozlanma ve sızdırma problemleri vardır.

3. 2. 1. Kollektör örtüsü

Saydam örtünün amacı, güneş ışınımını içeri alıp çevreye olan ısı kayıplarını azaltmaktır. Özellikle rüzgarlı bölgelerde taşınım ile ısı geçişi (bu durum yansıtmayı tek tabakalı camlarda % 9 oranında azaltmaktadır) sıfıra yaklaşmaktadır. Şekil 3.7’de kollektör örtü malzemesi olan pvr’nin kısa ve uzun dalga boylu ışınımaları geçirme oranının değişimi görülmektedir.



Şekil 3. 7. Kalınlığı 0,1 mm olan Tedlar (pvr)' nin , (a) Kısa dalga boylu (b) Uzun dalga boylu ışınımaları geçirme oranı.

Plastikler; kolay şekillendirilebilme, ekonomiklik ve sızdırmazlık gibi olumlu özelliklere sahip olmalarına karşın yüksek sıcaklıklarda deforme olma ve mor ötesi güneş ışınımına uzun süre dayanamama gibi olumsuz özelliklere sahip olmaları nedeniyle kollektör örtü malzemesi olarak tercih edilmezler.

3.2.2. Yutucu yüzey

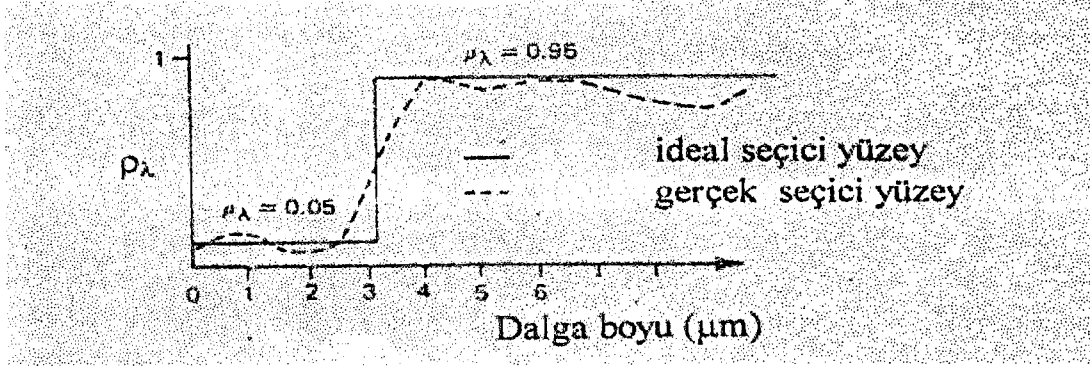
Kollektörlerde güneş ışınlamını yutan ve ısıyı, borulardaki akışkana aktaran kısımdır, yutucu yüzeyin öncelikle güneş ışınlamını yutma oranının büyük ve uzun dalga boylu ışınlamı yayıcılığının küçük olması gerekir.

Kollektörlerde yutucu yüzey malzemesi olarak genellikle bakır, alüminyum ve paslanmaz çelik kullanılır. Bakırın ısı iletim katsayısı yüksek olmasına rağmen, maliyeti bir hayli yüksektir, çelik ise kolay temin edilebilir ancak korozyona son derece müsait bir metaldir, ayrıca seçilen malzemenin lehim ve kaynak yapılabilme özelliği göz önünde bulundurulmalıdır.

Yutucu yüzeylerde, belli bir dalga boyunda yansıtma ve yutma oranlarının toplamı birdir. (Kirshoff kanununa göre ısı denge halinde, belli bir dalga boyunda yutma ve yayma oranları birbirine eşittir). Siyah yüzeyli kollektörlerin normal doğrultudaki güneş ışınlamını yutma ve uzun dalga boylu ışınlamı yayma oranları $0,90 \pm 0,95$ mertebesinde dir. Yüzeyin yutma oranı geliş açısına bağlı olarak değişir, bu değişim geliş açısının 50^0 değerine kadar çok yavaş daha büyük değerlerinde ise hızla azalmaktadır.

Siyah yüzey; ışınlam için gerçek yutucudur, bütün dalga boylarındaki her açı altında gelen ışınlamın tamamını yutar. Ancak yüzeyler her zaman ışınlamın bir kısmını geliş açısına bağlı olarak yansıtır. İdeal yutucu yüzey ise kısa dalga boylu ışınlamın tamamını yutar ve uzun dalga boylu ışınlam için yayıcı özelliği olmayan yüzeylerdir. Kısa dalga boylu ışınlamın ($0,3-3,0 \mu m$) tamamına yakını yutan ve uzun dalga boylu ışınlamı yayıcılığı az olan yüzeylere seçici yüzey adı verilir. Şekil 3.8'de ideal ve gerçek seçici yüzeylerin spektral yansıtma oranının değişimi görülebilir.

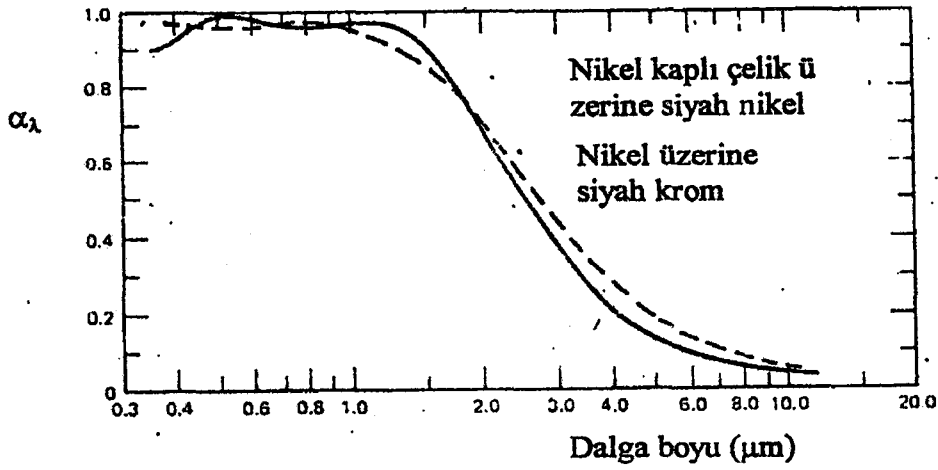
Bu grafikten seçici yüzeylerin güneş ışıını yutma oranı (α)'nın, uzun dalga boylu ışıını yayma oranı (ϵ)'a bölümüyle elde edilen seçici yüzey değeri hakkında bilgi edinilir.



Şekil 3.8. İdeal ve gerçek seçici yüzeylerin yansıtma oranı

Genellikle seçici yüzeylerde (α/ϵ) oranı 4'ten daha büyüktür. Pratikte yayma oranı çok küçülünce yutma oranı da küçülmektedir; bu sebeple (α/ϵ) oranının çok büyük olması, seçici yüzeylerin iyi olduğunu belirtmez.

Seçici yüzey eldesinde, öncelikle kaplanacak yüzey temizlenir ve asit banyosuna tabii tutulur. Uzun dalga boylu ışıını yansıtma oranı büyük olan metaller, güneş ışıını yansıtma oranı büyük bir madde ile ince bir film ($<1\mu\text{m}$) halinde kaplanır, kaplamalar kimyasal banyo, püskürtme ve elektrokaplama gibi kimyasal kaplama yöntemlerinden birisiyle gerçekleştirilir. Elektro kaplama ile seçici yüzey elde edilmesinde; kaplanacak malzemenin temizlenmesi, elektroliz banyosunun temizlenmesi ve kontrolü dikkat gerektirdiğinden maliyeti yüksektir. Pratikte genellikle siyah krom ve siyah nikel kaplamalar yapılmaktadır. Şekil 3.9'da bazı seçici yüzeylerin spektral yutma oranı belirten grafik görülmektedir.



Şekil 3. 9. Bazı seçici yüzeylerin spektral yutma oranı

3.2.3. Yalıtım malzemesi

Yalıtım malzemesi olarak cam yünü, taş yünü, poliüretan köpük veya levha kullanılmaktadır. Kasanın yan yüzleri ve arkasındaki yalıtım, cam yünü ise sırasıyla 20-50 mm ve 50-100 mm, poliüretan levha ise 8.5 cm, alınmalıdır. Ayrıca yutucu plaka ile arka yalıtım arasında 1-2 cm boşluk bırakılarak yalıtımın yutucu plakaya bakan kısmı alüminyum folyo ile kaplanarak uzun dalga boylu ışınların plakaya geri dönüşü ve yalıtımın sızdırmazlığı sağlanmalıdır.

3.2.4. Conta malzemesi

Değişik amaçlarla çeşitli conta malzemeleri kullanılmaktadır. Kollektör için iyi bir conta kollektörün ömrünü uzatan en önemli faktörlerden biridir. Düşük kalitedeki conta malzemeleri kollektörlerin erken bozulmasında etkilidir.

Isı transfer akışkanı için giriş ve çıkışta kullanılan contalar: Geniş sıcaklık bölgesi (-20°C-200°C) kollektöre giriş ve çıkışta conta malzemelerine büyük gereksinim vardır. Contaların bir bölümü hava şartlarından etkilenir.

Gövde profil köşelerinin contalanması: Gövde profil köşeleri plastik macunla contalanır. Bu contaların uzun vadede su geçirmezliği sağlanmalıdır.

Arka duvarların contalanması: Gövdenin arka duvar bağlantısından kaynaklanan hatalar kontrol edilemeyen infiltrasyona ve yüksek ısı kayıplarına neden olmaktadır. Bazı hava şartlarında, gövde profili hatalarından dolayı kollektöre su girebilmektedir.

3. 3. Kollektörde Isı Yalıtımı

Kollektörler güneş ışıınımı alamayan alt ve yan kısımlardan olan ısı kayıplarının azaltılması için, ısı iletim katsayısı küçük malzemelerle kaplanırlar. Yalıtım malzemesi seçilirken ısı iletim katsayısı yanında yüksek sıcaklığa dayanabilirliği, neme direnci, şekil değiştirme yanma ve genişleme özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Cam yünü, storofor ve poliüretan ısı iletim katsayılarının küçüklüğü ve hafifliği sebebiyle en çok tercih edilen kollektör yalıtım malzemelerindendir. Tablo 3.1’de bazı yalıtım malzemelerinin özellikleri verilmiştir (Tırıs 1990).

Tablo 3.1. Bazı yalıtım malzemelerinin özellikleri.

	20 ⁰ C sıcaklıkta ısı iletim katsayısı (W/m-K)	Dayanabilme Sıcaklığı (⁰ C)	Yoğunluğu (Kg/m ³)
Strofor	0,035	70-80	20
Poliüretan	0,028	100	35
PVC	0,035	100-130	40-80
Cam Yünü	0,036	250-500	15-120

Yalıtım malzemesi kalınlığı, yutucu yüzey sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki farka bağlı olarak seçilir. Yüksek sıcaklıklara çıkılan kolektörlerde yalıtım kalınlığı artırılmalı ve yalıtım malzemesinin toplam ısı iletim katsayısı $0,5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$ 'den daha küçük olmalıdır. Böylece, yalıtım malzemesi ısı iletim katsayısı $k_y (\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K})$ ve kalınlığı $L_y (\text{m})$ olmak üzere $(k_y/L_y) < 0,5$ yazılabilir, cam yünü ile strofor için $L_y > 7 \text{ cm}$ olmaktadır.



BÖLÜM 4 . GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİNİN TESTİ.

Enerji kökenli çevre kirliliğinin artması, fosil enerji kaynaklarının tükenmekte olması gibi nedenlerle başta Avrupa ülkeleri olmak üzere bir çok ülkede yenilenebilir enerji, özellikle güneş enerjisi çalışmaları yeniden hız kazanmıştır. Bu çerçevede 1970'li yıllarda yapılan hataların tekrarlanmaması amacıyla ve gelişen "kalite" kavramıyla birlikte, üreticiler yüksek kaliteli kollektör üretimine zorlanmaktadır.

Bu kapsamda halen üzerinde çalışılan iki önemli standart bulunmaktadır: ISO 1986 ve CENTC 132'dir.

Bu standartlarla getirilen kalite kavramı uyarınca:

1. Kollektör verimi ve
2. Kollektör dayanıklılığı testleri gerekmektedir.

4. 1. Güneş Kollektörlerinin Verim Testleri

Güneş kollektörlerinden sağlanabilecek enerji, kollektör verim özelliklerinin sonucudur. Verim özellikleri (performans karakteristikleri), güneş enerjisi miktarı, dış ortam sıcaklığı, rüzgar hızı gibi meteorolojik parametreler ile kollektör tasarım parametrelerinin (izolasyon cinsi ve kalınlığı, yutucu yüzey, cam özellikleri) fonksiyonu olarak verilmektedir. Kollektörlerin verim özelliklerinin belirlenebilmesi için geliştirilen standartlar testlerin tekrarlanabilir ve karıştırılabilir olması için bazı kısıtlamalar koymuşlardır. Bu kısıtlamalar içinde ölçüm cihazlarının hassasiyet aralıkları gibi kontrol edilebilen parametreler ile, güneş ışıınının belli değerlerin üzerinde olması, dış ortam sıcaklığının ve rüzgarın gün boyunca limit değerlerinin dışına çıkmaması gibi kontrol edilemeyen parametreler de yer almaktadır. Dış ortam verim testleri, senenin çok kısıtlı bir döneminde yapılabilmektedir. Bu testlerin gerektirdiği açık atmosfer şartları, yüksek güneşlenme miktarı, uygun sıcaklık ve rüzgar hızı özellikleri, senenin önemli bir bölümünde elde edilememektedir. Bu

nedenle dünyanın bir çok yerinde iç ortam kollektör testlerinin yapılmasına imkan veren güneş simülatörü kullanılmaktadır. Kollektör verim testlerinin amacı, çeşitli üreticiler tarafından üretilen güneş kollektörlerinin kabul edilebilir bir verimle çalışıp çalışılmadıklarını kontrol etmek ve kollektörlerin kendi aralarında karşılaştırılabilmelerini sağlamaktır.

Bu amaç için geliştirilen bazı standartlar;

TS 4801	Güneş enerjisi toplayıcıları-ısı performans deney metodları
ASHRAE 93-77	Methods of testing to determine the thermal performance of solar collectors.
ISO 9806-1	Thermal performance of glazed liquid heating collectors including pressure drop.
NBSIR-74-635	Method of testing for rating solar collectors based on thermal performance' dır.

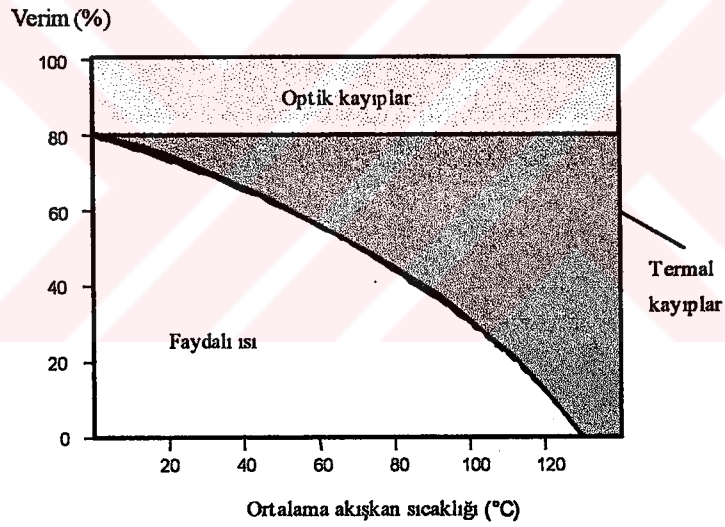
Bu standartlarda, iklimsel faktörlere bağlı olarak farklı deney düzenekleri ve deney şartları ile güneş kollektörlerinin ısı verimliliğinin hesaplanması için kurulan enerji dengelerinde farklı parametreler söz konusudur. Düzlemsel güneş kollektörlerinin dengesi yazılırken, kollektör verim faktörü ve kollektör içinden geçen akışkan ortalama sıcaklığı şeklinde iki adet parametre tanımlanabilir.

Enerji dengesini tanımlarken F ve T_m yerine kollektör ısı kazanç faktörü (F_R) ve kollektöre giren akışkanın giriş suyu sıcaklığı (T_i) yazılırsa:

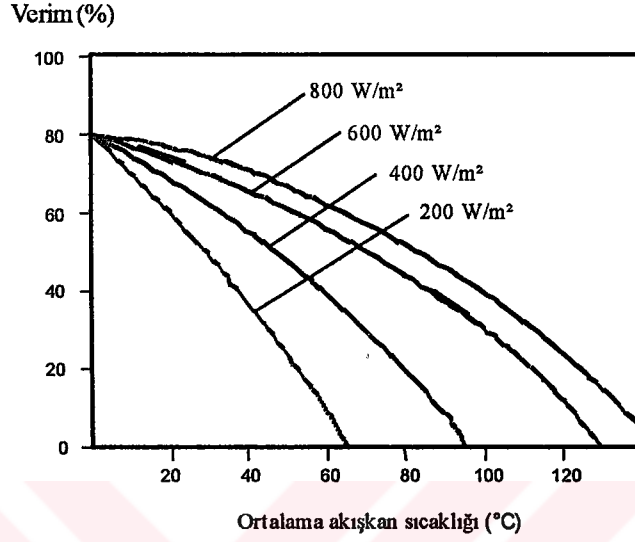
Enerji dengesi ;

$$Q_u = A_c \cdot F_R \cdot [I_T \cdot (\tau \cdot \alpha) - U_L \cdot (T_i - T_a)] \quad \text{şeklinde olur.} \quad (4.1)$$

Q_u kollektör tarafından kullanılan faydalı enerji; A_c kollektör alanı; $I (\tau \alpha)$ kollektör yüzeyine gelen güneş ışınımının kollektör yüzeyi tarafından absorbe edilen kısmı; U_L kollektör toplam ısı kayıp katsayısı; T_a çevre sıcaklığıdır. Güneş kollektörlerinin test edilmesi sonucunda kollektör verimi ve toplam ısı kayıp katsayısı belirlenir.



Şekil 4.1. Optik ve ısı kayıpların kollektör verimine etkisi.



Şekil 4.2. Kollektör veriminin güneş ışınlamı ile değişimi

4.1.1. Deney şartları

- Kollektörlerin verimlerinin deneysel olarak saptanması için kurulan stant da, kollektör güneşe yönelik olarak enlem $\pm 15^\circ$ veya enleme eşit eğim açısında yerleştirilir.
- Deneyler için hava şartlarının kararlı olduğu bir zaman aralığı seçilmelidir.
- İlk defa kullanılacak kollektör toplam 51000 KJ/m^2 güneş ışınlamına (yaklaşık üç gün) maruz kalıncaya kadar boş olarak bekletilir.
- Bütün deneyler güneş ışınlamının düzgün değiştiği zaman aralığında yapılmalıdır.
- Tüm deneyler sırasındaki güneş ışınlamı 630 W/m^2 den büyük olmalıdır.
- Deneyler sırasında ortalama rüzgar hızı $5,4 \text{ m/s}$ den küçük olmalıdır.

- Deneyler için çevre sıcaklığı 5°C - 32°C arasında herhangi bir sıcaklık değerinde olabilir.
- Bir deney veya deney adımı süresince çevre sıcaklığı ilk değerinden en çok $\pm 2^{\circ}\text{C}$ farklı olmalıdır.
- Deney için ölçümlere başlamadan önce ısı taşıyıcı akışkan kollektör içinde sabit debiyle ve giriş sıcaklığı, çevre sıcaklığına eşit tutularak en az 1 saat dolaştırılmalıdır.
- Her ölçüm süresince ısı taşıyıcı akışkanın giriş sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki fark, o ölçüm için önceden tespit edilmiştir, anma değerinden en çok $\pm 2^{\circ}\text{C}$ farklı olmalıdır.
- Deneyler sırasında kollektörden geçirilen ısı taşıyıcı akışkanın kütleli debisi akışkanın su olması durumunda $72 \text{ kg/m}^2\text{h}$ olmalıdır. Debinin bu değeri üzerinden ancak $\pm 2\%$ lik bir hataya izin verilmelidir.

4.1.2. Kollektör verim testinde yapılan ölçümler

Kollektör verimi genellikle en az 5 ayrı giriş sıcaklığı değerine karşılık olan adımlardan oluşan bir deneyle belirlenir. Deneyin her adımında, ısı taşıyıcı akışkanın kollektöre sabit fakat başka bir giriş sıcaklığında verilebilir. Her deney adımında;

- Çevre sıcaklığı,
- Isı taşıyıcı akışkanın giriş ve çıkış sıcaklıkları,
- Isı taşıyıcı akışkanın kütleli ve hacimsel debisi,
- Kollektör yüzeyine gelen anlık güneş ışıınının toplam ve difüz bileşen değeri,
- Rüzgar hızı ve yönü ölçülür.

Bu işlemler her adımda en az dört kez tekrarlanır. Her adım için ölçümlerin yarısının öğleden önce, yarısının ise öğleden sonra alınması ve ölçüm noktalarının gerçek öğle zamanına göre simetrik seçilmesi tercih edilir.

Deney sırasında ısı taşıyıcı akışkanın kollektörden giriş sıcaklığından daha düşük bir sıcaklıkta çıkması durumunda denge sıcaklığı aşılmış olur. Denge sıcaklığının 100°C 'yi geçmesi halinde ısı taşıyıcı akışkan olarak, su yerine uygun sıvıların kullanılması gereklidir.

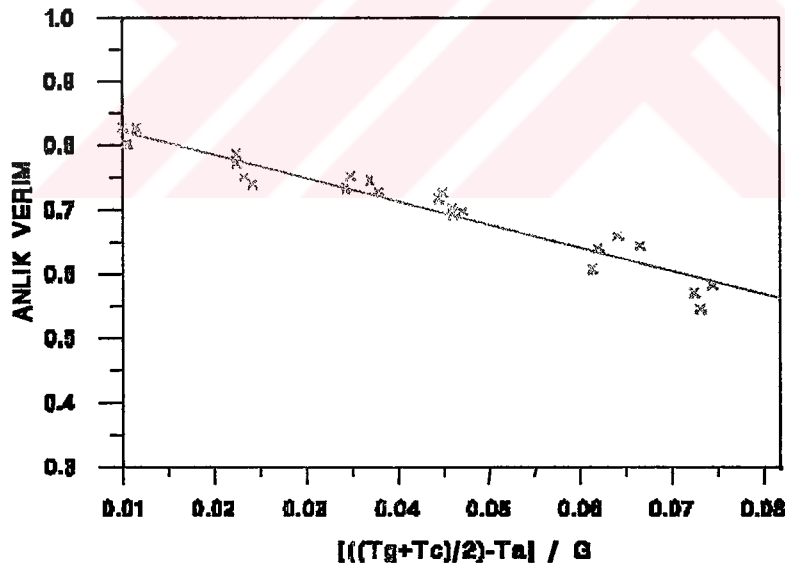
Isı taşıyıcı akışkanın giriş sıcaklığı, deneyin ilk adımında çevre sıcaklığına eşit alınır ve denge sıcaklığına ulaşıncaya kadar devam edilir. Sondan bir önceki basamakta ise bu sıcaklıktan 20°C küçük bir sıcaklık seçilir. Son basamakta ayrıca debi değişikliğinin etkisini ortaya koymak için ısı taşıyıcı akışkanın debisi anma debisinin yarısına düşürülür. Denge sıcaklığına beş adımdan önce ulaşılması veya ısı taşıyıcı akışkanın bu sıcaklığa ulaşmadan önce faz değiştirmesi durumunda, deney adımları sayısı beşten az olabilir. Deney sonunda, elde edilen değerler yardımıyla gerekli hesaplamalar ve çizimler yapılır.

Kollektörün verimi akışkanın giriş sıcaklığına, çıkış sıcaklığına, ısıtım şiddetine, güneş ışınlarının geliş açısına, rüzgar hızı gibi değişkenlere bağlı olarak gün boyunca değişim gösterdiğinden kollektör verimi "kollektör verim eğrisi" ile gösterilir. Şekil 4.3.'ten tek cam örtülü, seçici yüzeyli düzlemsel güneş kollektörünün verim eğrisi verilmektedir. Anlık verim ordinata, işletme noktası parametresi apsise taşınarak en küçük kareler metoduyla verim eğrisi bulunur.

Bu grafiğin eğimi $F_R U_L$, ordinat eksenini kestiği nokta ise $F_R (\tau\alpha)$ değerini verir. Kollektör verim eğrisinden gidilerek toplam ısı kayıp katsayısı ve kollektör verim faktörü hesaplanır. Deneyin duyarlık sınırları içinde kollektör için elde edilen eğri bir doğruya benzetilmektedir. Elde edilen eğrinin bir doğru olması için toplam ısı kayıp katsayısı, her deney adımında dış ortam özelliklerinden dolayı değişmektedir.

Kollektöre giren akışkanın sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki farkın küçük olduğu değerlerde kollektör üzerine gelen güneş ışıını küçük olsa dahi kollektör verimi büyük olmaktadır. Akışkanın toplayıcıya giriş sıcaklığı çevre sıcaklığından daha küçük ise, ışıının olmadığı saatlerde bile çevreden kollektöre ısı geçişinden dolayı akışkanın sıcaklığı artar. Bu sebeple kollektörleri birbiriyle karşılaştırırken aynı deney şartlarındaki (rüzgar hızı, ışıının şiddeti, akışkan giriş sıcaklığı, çevre sıcaklığı vb.) verimleri göz önüne alınmalıdır.

İşletme noktası parametresi, kollektör üzerine gelen güneş ışıını, çevre sıcaklığı ve akışkanın kollektöre giriş sıcaklığına bağlı olarak günün saatlerine göre değişim gösterir. Verimin işletme noktası parametresi ile değişimi lineer kabul edilirse, doğrunun eğimi azaldıkça kollektörün ortalama verimi artar.



Şekil 4. 3. Tek cam örtülü ve seçici yüzeyli düzlemsel güneş kollektörünün verim testi sonucunda çizilen kollektör verim eğrisi.

4.1.3. Test sırasında kullanılan ölçü aletleri

Deneyler sırasında sıcaklık, güneş ışıınımı, debi ve rüzgar ölçerler kullanılır. Isı taşıyıcı akışkanın çıkış ve giriş sıcaklıkları arasındaki farkları ölçmek için kullanılan sıcaklık ölçerler, en çok $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ hatayla, çevre ve ısı taşıyıcı akışkan sıcaklıkları arasındaki farkları ölçmek için kullanılan sıcaklık ölçerler ise en çok $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ çevre ve ısı taşıyıcı akışkan sıcaklıkları ile yüzey sıcaklıklarını ölçmek için kullanılan sıcaklık ölçerlerde $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ hata ile ölçüm yapabilen tipten olmalıdır. Sıcaklık ölçümleri aşağıdaki cihazlardan herhangi biriyle yapılır;

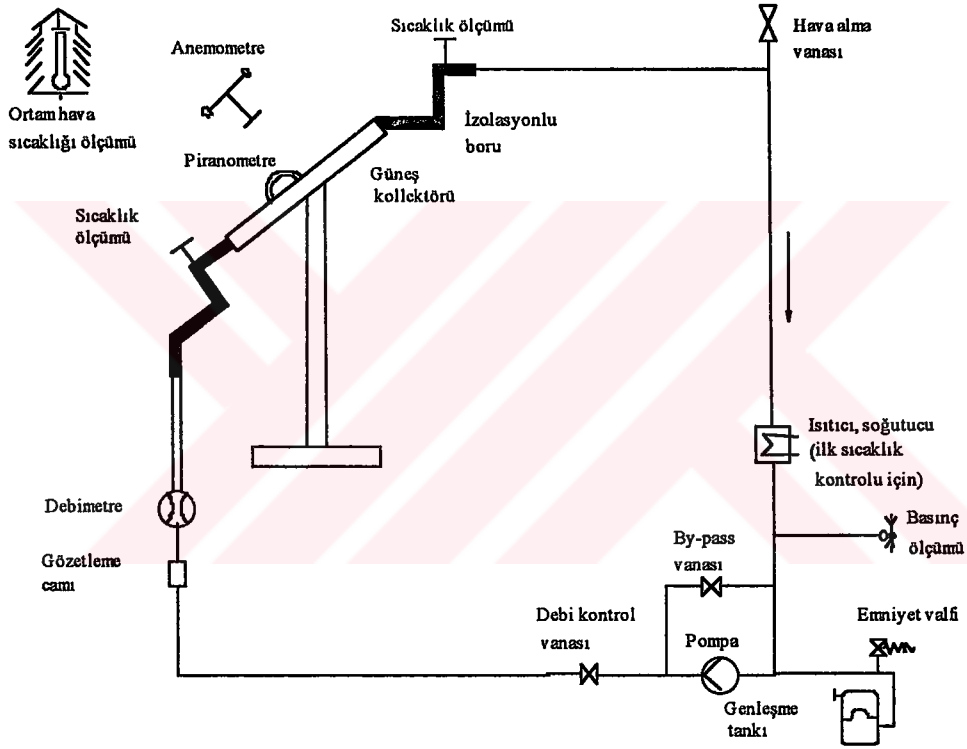
- Köprü tipi dirençli termometre,
- Sıvılı hassas termometre,
- Ayarlanabilir termistör,
- Uygun empedanslı, ayarlanabilir termokupl

Çevre sıcaklığını ölçmek için kullanılan sıcaklık ölçer güneşten korunması amacıyla uygun bir koruyucuya yerleştirilmelidir. Koruyucu, kollektörün arka tarafından en çok 0,5 m uzağa, tabanı kollektörün yarı yüksekliği seviyesinde bulunacak ve içinde serbest hava dolaşımı olacak şekilde konulmalıdır. Isı taşıyıcı akışkan sıcaklığını ölçmek için kullanılan sıcaklık ölçerler kollektörün en çok 15 cm uzağına yerleştirilmelidir.

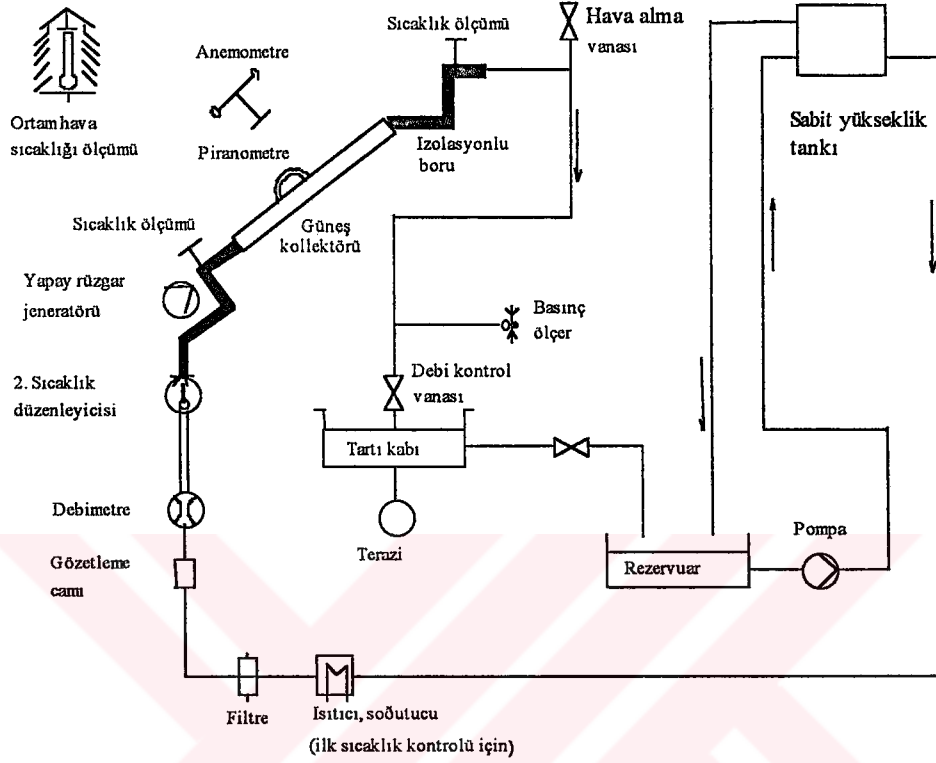
Toplam difüz ve direkt güneş ışıınımını ölçmek için kullanılan cihazlar piranometre ve pirheliometre olmalıdır. Deneyler süresince debi ölçerler, havalı kollektörlerde en çok $\pm 0,36 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$, sıvılı kollektörlerde en çok $0,72 \text{ kg}/\text{m}^2\text{h}$ hata ile ölçüm yapacak türden olmalıdır. Şekil 4.4'te kollektör verim testi için kapalı çevrim, Şekil 4.5'te kollektör verim testi için açık çevrim gösterilmiştir. Bu testlerdeki debi ölçümleri aşağıdaki ölçüm aletleriyle yapılır:

- Değişken alanlı debi ölçerler,
- Pitot tüpü,

- Venturimetre,
- Mıknatıslı ölçerler,
- Rüzgar ölçer,
- Duyar terazi ve kronometre.



Deneyler rüzgardan korunma imkanı bulunmayan bir yerde yapılıyorsa rüzgar hız ve yönü deneyler süresince ölçülmelidir. Ölçmede kullanılan cihaz kolektörün üst kenerından 1 m daha yükseğe yerleştirilmelidir. Rüzgar ölçümleri devamlı yapılamıyorsa her deney adımı veya deneyden en az 10 dakika önce rüzgar hız ve yönü ölçülmeye başlanır. Bu işlem bütün deney adımları boyunca sürdürülür. Rüzgar ölçmeleri kaydedicili ve kaydedicisiz rüzgar ölçüm cihazlarından biriyle yapılabilir.



Şekil 4.5. Kollektör verim testi için açık çevrim

4.2. Güneş Kollektörlerinin Dayanıklılık Testleri

Dayanıklılık testleri içinde; kollektör malzemelerinin yaşlanması, mekanik etkilere, meteorolojik şartlara ve proses özelliklerine dayanımı yer alır. Dünyadaki büyük güneş enerjisi laboratuvarlarında kollektör dayanıklılık testlerini ISO-9806-2'ye göre düzenlemişlerdir. Tablo 4.1'de ISO-9806-2'ye göre dayanıklılık test prosedürü adımları verilmiştir (Tırıs 1997).

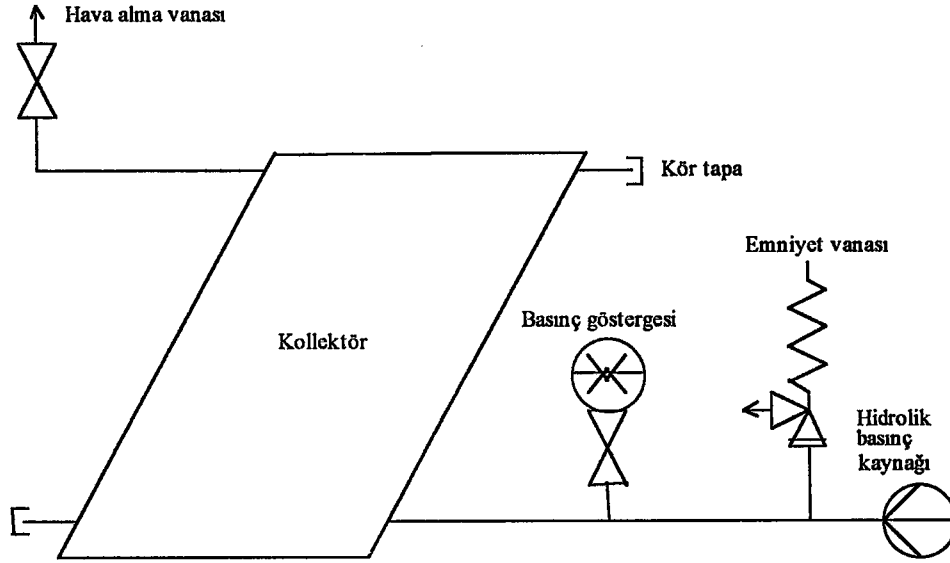
Tablo 4.1. ISO-9806-2'ye göre dayanıklılık test prosedürü adımları.

Adım No	Test İsmi
1	İç basınç testi
2	Yüksek sıcaklığa dayanım testi
3	Güneşlenme testi
4	Dış ısı şok testi
5	İç ısı şok testi
6	Yağmur testi
7	Donmaya dayanıklılık testi
8	İç basınç testi
9	Verim testi
10	Camın çarpmaya dayanıklılık testi
11	Son İnceleme

İç basınç testi: Kollektörün çalışması sırasında yutucu yüzeyin maruz kalacağı basınca dayanıklılığın kontrol edilmesi amacıyla taşıyan bu test yöntemi, yutucu yüzey kaplama malzemesinin cinsine göre farklı şekillerde uygulanır.

Test sistemi temelde; basınç ölçüm cihazı ve basınç kaynağından oluşmuştur (Şekil 4.6). Üreticinin verdiği çalışma basıncının 1,5 misli basınç verilerek test gerçekleştirilir. Metalik yutucu yüzeyler için deney süresi 10 dakikadır. Organik malzemeden yapılmış yutucu yüzeyler için sıcaklıkla mukavemet azalması dikkate alınmalıdır.

Deney düzeneğine ısıtma banyosu eklenmeli veya kollektör, güneş simülatörüyle yada doğal güneş ışınlımla ısıtılmalıdır. Organik yutucu yüzeyin testinde, istenen basınç değerine 0,2 bar'lık artışlarla (her adım 5 dakika olacak şekilde) ulaşılmalıdır.



Şekil 4. 6. Metal yutucu yüzeyli kollektörler için iç basınç deney düzeneği

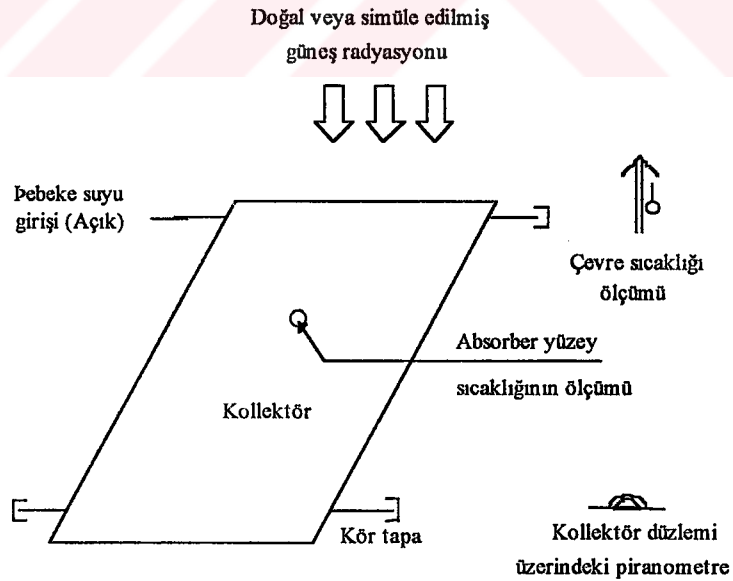
Yüksek sıcaklığa dayanım testi: Kollektörün yüksek güneş radyasyonuna maruz kalması durumunda cam kırılması plastik örtüde bozulma, plastik yutucu yüzeyin erimesi, kollektör malzemesinin cam örtü üzerine buharlaşarak birikmesi gibi oluşabilecek olumsuz etkileri incelemektir.

Kollektör güneş simülatörüne yerleştirilerek bir saat süreyle 950 W/m^2 'nin üzerinde ışınlıma tabi tutulur. Bu deneyi alternatif olarak dış ortamda veya sıcak akışkan çevriminde yapmak mümkündür. Dış ortam testlerinde Tablo 4.2'de verilen iklim şartlarının sağlanması gerekir (Tırıs 1997). Sıcak akışkan çevrimi kullanılması halinde, akışkan alttan üste doğru, sabit giriş sıcaklığında ve kollektör verim testinde tanımlanan debide dolaştırılır.

Tablo 4. 2. Yüksek sıcaklığa dayanım deneyi için ortam şartları.

İklimsel parametre	A Sınıfı (ılıman)	B Sınıfı (güneşli)	C Sınıfı (çok güneşli)
Kollektör üzerine gelen toplam ışıınım (W/m^2)	950-1049	1050-1200	>1200
Dış ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$)	25.0-29.9	30-40	>40
Rüzgar hızı (m/s)	<1	<1	<1

Dış ortama veya simülatöre yerleştirilmiş kollektörün içindeki akışkan boşaltılır, giriş-çıkış'tan biri kapatılıp diğeri genişlemeye imkan verecek şekilde açık tutulur. Deney süresince yutucu yüzey sıcaklığı, dış ortam sıcaklığı, güneş ışıınımı kaydedilir. Yutucu yüzeye yerleştirilen sensörün yeri; kollektör genişliğinin orta noktası, kollektör uzunluğunun (alttan itibaren) 2/3'üne denk gelecek şekildedir (Şekil 4.7).



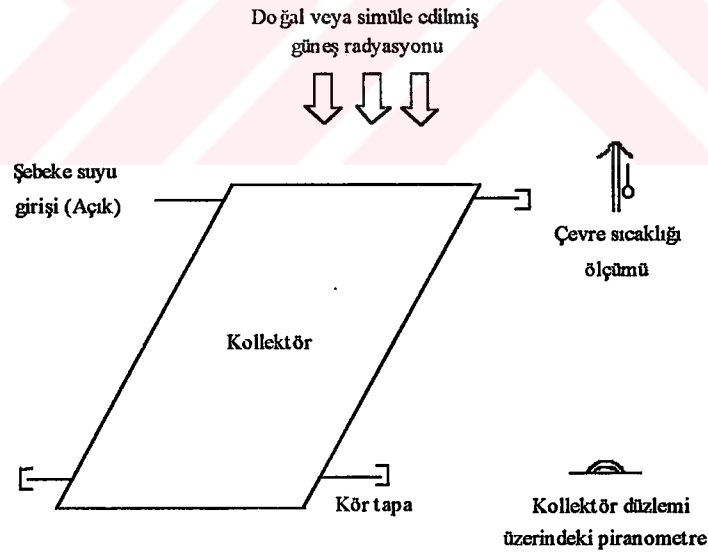
Şekil 4.7. Yüksek sıcaklığa dayanım deney düzeniğinin şematik gösterimi

Güneşlenme testi: Bu deney doğal yaşlandırma ile ilgili bazı göstergelerin kısa sürede ve düşük maliyetle elde edilmesi amacını taşır.

Kollektör, Tablo 4.3'te verilen iklim sınıflarından en düşük ışıınım sınıfında en az 30 saat bırakılır (Tırıs 1997). Deney sırasında dış ortam sıcaklığı ve ışıınım seviyesi en az 30 dakikada bir kaydedilir. Şekil 4.8'de güneşlenme deney düzeneğinin şematik gösterimi verilmiştir.

Tablo 4. 3. Güneşlenme, iç ve dış ısı şok deneyleri için ortam şartları.

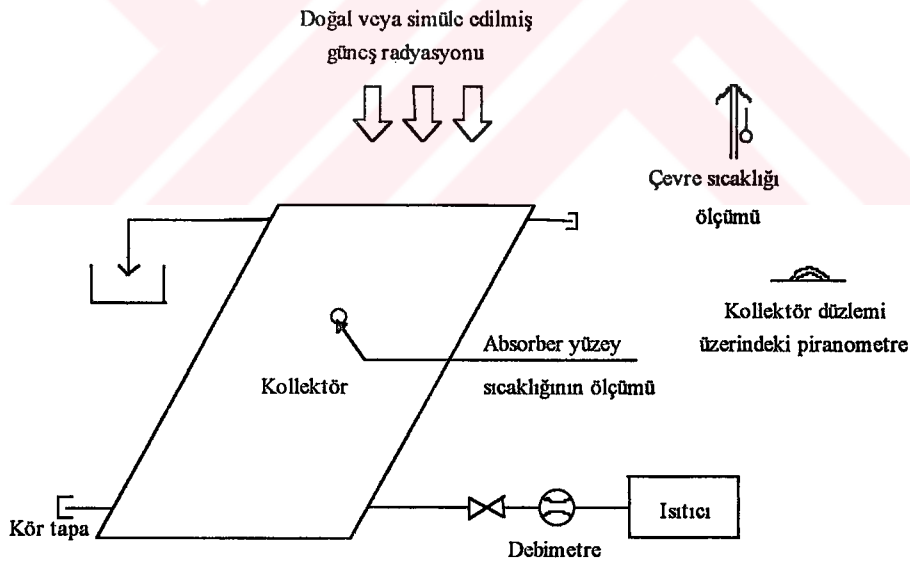
İklimsel parametre	A Sınıfı (ılıman)	B Sınıfı (güneşli)	C Sınıfı (çok güneşli)
Kollektör üzerine gelen toplam anlık ışıınım (W/m^2)	850	950	1050
Kollektör üzerine gelen toplam günlük ışıınım (MJ)	14	18	20
Dış ortam sıcaklığı ($^{\circ}C$)	10	15	20



Şekil 4.8. Güneşlenme deney düzeneğinin şematik gösterimi

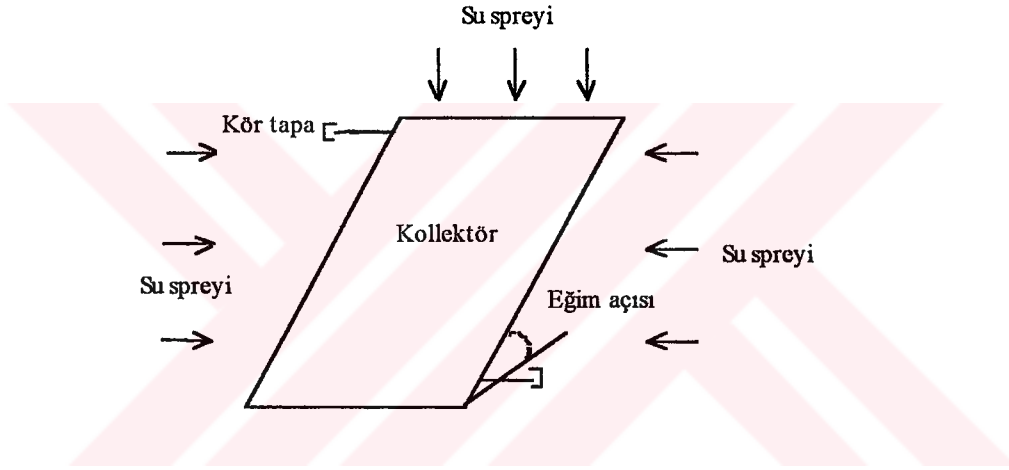
Dış ısı şok testi: Kollektörler güneşli sıcak bir günde aniden yağmura maruz kalabilirler. Bu durumda kollektör davranışının ne olacağını belirlemek için "dış ısı şok testi" geliştirilmiştir. Kollektörler dış ortam veya güneş simülatörüne yerleştirilir. Giriş -çıkış'tan biri kapatılıp diğeri açık tutularak genleşmeye imkan verilir Bir saatlik güneş ışınlamından sonra su spreyi vasıtasıyla 15 dakikalık soğutma periyoduna geçilir, bu işlem 2 defa tekrarlanır.

İç ısı şok testi: Kollektörlerde sıcak güneşli bir günde soğuk akışkanın dolaştırılmasıyla içten bir ısı şok oluşması ve kollektörün bu durumdan etkilenmesi beklenebilir. Bu nedenle iç ısı şok testi geliştirilmiştir (Şekil 4.9). Kollektör yüksek derecede güneş ışınlamına bir saat süreyle maruz bırakılır, ısı transfer akışkanı en az beş dakika süreyle dolaştırılır. Deney süresince yutucu yüzey sıcaklığı ölçülür. Dolaştırılan akışkanın sıcaklığı 25°C debisinin ise 0,02 kg/m³ olması önerilir.



Şekil 4.9. İç ısı şok deney düzeneğinin şematik gösterimi

Yağmur testi: Kollektörlerin yağmura karşı direncini belirlemek amacıyla yapılır. Yağmur test ünitesine 45° lik açıyla yerleştirilen kollektörlerin üzerine 4 saat süreyle yağmur verilir. Deney sırasında akışkan giriş ve çıkış delikleri kapatılır, kollektörün dış yüzeyleri kurularak en az 20 g hassasiyetteki terazi, ile tartılır. İki tartım arasındaki fark güneşte veya güneş simülatöründe ışıma tabi tutulan kollektör camındaki buğulanmalar, yağmur girişinin göstergesidir. Şekil 4.10'de yağmur testinin şematik gösterimi verilmiştir.

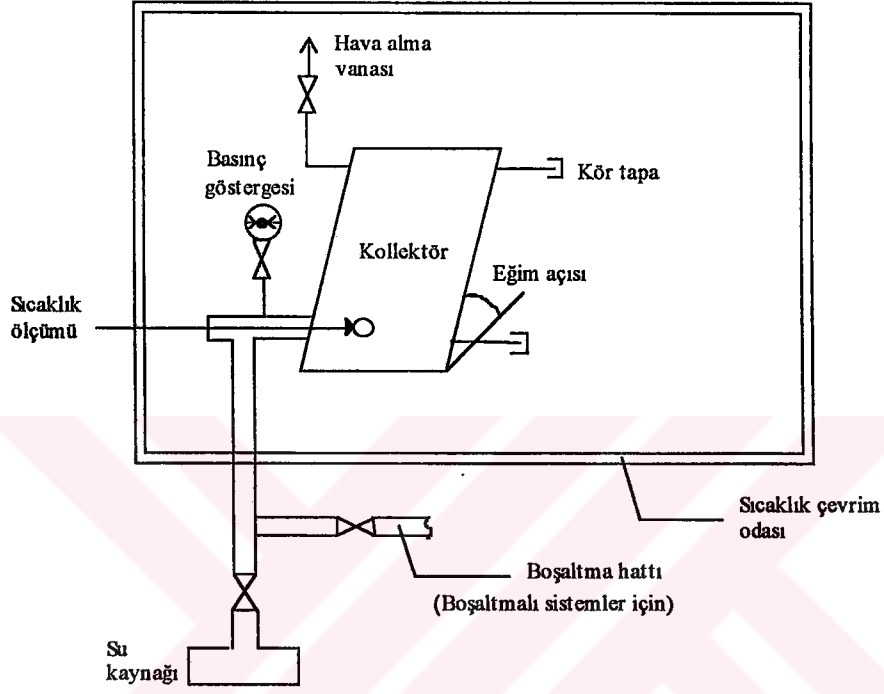


Şekil 4.10. Yağmur testinin şematik gösterimi

Donmaya dayanıklılık testi: Kollektörlerin diğer hava şartları gibi çok soğuk ortamlara da dayanımları gereklidir. Bu sebeple yapılan donma testinde kollektör soğutma ve ısıtma odalarına konur.

Bu deneyde 30° açıyla soğuk odaya ($-20 \pm 2^{\circ}\text{C}$) yerleştirilen kollektör, 30 dakikalık bir donma periyodundan sonra $+10^{\circ}\text{C}$ 'lık çözünme odasına alınıp 30 dakika bekletilir. Bu işlem boş ve dolu kollektörler için üçer defa tekrarlanır. Donmaya dayanıklılık testleri $\pm 1^{\circ}\text{C}$ hassasiyetle sıcaklık kontrolü yapılabilen iklimik odalar

kullanılmaktadır. Şekil 4.11’de donmaya dayanıklılık deney düzeneğinin şematik gösterimi verilmiştir.

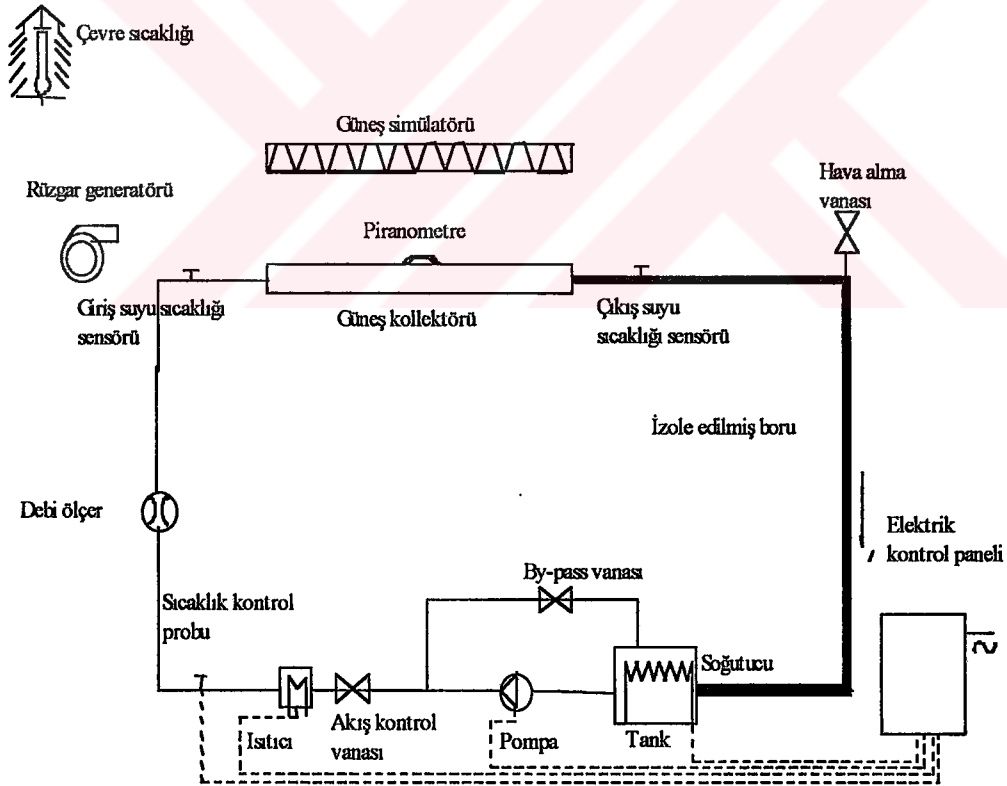


Şekil 4.11. Donmaya dayanıklılık deney düzeneğinin şematik gösterimi

BÖLÜM 5 . DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. Deney Düzeneği

Deney düzeneği Şekil 5.1’de şematik olarak gösterilmiştir. Bünyesinde çapları 20 cm, yükseklikleri 35 cm olan 36 adet OSRAM HQIE 400 karakteristiklerinden lambaların kullanıldığı ve 790 Watt/m^2 ile 958 Watt/m^2 ’lik doğal güneş ışımına eşdeğer spektral ışımını oluşturan güneş simülatörü kullanıldı.



Şekil 5.1. Düzlemsel Yüzeyli Güneş Kollektörünün Verim Testi Deney Düzeneği

Düzlemsel yüzeyli güneş kollektörü enleme eşit eğim açısında vidalı sistem üzerine oturtuldu. Test bölgesinde kollektör giriş ve kollektör çıkış kanalı ısı kayıplarını minimuma indirmek amacıyla termal izoleli olarak yapıldı. Kollektör yüzeyi üzerinde ideal dış ortam koşullarını oluşturmak amacıyla yapay rüzgar jeneratörü maksimum 5 m/s hız oluşturacak şekilde düzenlendi. Simulatör ortamında kollektör yüzeyi üzerine düşen yapay güneş ışımasını şiddetini ölçmek için piranometre cihazı kullanıldı, piranometre kollektörün hem kısa hem de uzun kenarından 50 cm. uzağa monte edildi.

Deney düzeneğinde kollektör giriş ve çıkış kanalında ısı taşıyıcı akışkanın sıcaklığını ölçmek için uygun empedanslı iki adet termokupl kullanıldı. Özellikle hata payı en çok $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ olacak şekilde ölçüm yapabilen termokupllar seçildi. Ayrıca deney adımları süresince çevre sıcaklığı değerinin ilk değerinden en çok $\pm 2^{\circ}\text{C}$ farklı olabileceği gözönünde bulundurularak her bir deney adımında ortam hava sıcaklık ölçümünü yapan termokupllar kullanıldı.

Kollektör çıkışında sıcaklık ölçümünü yapan termokupldan hemen sonra sirkulasyonda oluşabilecek hava kabarcıklarının dışarı atımı için hava alma valfi monte edildi. Kollektör çıkışında sıcaklığı yükselen ısı taşıyıcı akışkanın sıcaklığını kollektör giriş sıcaklığı değerine ulaştırmak amacıyla soğutucu tank kullanıldı. Çevrimdeki dolaşımı sağlamak için soğutucu tank çıkışına sirkulasyon pompası yerleştirildi. Eğer sistem bünyesindeki basınç arzu edilen değerde ise akışkanın pompaya girmesine gerek kalmadan by-pass ve debi kontrol valflerinden geçmesini sağlayacak otomatik kontrol sistemi kullanıldı.

Deneydeki ısı taşıyıcı akışkanın debi ölçümü değişken alanlı debi ölçer kullanılarak gerçekleştirildi. Sonuç olarak deney süresince sıcaklık ölçümü için 3 adet termokupl ($\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ hata ile ölçüm yapabilen tipte) 1 adet debi ölçer, güneş ışımasını ölçen piranometre cihazı ve yapay rüzgar jeneratörü kullanıldı.

5.2. Deneyin Yapılışı

Kollektör anlık verimi; çalışma akışkanından elde edilen yararlı ısının kollektör üzerine gelen güneş ışınımına oranı olduğu gözönüne alındığında:

$$\eta = \frac{Q}{A.G} \text{ ifadesi elde edilir.} \quad (5.1)$$

η : Kollektör anlık verimi

Q: Kollektör tarafından kullanılan enerji (W).

A: Kollektör net alanı (m²).

G: Güneş ışınım şiddeti (W/m²).

$$Q = m \cdot C_p \Delta T = m \cdot C_p \cdot (T_{\text{çıkış}} - T_{\text{giriş}}) \text{ şeklindedir.} \quad (5.2)$$

Sıvılı düzlemsel tip güneş kollektörü eğimi 0° olacak şekilde simülatör ortamına yerleştirildi. Kollektör ile sistemde sirkülasyonu sağlayan akışkanın taşınacağı termal izoleli boruların bağlantısı yapıldı. Başlangıçta giriş suyu sıcaklığı 25°C'ye ayarlandı. Sistemin rejime ulaşması bakımından proses içinde 35-40 dakikalık bir süre boyunca akışkan sirkülasyonu sağlandı. Proseste sirkülasyonu sağlanan akışkanın kütleli debisi 0,0305 kg/s olacak şekilde valf açıklığı belirli bir konuma getirildi. Deney adımlarına geçilmeden önce ortam sıcaklığının stabil değişimler gösterip-göstermediği gözlemlendi. Simülatör ortamında son derece önemli olan elektrik voltajının değişim aralığı incelendi.

Beşer dakikalık periyotlar halinde T_{in} (°C) akışkanın kollektöre giriş sıcaklığı, T_{out} (°C) akışkanın kollektörden çıkış sıcaklığı, T_{am} (°C) ortam sıcaklığı, G (W/m²) yapay güneş ışınımı şiddeti, V (m/s) kollektör yüzeyi üzerinde oluşturulan rüzgar hızı ölçümleri yapıldı.

Başlangıçta akışkanın kollektöre giriş sıcaklığı 25°C olmak üzere 25 adet ölçüm değeri alındı ve bunlar kaydedildi. Benzer şekilde 35°C, 45°C, 55°C, 65°C ve 75°C'lik kollektör giriş suyu sıcaklıkları için aynı prosedür takip edildi. Sırasıyla siyah mat boyalı ve seçici yüzeyli kollektörler için gerekli ölçümler alındıktan sonra en küçük kareler yöntemine bağlı olarak kollektör anlık verim eğrileri elde edildi (Tablo 5.1-Tablo 5.2).

Tablo 5.1. Siyah mat boyalı kollektör için ölçüm değerleri.

Zaman(dak)	Debi(kg/s)	T _{in} (°C)	T _{out} (°C)	T _{am} (°C)	G(W/m ²)	V(m/s)
9.30	0,0305	25,1	32,7	28,4	840	4,0
9.35	0,0305	25,2	32,6	28,5	845	4,1
9.40	0,0305	25,1	32,7	28,3	840	3,9
9.45	0,0305	25,3	32,8	28,4	835	3,8
9.50	0,0305	25,2	32,6	28,5	830	3,7
9.55	0,0305	25,3	32,5	28,6	825	3,6
10.00	0,0305	25,2	32,6	28,5	830	3,7
10.05	0,0305	25,1	32,4	28,6	835	3,8
10.10	0,0305	25,0	32,7	28,4	840	3,9
10.15	0,0305	25,2	32,5	28,5	850	3,8
10.20	0,0305	25,3	32,6	28,6	845	3,7
10.25	0,0305	25,4	32,7	28,5	840	3,8
10.30	0,0305	25,2	32,8	28,7	835	3,9
10.35	0,0305	25,3	32,7	28,5	840	3,7
10.40	0,0305	25,2	32,6	28,6	830	3,6
10.45	0,0305	25,1	32,7	28,4	840	3,7
10.50	0,0305	25,3	32,5	28,5	835	3,8
10.55	0,0305	25,2	32,9	28,6	845	3,9
11.00	0,0305	25,3	32,7	28,7	835	3,8
11.05	0,0305	25,2	32,6	28,5	830	3,7
11.10	0,0305	25,0	32,5	28,6	825	3,6
11.15	0,0305	25,2	32,4	28,7	820	3,7
11.20	0,0305	25,3	32,5	28,6	830	3,8
11.25	0,0305	25,4	32,5	28,5	830	3,9
11.30	0,0305	25,0	32,6	28,5	835	3,7

Tablo 5.1. Devam..

Zaman(dak)	Debi(kg/s)	T _{in} (°C)	T _{out} (°C)	T _{am} (°C)	G(W/m ²)	V(m/s)
14.00	0,0305	35,3	42,3	28,5	850	3,8
14.05	0,0305	35,2	42,4	28,7	855	3,9
14.10	0,0305	35,3	42,3	28,6	860	4,0
14.15	0,0305	35,4	42,2	28,6	865	4,1
14.20	0,0305	35,3	42,1	28,5	860	3,9
14.25	0,0305	35,2	42,0	28,7	855	3,8
14.30	0,0305	35,1	42,2	28,6	850	3,7
14.35	0,0305	35,3	42,5	28,5	855	3,6
14.40	0,0305	35,4	42,6	28,4	860	3,8
14.45	0,0305	35,2	42,7	28,5	865	3,9
14.50	0,0305	35,1	42,8	28,6	870	3,7
14.55	0,0305	35,2	42,7	28,5	865	3,8
15.00	0,0305	35,3	42,9	28,6	860	3,9
15.05	0,0305	35,2	42,8	28,7	855	3,8
15.10	0,0305	35,3	42,7	28,5	850	3,7
15.15	0,0305	35,1	42,6	28,4	855	3,6
15.20	0,0305	35,4	42,5	28,5	860	3,7
15.25	0,0305	35,3	42,6	28,6	855	3,8
15.30	0,0305	35,2	42,7	28,7	850	3,9
15.35	0,0305	35,1	42,6	28,5	845	3,8
15.40	0,0305	35,0	42,5	28,4	850	3,7
15.45	0,0305	35,2	42,6	28,6	855	3,9
15.50	0,0305	35,3	42,7	28,7	860	3,8
15.55	0,0305	35,2	42,8	28,7	865	3,7
16.00	0,0305	35,3	42,6	28,8	860	3,9

Tablo 5.1. Devam..

Zaman(dak)	Debi(kg/s)	T _{in} (°C)	T _{out} (°C)	T _{am} (°C)	G(W/m ²)	V(m/s)
09.30	0,0305	45,2	51,5	29,1	850	4,0
09.35	0,0305	45,4	51,6	29,1	855	3,9
09.40	0,0305	45,3	51,7	29,2	860	3,8
09.45	0,0305	45,4	51,7	29,3	865	3,9
09.50	0,0305	45,5	51,6	29,2	860	3,7
09.55	0,0305	45,6	51,5	29,4	855	3,9
10.00	0,0305	45,5	51,6	29,3	850	4,1
10.05	0,0305	45,4	51,5	29,2	855	4,2
10.10	0,0305	45,3	51,6	29,3	855	3,9
10.15	0,0305	45,4	51,6	29,2	860	3,8
10.20	0,0305	45,5	51,7	29,3	860	3,7
10.25	0,0305	45,6	51,8	29,4	865	3,9
10.30	0,0305	45,4	51,9	29,2	865	3,9
10.35	0,0305	45,3	51,8	29,3	870	3,7
10.40	0,0305	45,4	51,8	29,2	865	3,8
10.45	0,0305	45,5	51,6	29,1	860	3,9
10.50	0,0305	45,2	51,5	29,2	845	4,0
10.55	0,0305	45,3	51,5	29,1	850	4,1
11.00	0,0305	45,4	51,6	29,3	855	4,0
11.05	0,0305	45,3	51,5	29,3	855	3,9
11.10	0,0305	45,2	51,5	29,2	850	3,7
11.15	0,0305	45,2	51,6	29,4	860	3,8
11.20	0,0305	45,3	51,7	29,5	855	3,9
11.25	0,0305	45,4	51,6	29,2	850	3,8
11.30	0,0305	45,3	51,7	29,3	845	3,7

Tablo 5.1. Devam..

Zaman(dak)	Debi(kg/s)	T _{in} (°C)	T _{out} (°C)	T _{am} (°C)	G(W/m ²)	V(m/s)
14.00	0,0305	55,3	60,2	28,7	860	3,8
14.05	0,0305	55,2	60,3	28,5	855	3,9
14.10	0,0305	55,1	60,4	28,4	850	3,9
14.15	0,0305	55,2	60,2	28,3	855	4,0
14.20	0,0305	55,3	60,3	28,2	860	3,9
14.25	0,0305	55,4	60,4	28,5	865	3,8
14.30	0,0305	55,3	60,4	28,4	860	3,8
14.35	0,0305	55,2	60,3	28,5	855	3,7
14.40	0,0305	55,3	60,4	28,6	850	3,8
14.45	0,0305	55,4	60,5	28,5	855	3,9
14.50	0,0305	55,5	60,5	28,4	860	4,0
14.55	0,0305	55,4	60,4	28,3	855	4,1
15.00	0,0305	55,3	60,5	28,4	865	4,0
15.05	0,0305	55,5	60,7	28,5	860	4,2
15.10	0,0305	55,4	60,6	28,6	865	4,1
15.15	0,0305	55,5	60,5	28,7	860	3,9
15.20	0,0305	55,4	60,6	28,7	855	4,0
15.25	0,0305	55,6	60,7	28,8	850	3,8
15.30	0,0305	55,3	60,5	28,9	855	3,7
15.35	0,0305	55,4	60,6	28,7	850	3,9
15.40	0,0305	55,6	60,8	28,6	860	4,0
15.45	0,0305	55,7	60,9	28,7	870	3,9
15.50	0,0305	55,6	60,7	28,5	865	3,8
15.55	0,0305	55,7	60,6	28,5	860	3,9
16.00	0,0305	55,7	60,5	28,6	865	4,0

Tablo 5.1. Devam...

Zaman(dak)	Debi(kg/s)	T _{in} (°C)	T _{out} (°C)	T _{am} (°C)	G(W/m ²)	V(m/s)
09.30	0,0305	65,3	69,7	28,4	845	4,0
09.35	0,0305	65,2	69,8	28,5	850	4,1
09.40	0,0305	65,1	69,8	28,5	855	3,9
09.45	0,0305	65,0	69,7	28,4	860	3,8
09.50	0,0305	65,2	69,6	28,5	855	3,7
09.55	0,0305	65,1	69,7	28,5	850	3,9
10.00	0,0305	65,2	69,8	28,6	845	3,8
10.05	0,0305	65,3	69,7	28,6	850	3,9
10.10	0,0305	65,2	69,8	28,4	855	3,9
10.15	0,0305	65,3	69,8	28,5	850	3,7
10.20	0,0305	65,2	69,8	28,5	850	3,8
10.25	0,0305	65,1	69,7	28,4	855	3,9
10.30	0,0305	65,2	69,7	28,5	860	3,9
10.35	0,0305	65,1	69,7	28,4	855	4,0
10.40	0,0305	65,0	69,7	28,5	860	4,1
10.45	0,0305	65,1	69,8	28,4	855	3,9
10.50	0,0305	65,2	69,9	28,5	850	4,0
10.55	0,0305	65,2	69,9	28,5	860	3,7
11.00	0,0305	65,1	69,8	28,4	865	3,8
11.05	0,0305	65,1	69,7	28,6	855	3,9
11.10	0,0305	65,2	69,7	28,5	850	4,0
11.15	0,0305	65,3	69,8	28,5	850	3,9
11.20	0,0305	65,2	69,8	28,6	845	4,1
11.25	0,0305	65,1	69,7	28,4	845	4,0
11.30	0,0305	65,2	69,8	28,3	850	3,9

Tablo 5.1. Devam...

Zaman(dak)	Debi(kg/s)	T _{in} (°C)	T _{out} (°C)	T _{am} (°C)	G(W/m ²)	V(m/s)
14.00	0,0305	74,2	77,6	28,4	840	3,9
14.05	0,0305	74,1	77,6	28,5	845	3,8
14.10	0,0305	74,2	77,7	28,5	850	3,9
14.15	0,0305	74,2	77,6	28,4	850	4,0
14.20	0,0305	74,3	77,7	28,4	845	4,1
14.25	0,0305	74,2	77,8	28,4	850	3,9
14.30	0,0305	74,2	77,8	28,5	855	4,0
14.35	0,0305	74,3	77,7	28,5	850	3,9
14.40	0,0305	74,3	77,8	28,6	845	3,9
14.45	0,0305	74,3	77,8	28,5	840	4,0
14.50	0,0305	74,3	77,8	28,4	845	3,8
14.55	0,0305	74,2	77,7	28,5	845	3,9
15.00	0,0305	74,2	77,7	28,5	850	4,0
15.05	0,0305	74,1	77,6	28,4	850	4,1
15.10	0,0305	74,1	77,6	28,5	850	3,9
15.15	0,0305	74,1	77,6	28,5	850	3,8
15.20	0,0305	74,0	77,7	28,4	855	3,7
15.25	0,0305	74,0	77,6	28,5	855	3,8
15.30	0,0305	74,0	77,6	28,6	860	3,9
15.35	0,0305	74,1	77,7	28,5	860	3,9
15.40	0,0305	74,1	77,6	28,5	860	4,0
15.45	0,0305	74,2	77,7	28,4	850	4,1
15.50	0,0305	74,2	77,7	28,5	840	4,0
15.55	0,0305	74,2	77,7	28,5	835	3,9
16.00	0,0305	74,2	77,6	28,4	840	3,9

Tablo 5.2. Seçici yüzeyli kolektör için ölçüm değerleri

Zaman(dak)	Debi(kg/s)	T _{in} (°C)	T _{out} (°C)	T _{am} (°C)	G (W/m ²)	V(m/s)
09.30	0,0305	25,1	36,2	28,3	885	3,8
09.35	0,0305	25,2	36,0	28,4	880	4,1
09.40	0,0305	25,3	36,1	28,2	880	4,2
09.45	0,0305	25,2	36,0	28,1	880	3,6
09.50	0,0305	25,0	36,3	28,0	878	3,9
09.55	0,0305	25,2	36,2	28,2	875	3,8
10.00	0,0305	25,1	36,3	28,1	870	3,7
10.05	0,0305	25,2	36,1	27,9	885	4,0
10.10	0,0305	25,3	36,0	28,0	875	4,1
10.15	0,0305	25,2	36,0	28,2	880	4,3
10.20	0,0305	25,3	36,1	28,1	880	3,9
10.25	0,0305	25,3	36,0	28,0	875	4,1
10.30	0,0305	25,2	36,1	27,9	885	3,9
10.35	0,0305	25,3	36,2	28,2	880	4,0
10.40	0,0305	25,2	36,3	28,0	885	4,1
10.45	0,0305	25,0	36,2	28,1	875	4,3
10.50	0,0305	25,1	36,3	28,4	885	3,7
10.55	0,0305	25,3	36,2	28,2	870	3,8
11.00	0,0305	25,2	36,3	28,1	868	3,9
11.05	0,0305	25,3	36,2	28,4	860	4,1
11.10	0,0305	25,2	36,1	28,2	875	4,0
11.15	0,0305	25,3	36,2	28,1	880	4,2
11.20	0,0305	25,1	36,0	28,0	875	3,9
11.25	0,0305	25,0	36,3	28,2	870	3,8
11.30	0,0305	25,2	36,0	28,0	872	3,9

Tablo 5.2. Devam...

Zaman(dak)	Debi(kg/s)	T _{in} (⁰ C)	T _{out} (⁰ C)	T _{am} (⁰ C)	G(W/m ²)	V(m/s)
14.00	0,0305	35,1	44,6	28,1	870	3,7
14.05	0,0305	35,2	44,8	27,9	875	3,9
14.10	0,0305	35,1	44,6	28,0	880	3,8
14.15	0,0305	35,3	44,7	28,2	873	4,0
14.20	0,0305	35,0	44,5	28,0	870	4,1
14.25	0,0305	35,2	44,7	28,3	873	3,8
14.30	0,0305	35,1	44,6	28,0	870	3,9
14.35	0,0305	35,1	44,7	28,2	880	4,0
14.40	0,0305	35,1	44,6	27,9	873	3,8
14.45	0,0305	35,1	44,7	27,8	875	3,9
14.50	0,0305	35,3	44,9	27,9	870	4,0
14.55	0,0305	35,4	44,8	27,3	872	3,7
15.00	0,0305	35,2	44,4	27,2	870	3,6
15.05	0,0305	35,3	44,7	27,0	865	3,2
15.10	0,0305	35,2	44,6	27,7	868	3,5
15.15	0,0305	35,3	44,5	27,5	860	3,8
15.20	0,0305	35,2	44,2	27,0	868	3,9
15.25	0,0305	35,1	44,0	27,3	870	4,0
15.30	0,0305	35,2	44,2	27,4	875	4,1
15.35	0,0305	35,3	44,5	27,8	878	4,0
15.40	0,0305	35,2	44,2	27,0	865	3,8
15.45	0,0305	35,3	44,1	27,2	870	3,9
15.50	0,0305	35,4	44,2	27,8	880	4,0
15.55	0,0305	35,2	44,0	27,2	875	3,8
16.00	0,0305	35,0	44,0	27,2	880	3,9

Tablo 5.2. Devam...

Zaman(dak)	Debi(kg/s)	T _{in} (°C)	T _{out} (°C)	T _{am} (°C)	G(W/m ²)	V(m/s)
09.30	0,0305	44,2	53,3	27,6	950	3,8
09.35	0,0305	44,0	53,4	27,9	945	3,9
09.40	0,0305	44,2	53,5	28,1	940	4,0
09.45	0,0305	44,0	53,2	28,0	945	4,1
09.50	0,0305	44,2	53,5	27,8	930	3,6
09.55	0,0305	44,0	53,3	27,6	950	3,8
10.00	0,0305	44,2	53,4	27,9	945	3,9
10.05	0,0305	44,1	53,3	28,1	946	3,9
10.10	0,0305	44,3	53,5	28,0	942	4,0
10.15	0,0305	44,2	53,1	28,1	945	3,7
10.20	0,0305	44,0	53,0	28,0	935	3,6
10.25	0,0305	44,1	53,2	27,9	940	3,9
10.30	0,0305	44,0	53,0	27,8	945	4,0
10.35	0,0305	44,2	53,3	28,0	950	3,9
10.40	0,0305	44,0	53,2	28,1	955	4,0
10.45	0,0305	44,1	53,3	28,2	957	4,1
10.50	0,0305	44,2	53,4	28,1	958	4,2
10.55	0,0305	44,0	53,0	28,0	950	4,0
11.00	0,0305	44,3	53,4	28,2	952	4,1
11.05	0,0305	44,0	53,1	27,9	946	3,7
11.10	0,0305	44,0	53,0	27,8	938	3,6
11.15	0,0305	44,2	53,4	27,9	942	3,9
11.20	0,0305	44,3	53,5	28,0	945	4,0
11.25	0,0305	44,4	53,6	28,3	950	3,9
11.30	0,0305	44,1	53,2	28,2	948	4,0

Tablo 5.2. Devam...

Zaman(dak)	Debi(kg/s)	T _{in} (°C)	T _{out} (°C)	T _{am} (°C)	G(W/m ²)	V(m/s)
14.00	0,0305	51,7	59,7	28,1	910	3,9
14.05	0,0305	51,2	59,3	28,0	885	3,8
14.10	0,0305	51,0	59,2	27,9	878	3,9
14.15	0,0305	51,3	59,5	28,0	880	4,1
14.20	0,0305	51,2	59,7	28,1	885	4,0
14.25	0,0305	51,0	59,7	28,0	875	3,7
14.30	0,0305	51,6	59,4	27,9	865	3,8
14.35	0,0305	51,7	59,3	28,1	870	3,9
14.40	0,0305	51,7	59,8	28,2	910	3,9
14.45	0,0305	51,9	59,7	28,3	880	3,7
14.50	0,0305	51,5	59,4	28,2	885	4,0
14.55	0,0305	51,3	59,3	28,0	895	4,1
15.00	0,0305	51,4	59,2	28,1	890	4,0
15.05	0,0305	51,5	59,0	27,9	875	3,6
15.10	0,0305	51,4	59,7	27,6	880	3,9
15.15	0,0305	51,5	59,4	27,3	885	4,0
15.20	0,0305	51,6	59,2	27,4	890	3,8
15.25	0,0305	51,7	59,4	27,7	895	3,7
15.30	0,0305	51,6	59,3	27,8	900	3,8
15.35	0,0305	51,7	59,2	27,9	910	3,9
15.40	0,0305	51,8	59,1	27,8	915	4,0
15.45	0,0305	51,7	59,2	27,6	910	4,1
15.50	0,0305	51,6	59,1	27,8	915	4,0
15.55	0,0305	51,5	59,0	27,5	910	4,1
16.00	0,0305	51,4	59,2	27,4	910	4,0

Tablo 5.2. Devam...

Zaman(dak)	Debi(kg/s)	T _{in} (°C)	T _{out} (°C)	T _{am} (°C)	G (W/m ²)	V (m/s)
09.30	0,0305	63,6	70,2	27,9	860	3,9
09.35	0,0305	63,8	70,5	27,6	870	4,0
09.40	0,0305	63,5	70,4	28,0	875	4,1
09.45	0,0305	63,2	70,6	28,2	880	3,9
09.50	0,0305	63,0	70,0	28,0	885	3,8
09.55	0,0305	63,2	70,4	28,1	882	3,9
10.00	0,0305	63,4	70,5	28,0	880	3,7
10.05	0,0305	63,5	70,9	28,3	884	3,9
10.10	0,0305	63,6	70,2	27,9	860	3,8
10.15	0,0305	63,8	70,4	27,8	865	3,8
10.20	0,0305	63,9	70,6	27,7	875	3,9
10.25	0,0305	63,6	70,3	27,8	874	4,0
10.30	0,0305	63,2	70,5	27,9	875	4,1
10.35	0,0305	63,5	70,4	27,8	880	4,0
10.40	0,0305	63,6	70,2	27,2	875	3,9
10.45	0,0305	63,2	70,3	27,3	870	3,8
10.50	0,0305	63,4	70,5	27,0	880	3,9
10.55	0,0305	63,6	70,8	27,2	860	3,7
11.00	0,0305	63,5	70,4	27,1	885	3,8
11.05	0,0305	63,4	70,2	27,6	870	3,9
11.10	0,0305	63,5	70,4	27,5	890	4,0
11.15	0,0305	63,4	70,5	27,6	895	4,1
11.20	0,0305	63,2	70,1	27,8	880	3,7
11.25	0,0305	63,1	70,0	27,5	875	3,6
11.30	0,0305	63,2	70,3	27,4	860	3,7

Tablo 5.2. Devam...

Zaman(dak)	Debi(kg/s)	T _{in} (°C)	T _{out} (°C)	T _{am} (°C)	G(W/m ²)	V(m/s)
14.00	0,0305	73,9	79,7	27,7	880	3,9
14.05	0,0305	73,7	79,6	27,9	875	3,8
14.10	0,0305	73,5	79,8	28,0	870	3,8
14.15	0,0305	73,4	79,6	27,2	865	3,7
14.20	0,0305	73,2	79,4	27,5	868	3,9
14.25	0,0305	73,5	79,3	27,8	870	4,0
14.30	0,0305	73,9	79,7	27,7	880	4,1
14.35	0,0305	73,7	79,6	27,8	890	3,9
14.40	0,0305	73,4	79,6	27,5	900	3,8
14.45	0,0305	73,5	79,5	27,4	900	3,9
14.50	0,0305	73,2	79,2	27,6	895	3,8
14.55	0,0305	73,4	79,5	27,8	890	3,9
15.00	0,0305	73,5	79,6	27,9	895	4,0
15.05	0,0305	73,6	79,7	27,8	890	4,1
15.10	0,0305	73,5	79,5	27,9	895	3,9
15.15	0,0305	73,4	79,8	27,8	890	3,8
15.20	0,0305	73,2	79,6	27,9	885	3,7
15.25	0,0305	73,0	79,3	27,5	880	3,6
15.30	0,0305	73,5	79,1	27,2	875	3,7
15.35	0,0305	73,6	79,0	27,0	870	3,9
15.40	0,0305	73,6	79,2	27,2	875	4,0
15.45	0,0305	73,5	79,4	27,3	878	4,1
15.50	0,0305	73,4	79,5	27,4	880	4,0
15.55	0,0305	73,3	79,4	27,5	885	3,9
16.00	0,0305	73,4	79,2	27,4	890	3,8

Tablo 5.3. Deneyde üzerinde çalışılan siyah mat boyalı kollektörün özellikleri

Kollektörün brüt alanı	:	1.84 m ²
Kollektörün cam alanı	:	1.71 m ²
Kollektörün yutucu alanı	:	1.64 m ²
Kollektör cam sayısı	:	1
Kollektör örtü malzemesi	:	Temperli Cam
Kollektör cam kalınlığı	:	4 mm
Kollektör içindeki tüp veya kanalların sayısı	:	9
Tüp çapı ve kanal boyutları	:	12.7 & 0.5 mm
Kollektör içi tüp veya kanallar arası uzaklık	:	100 mm
Isı transfer akışkanının türü	:	Su
Kollektör yutucu plakasının malzemesi	:	Bakır
Kollektör yutucu plakasının yüzey özelliği	:	Siyah Mat Boya
Kollektör yutucu plakasının imalat şekli	:	Lehim Kaynağı
Kollektör yutucu plakasının boş ağırlığı	:	7.5 kg
Kollektörün ısı izolasyon kalınlığı	:	30 mm
Kollektörün kasa malzemesi	:	Aluminyum
Kollektörün sızdırmazlık malzemesi	:	EPDM Kauçuk

Tablo 5.4. Deneyde üzerinde çalışılan seçici yüzeyli kollektörün özellikleri

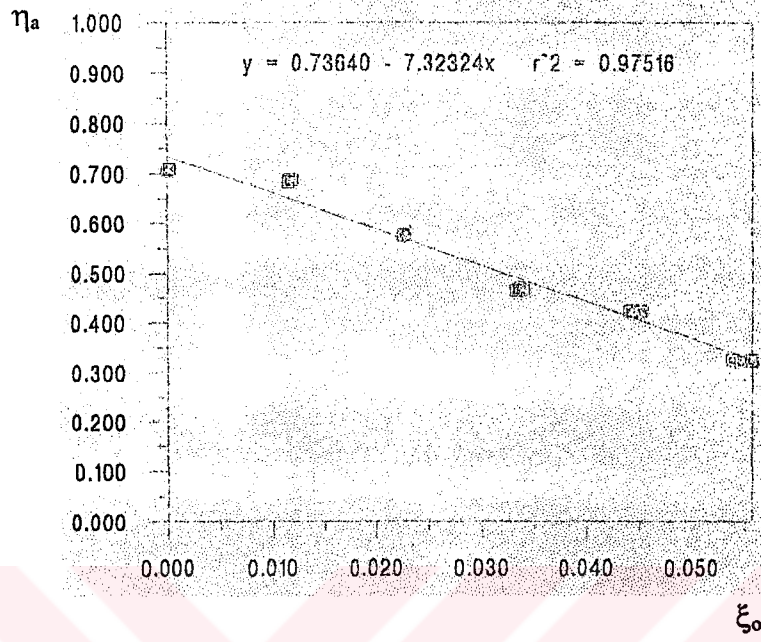
Kollektörün brüt alanı	:	1.70 m ²
Kollektörün cam alanı	:	1.61 m ²
Kollektörün yutucu alanı	:	1.54 m ²
Kollektör cam sayısı	:	1
Kollektör örtü malzemesi	:	Temperli Cam
Kollektör cam kalınlığı	:	4 mm
Kollektör içindeki tüp veya kanalların sayısı	:	9
Tüp çapı ve kanal boyutları	:	12.7 & 0.5 mm
Kollektör içi tüp veya kanallar arası uzaklık	:	100 mm
Isı transfer akışkanının türü	:	Su
Kollektör yutucu plakasının malzemesi	:	Bakır
Kollektör yutucu plakasının yüzey özelliği	:	Seçici Yüzey
Kollektör yutucu plakasının imalat şekli	:	Lehim Kaynağı
Kollektör yutucu plakasının boş ağırlığı	:	7.5 kg
Kollektörün ısı izolasyon kalınlığı	:	30 mm
Kollektörün kasa malzemesi	:	Aluminyum
Kollektörün sızdırmazlık malzemesi	:	EPDM Kauçuk

Tablo 5.5. Siyah mat boyalı kollektör için hesaplanan η_a , η_g , ξ_o , ξ_g değerlerinin değişimi

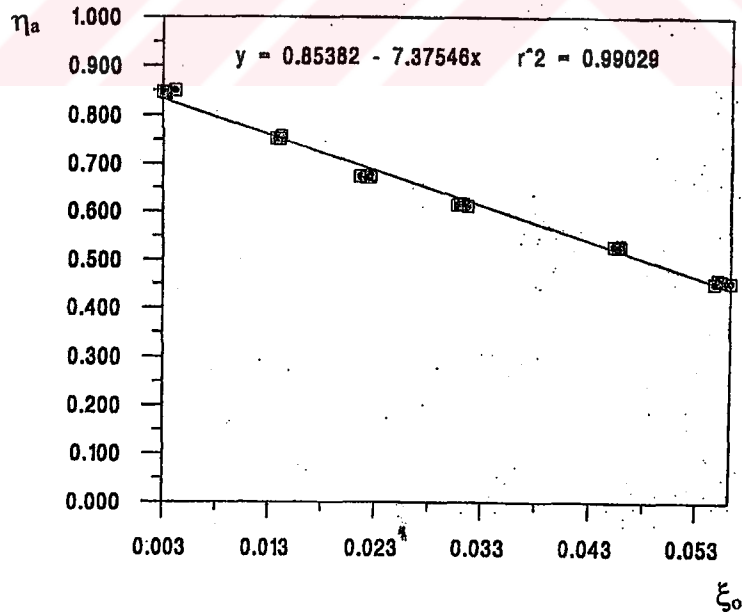
η_a	η_g	ξ_g	ξ_o
0,84730	0,75724	-0,00341	0,00272
0,84730	0,75724	-0,00318	0,00295
0,84425	0,75452	-0,00309	0,00302
0,85031	0,75994	-0,00305	0,00390
0,75387	0,67375	0,00816	0,01362
0,75315	0,67310	0,00784	0,01329
0,75128	0,67143	0,00824	0,01368
0,75746	0,67695	0,00834	0,01382
0,67586	0,60402	0,01726	0,02215
0,67213	0,60069	0,01724	0,02211
0,67142	0,60005	0,01691	0,02177
0,67427	0,60260	0,01730	0,02118
0,61452	0,54921	0,02582	0,03027
0,61194	0,54690	0,02681	0,03125
0,61628	0,55078	0,02632	0,03079
0,61711	0,55152	0,02603	0,03050
0,52983	0,47352	0,04351	0,04534
0,52677	0,47078	0,04161	0,04543
0,52664	0,47245	0,04137	0,04520
0,52925	0,47299	0,04096	0,04479
0,45503	0,40666	0,05250	0,05579
0,45767	0,40903	0,05157	0,05448
0,45259	0,40448	0,05100	0,05427
0,46026	0,41134	0,05122	0,05455

Tablo 5.6. Seçici yüzeyli kollektör için hesaplanan η_a , η_g , ξ_g , ξ_o değerlerinin değişimi

η_a	η_g	ξ_g	ξ_o
0,95579	0,85190	-0,0034	0,00273
0,95579	0,85190	-0,0032	0,00295
0,95235	0,84884	-0,0031	0,00303
0,95919	0,85493	-0,0031	0,00311
0,85041	0,75797	0,00816	0,01362
0,84959	0,75725	0,00784	0,01330
0,84748	0,75537	0,00825	0,01369
0,85445	0,76157	0,00834	0,01383
0,76240	0,67953	0,01726	0,02216
0,75819	0,67578	0,01725	0,02212
0,75739	0,67506	0,01691	0,02178
0,76061	0,67793	0,01730	0,02219
0,69321	0,61786	0,02582	0,03027
0,69029	0,61526	0,02682	0,03125
0,69519	0,61963	0,02633	0,03079
0,69613	0,62046	0,02603	0,03050
0,59768	0,53271	0,04151	0,04535
0,59422	0,52963	0,04162	0,04543
0,59633	0,53151	0,04137	0,04520
0,59702	0,53212	0,04096	0,04479
0,51330	0,45750	0,05250	0,05580
0,51628	0,46016	0,05157	0,05489
0,51054	0,45505	0,05100	0,05428
0,51920	0,46276	0,05122	0,05456



Şekil 5.2. Siyah mat boyalı kollektörün anlık verimi ile kollektör içindeki ısı taşıyıcı akışkanın ortalama sıcaklığı arasındaki lineer değişim

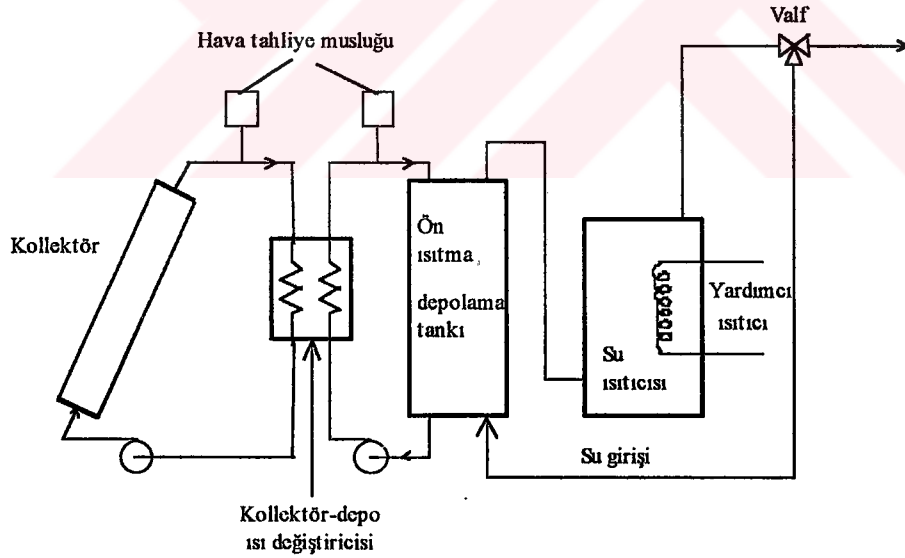


Şekil 5.3. Seçici yüzeyli kollektörün anlık verimi ile kollektör içindeki ısı taşıyıcı akışkanın ortalama sıcaklığı arasındaki lineer değişim

BÖLÜM 6. SİSTEM BOYUTLANDIRMA

Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin boyutlandırılmasında, kollektör alanının veya güneş enerjisinden yararlanma oranının hesaplanması için bazı modeller oluşturulmuştur. Bu modellerden biriside f-chart yöntemidir ve bu yöntemin kullanıldığı sistemler üç ayrı grupta toplanabilir:

- a- Depolama ve ısı transfer ortamı olarak sıvıların kullanıldığı sistemler.
- b- Hacim ısıtılması ve sıcak su üretiminde ısı transfer akışkanı olarak havanın kullanıldığı sistemler.
- c- Sadece kullanım suyunun ısıtılmasını gerçekleştiren sistemler (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. Evsel sıcak su ihtiyacının karşılanmasında kullanılan standart sistem

Güneş enerjili su ısıtma sistemlerinin tasarımında kollektör alanı; kollektör tipi, depo kapasitesi, ısı transfer akışkanının akış hızı ve ısı değıştiricisinin boyutuna bağı olarak değışim gösterir.

F-chart yönteminde, aylık ısı ihtiyacının güneş enerjisi ile karşılanma oranı boyutsuz (x,y) değışkenleri ile tanımlanır. F-chart, yönteminin bu sistemlerde kullanılabilmesi için tasarım parametrelerinin Tablo 6.1’de verilen aralıklarda olması gerekir.

Tablo 6.1. Isı transfer akışkanı olarak sıvıların kullanıldığı güneş enerjili ısıtma sistemlerinde f-chart yönteminin uygulanabilmesi için tasarım parametrelerinin değışim aralığı.

$0,6 < (\tau\alpha) < 0,9$
$5,0 < F_R A_C < 120 \text{ m}^2$
$2,1 < U_L < 8,3 \text{ W/m}^2\text{C}$
$30^\circ < \beta < 90^\circ$
$83 < (UA)_h < 667 \text{ W/C}$

$(\tau\alpha)_n$: Güneş ışıınının normal geliş açısında kollektörün geçirgenlik ve yutma çarpımı,

A_C : Kollektör alanı (m^2),

F_R : Kollektör-ısı değıştiricisi verim faktörü,

U_L : Kollektör toplam ısı kayıp katsayısı ($\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$)

β : Kollektör eğim açısı,

$(UA)_h$: Isıtılan binanın toplam ısı kayıp katsayısı ($\text{W/ } ^\circ\text{C}$)

m_d : Depo kapasitesi (l/m^2)

Boyutsuz değışkenler x,y ile aylık ısı yükünün güneş enerjisinden karşılanma oranı f arasında;

$$X = \frac{A_c \cdot F'_R \cdot U_L \cdot (T_{ref} - T_a) \cdot \Delta t}{L} \quad (6.1)$$

$$Y = \frac{A_c \cdot F'_R \cdot (\tau \cdot \alpha) \cdot H_T \cdot N}{L} \quad (6.2)$$

- Δt : Bir aydaki toplam zaman (s),
 T_{am} : Aylık ortalama çevre sıcaklığı ($^{\circ}C$),
 T_{ref} : Deneysel olarak türetilmiş referans sıcaklığı ($^{\circ}C$),
 L : Sıcak su ve hacim ısıtması için gerekli aylık ısıtma yükü (J),
 H_T : Kollektörün birim alanına gelen aylık ortalama güneş ışıınımı (J/m^2),
 N : Bir aydaki gün sayısı,
 $\tau\alpha$: Kollektörün aylık ortalama yutma ve geçirgenlik oranları çarpımı,

(6.1) ve (6.2) eşitlikleri yeniden düzenlendiğinde;

$$X = F_R \cdot U_L \cdot \frac{F'_R}{F_R} \cdot (T_{ref} - T_a) \cdot \Delta t \cdot \frac{A_c}{L} \quad (6.3)$$

$$Y = F_R \cdot (\tau\alpha)_n \cdot \frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \cdot H_T \cdot N \cdot \frac{A_c}{L} \quad (6.4)$$

$F_R \cdot U_L$ ve $F_R \cdot (\tau\alpha)$ parametreleri, sistemde kullanılacak olan kollektöre ait verim eğrisinden okunur. $F_R \cdot U_L$ kollektör verim eğrisinin eğimi, $F_R \cdot (\tau\alpha)_n$ verim eğrisinin Y eksenini kestiği noktadır.

$\frac{F'_R}{F_R}$ oranı depolama tankı ile kollektör arasındaki çeşitli sıcaklık düşüşleri için kollektör düzeltme faktörü olup değeri 0,97 'dir. $(\tau\alpha)/(\tau\alpha)_n$ oranı ise kollektörün aylık yutma ve geçirme çarpımıdır, tek cam örtülü güneş kollektörlerinde tüm aylar için bu oran 0,96 alınabilir. L_i ve f_i sırasıyla aylık ısınma yükünün güneş enerjisi tarafından karşılanma oranı ve aylık ısı yükü olmak üzere güneş enerjili su ve hacim ısıtmalı sistemlerde, yıllık ısınma yükünün güneş enerjisinden karşılanma oranı F ;

$$F = \frac{\sum f_i \cdot L_i}{\sum L_i} \text{ olarak elde edilir.} \quad (6.5)$$

Sıvılı düzlemsel güneş kollektörleri ile çalışan güneş enerjili sistemlerde su ve hacim ısıtılması için gerekli enerjinin güneş enerjisinden karşılanma oranı;

$$f=1,029Y-0,065X-0,245Y^2+0,0018X^2+0,0215Y^3 \quad (6.6)$$

Depo kapasitesi: Yıllık sistem verimleri depo kapasitesinden etkilenir, deponun maliyeti de göz önüne alındığında kollektörün birim alanı başına 50-200 l arasında değişen bir optimum aralık bulunur. F-chart yönteminde kollektör ($1m^2$) başına 75 l su depolama kapasitesine sahip olduğu kabul edilmiştir. Depolama kapasitesi 3,75-300 l/ m^2 arasında değişen bir aralıkta sistem performansı X boyutsuz ifadesi depo düzeltme faktörü (X_c / X) ile çarpılarak bulunabilir.

$$\frac{X_c}{X} = [(Kullanılan Depo Kapasitesi)/(Standart Depo Kapasitesi)]^{-0,25}$$

Isı değiştiricisinin boyutu: Sıvılı sistemler için geliştirilen f-chart yönteminde $\varepsilon_L C_{min}/(UA)_h$ değeri 2 olarak kabul edilir.

Eğer $0,5 \leq \left(\frac{\epsilon_L \cdot C_{\min}}{(U \cdot A)_h} \right) \leq 50$ arasında ise;

$$\frac{Y_c}{Y} = 0,39 + 0,65 \exp[-0,139 \cdot (U \cdot A)_h / \epsilon_L \cdot C_{\min}] \quad (6.7)$$

ϵ_L : Sistemde kullanılan ısı değıştiricisinin etkinliği.

$(UA)_h$: Hacim ısıtılmasında kullanılan binanın ısı kayıp katsayısı ile ısıtılacak alanın çarpımı ($W/ ^\circ C$),

$C_{\min}$: Isı değıştiricisine giren akışlardan mC_p değeriinden küçük olanı ($W/ ^\circ C$),
 $\min [(mC_p)_1, (mC_p)_2]$

ÖRNEK: Kocaeli'nde ($40^\circ 5'$) sıcak su elde etmek amacıyla tasarlanan güneş enerjili sistemde kullanılan, tek cam örtülü güneş kollektörünün verim testi sonucunda elde edilen parametreler $F_R \cdot (\tau\alpha)_n = 0,73$ ve $F_R \cdot U_L = 7,3 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ C$

$\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} = 0,94$ 'tür. Kollektör güneşe yönelik olarak ($40,5^\circ$) eğimle yerleştirilmiştir.

Günde 400 l, $50^\circ C$ sıcak su elde etmek istenmektedir. Ocak ayı için ; şebeke suyu sıcaklığı $10,3^\circ C$, kollektör yüzeyine gelen aylık ortalama güneş radyasyonu $7,41 \text{ MJ/m}^2 \text{ gün}$, ön ısıtma tankının depolama kapasitesi 1 m^3 başına 75 l'dir. Diğer tankın depolama kapasitesi 25 l olup ısı kayıp katsayısı $0,62 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ C$ 'tır. Silindirik biçimindeki tankın çapı $0,5 \text{ m}$, yüksekliği $1,16 \text{ m}$ 'dir. 8 m^2 kollektör alanı kullanılması durumunda bu sistemden elde edilecek yararlı enerji (f) oranını bulunuz.

ÇÖZÜM: Ocak ayında $50^\circ C$ sıcak su elde etmek için gerekli enerji miktarı:

$$Q_1 = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_m - T_w) \cdot n = 400 \cdot 4190 \cdot (50 - 10,3) \cdot 31 = 2,30 \text{ GJ}$$

Kullanım tankı alanı:

$$A = \pi . D . H = 3,14 \cdot 0,5 \cdot 1,16 = 2,21 \text{ m}^2$$

Kullanım tankından olan kayıp enerji miktarı:

$$Q_K = U . A . (T_w - T_a) = 0,62 \cdot 2,21 \cdot (50 - 10,3) = 54,4 \text{ W}$$

Bir aydaki toplam ısı kaybı:

$$Q_T = Q_K \cdot 31.24.3600 = 54,4 \cdot 31 \cdot 24 \cdot 3600 = 0,14 \text{ GJ}$$

Toplam ısı yükü:

$$Q_{Top} = Q_I + Q_T = 2,30 + 0,14 = 2,44 \text{ GJ}$$

Boyutsuz değişkenler:

$$X = X_c \cdot \frac{X_c}{X} = \frac{8,7,3 \cdot (100 - 5,7) \cdot 31.24.3600}{2,44 \cdot 10^9} \cdot \frac{11,6 + 1,18(50) + 3,86 \cdot (10,3) + 2,32 \cdot (5,7)}{(100 - 5,7)}$$

$$X = 7,91$$

$$Y = 0,73 \cdot 0,94 \cdot 7,41 \cdot 10^6 \cdot 31 \cdot \frac{8}{2,44 \cdot 10^9} = 0,51$$

Su veya hacim ısıtılması için gerekli enerjinin güneş enerjisinden karşılanma oranı:

$$f = 1,029 \cdot Y - 0,065 \cdot X - 0,245Y^2 + 0,0018X^2 + 0,0215 \cdot Y^3$$

$$f = 1,029 \cdot 0,51 - 0,065 \cdot 7,91 - 0,245 \cdot 0,51^2 + 0,0018 \cdot 7,91^2 + 0,0215 \cdot 0,51^3 = 0,62$$

Bu hesaplamalar bütün aylar için yapıldığında, bu sistemin Kocaeli koşullarında toplam enerji ihtiyacının %34'ünün güneş enerjisinden karşılanabileceği bulunur.

Tablo 6.2. Kocaeli’de güneş enerjili su ısıtma sisteminin aylara göre güneş enerjisinden faydalanma oranları

AY	L (GJ)	f	L*f	H _T *N
OCAK	2,06	0,10	1,86	2,29
ŞUBAT	1,92	0,13	2,56	2,33
MART	2,07	0,21	4,49	3,05
NİSAN	1,85	0,34	6,33	3,54
MAYIS	1,70	0,49	8,45	4,35
HAZİRAN	1,44	0,61	8,87	4,61
TEMMUZ	1,33	0,67	8,96	4,82
AĞUSTOS	1,24	0,68	8,47	4,71
EYLÜL	1,26	0,56	7,12	3,99
EKİM	1,50	0,35	5,37	3,27
KASIM	1,63	0,22	3,72	2,68
ARALIK	1,91	0,10	2,03	2,28

H_T : Kollektör yüzeyine gelen aylık ortalama güneş radyasyonu (MJ/m²-gün)

L : Aylık ısı yükü (GJ)

f : Aylık ısınma yükünün güneş enerjisi tarafından karşılanma oranı

N : Bir aydaki gün sayısı

Bu veriler sonucunda:

- Sıcak su ihtiyacının karşılanması için gerekli enerji ihtiyacı 1,99 GJ
 - Enerji ihtiyacının güneş enerjisinden karşılanan kısmı 6,82 GJ
 - Yıllık güneş radyasyonu 4,19 GJ
- olarak bulunur.

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

$$\eta = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T}{A \cdot G} = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{out} - T_{in})}{A \cdot G}$$
 formülünden de anlaşılacağı gibi T_{out} ($^{\circ}\text{C}$)

ifadesinin yüksek olması verim değerini arttıracığından deneyler sonucunda düzlemsel yüzeyli güneş kolektörlerinde verimi arttıran en önemli parametrenin kolektör bünyesindeki yutucu yüzey kaplaması olduğu gözlemlendi.

Birinci tip kolektörün yutucu yüzey kaplaması siyah mat boyadır. Bu malzemenin güneş ışınımını yutma ve yayma yüksektir .

İkinci tip kolektörün seçici yüzey kaplamasına sahip olması ve böylece kısa dalga boylu ışınımın yayıcılığını en aza indirmesi nedeniyle birinci tip kolektöre oranla çok daha yüksek anlık verim değerleri elde edildi.

İzmit ve çevresi için yapılan güneş enerjili su ısıtma sisteminin projelendirilmesi sonucunda yılın dört ayı boyunca enerji ihtiyacının tamamına yakın kısmının güneş kolektörlerinden karşılanabileceği görülmüştür. Diğer aylarda ise güneş enerjisi potansiyeline bağlı olarak değişen oranlarda bu ihtiyacın karşılanabileceği ortaya çıkmıştır.

Güneş enerjili su ısıtma sisteminin ekonomik olması açısından hiçbir zaman enerji ihtiyacının %100'ünü karşılaması amacıyla projelendirilmesi yapılmamalıdır. Projelendirilmede güneş enerjili su ısıtma sisteminin yardımcı enerji kaynakları ile desteklenmesi gerekir.

KAYNAKLAR

1. AHMADZADEH, J. and GASCOİNE M 1976 Efficiency of Solar Collectors, Solar Energy, 16 S. 13-21
2. BUTTİ, K., and PERLİN., J 1981 The History of Terrestrial Uses of Solar Energy, Mc Graw Book Company, New York
3. COLLARES-PEREİRA, M., 1979 Derivation of Method for Predicting Long Term Average Energy Delivery of Solar Collectors, Solar Energy 22, 407-411
4. DUFFIE, J.A., and BECKMAN, W.A. 1974 Solar Energy Thermal Processes, New York
5. EYİCE, S., ve KÜLÜNK., H 1983 Yeni Enerji Kaynakları, İstanbul
6. GILLET, W.B. and KENNA, J.P., 1981 Recent Developments in Solar Simulators for Collector Testing, Proc. Solar World Forum, Brighton
7. HOTTEL, H.C. 1986 A Simple Model Estimating The Transmittance of Direct Solar Radiation Through Clear Atmosphere, Solar Energy 18, 129-134
8. KRUSİ, P and SCHMİD, R., 1981 A Unique Solar Simulator for Collector Testing, Solar Progress, Sidney
9. ÖZTÜRK, A., KILIÇ, A., 1980 Güneş Enerjisi, İstanbul
10. SIVKOV, S.I., 1971 Computation of Solar Radiation Characteristics ,Telaviv-ISRAEL
11. THEKAEKARA, M. 1976 Solar Radiations Measurements, Techniques and Instrumentation, Los Angeles
12. TIRIS, M., and KADIRGAN F., 1997 The Recent Advances in Solar Energy Technology, Gebze-Kocaeli
13. TIRIS, M., ve TIRIS., Ç 1997 Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri, Gebze-Kocaeli
14. TIRIS, Ç., ve ATAGÜNDÜZ, G., 1996 Experimental Studies on Solar Stills Integrated with Flat-Plate Collectors, Trabzon (TIEESS 1)



```

CLS
REM ***** TUBITAK MARMARA ARASTIRMA MERKEZI*****
REM *****ENERJİ SİSTEMLERİ VE ÇEVRE ARASTIRMA ENSTİTUSU *****

PRINT "GÜNEŞ ENERJİLİ SU ISITMA SİSTEMLERİNİN BOYUTLANDIRILMASI"
PRINT "-----"
PRINT ""

REM *** METEOROLOJİK DATALARIN GİRİLMESİ *****
DIM AYŞ(12), HT(12), TA(12), TS(12), N(12), L(12), F(12)
REM "AY ADI";AYŞ
REM "AYLIK ORTALAMA GÜNLÜK GÜNEŞ RADIYASYONU (Kj/m2 gün)"; HT
REM "AYLIK ORTALAMA ÇEVRE SICAKLIĞI (C)"; TA
REM "SEBEKE SUYU SICAKLIĞI (C)";TS
REM "BİR AYDAKİ GÜN SAYISI"; N
REM "AYLIK ISI YUKU";L
REM "L=GST*(İSTENEN SU SICAKLIĞI-SEBEKE SUYU SICAKLIĞI)*4186*N
PRINT "          1-İSTANBUL"
PRINT "          2-KOCAELİ"
PRINT "          3-ANKARA"
PRINT "          4-İZMİR"
PRINT "          5-DİYARBAKIR"
PRINT "          6-ERZURUM"
PRINT "          7-ANTALYA"
PRINT "          8-SAMSUN"

INPUT "SEÇİMİNİZ"; S
IF S = 1 THEN GOTO 101
IF S = 2 THEN GOTO 102
IF S = 3 THEN GOTO 103
IF S = 4 THEN GOTO 104
IF S = 5 THEN GOTO 105
IF S = 6 THEN GOTO 106
IF S = 7 THEN GOTO 107
IF S = 8 THEN GOTO 108

55 INPUT "METEOROLOJİK DATALARINIZ DOĞRU DEĞİLSE 1 SAYISINA BASINIZ"; C
IF C = 1 THEN 100
CLS

PRINT "KOLLEKTÖR VERİM PARAMETRELERİ"
PRINT "-----"
INPUT "KOLLEKTÖR VERİM EĞRİSİNİN Y EKSENİNİ KESTİĞİ NOKTAYI GİRİNİZ"; FRTN
INPUT "KOLLEKTÖR VERİM EĞRİSİNİN EĞİMİNİ GİRİNİZ"; FRUL
INPUT "GÜNLÜK SU TÜKETİMİNİ GİRİNİZ (litre/gün)"; GST
INPUT "İSTENİLEN SU SICAKLIĞINI GİRİNİZ"; T

5 KT = 0: HTT = 0: TL = 0
INPUT "KOLLEKTÖR ALANINI GİRİNİZ"; AC
FRR = .9
TAL = .807
TREF = 100

PRINT ""
PRINT "AY          L          f          L*f          HT*N          "
PRINT "-----"
FOR I = 1 TO 12
  HT(I) = HT(I) * 1000
  L(I) = GST * (T - TS(I)) * 4186 * N(I)
  X = FRUL * FRR * (TREF - TA(I)) * N(I) * 24 * 3600 * AC / L(I)
  Y = FRTN * FRR * TAL * HT(I) * N(I) * AC
  Y = Y / L(I)
  F = 1.029 * Y - .065 * X - .245 * Y ^ 2 + .0018 * X ^ 2 + .0215 * Y ^ 3

```

```

K = L(I) * F
H = HT(I) * N(I)
PRINT AY$(I), L(I); F; F * L(I); HT(I) * N(I)
F(I) = F
TL = TL + L(I)
KT = KT + K
HTT = HTT + H
NEXT I
PRINT "-----"
PRINT ""
PRINT "SICAK SU IHTIYACININ KARSILANMASI ICIN GEREKLI ENERJİ İHTİYACI"; TL; "J"
PRINT "ENERJİ İHTİYACININ GÜNEŞ ENERJİSİNDEN KARSILANAN KİSMİ"; KT; "J"
PRINT "YILLIK ENERJİ İHTİYACININ GÜNEŞ ENERJİSİNDEN KARSILANMA ORANI"; KT / TL
PRINT "YILLIK GÜNEŞ RADYASYONU", HTT; "J"
PRINT "*****"
INPUT "ÇIKTI ALMAK İSTİYORSANIZ 1 SAYISINA ALMAK İSTEMİYORSANIZ HERHANGİ BİR SAYI GİRİNİZ"
IF P = 1 THEN 250 ELSE 200
200 INPUT "YENİ BİR KOLLEKTÖR ALANI GİRMEK İSTİYORSANIZ 1 SAYISINI DEVAM ETMEK İÇİN 2 GİRİNİZ"
IF C = 1 GOTO 5 ELSE 150

250 LPRINT ""
LPRINT "AY          L          f          L*f          HT*N          "
LPRINT "-----"
FOR I = 1 TO 12
LPRINT AY$(I), L(I); F(I); F(I) * L(I); HT(I) * N(I)
NEXT I
LPRINT "-----"
LPRINT ""
LPRINT "SICAK SU İHTIYACININ KARSILANMASI ICIN GEREKLI ENERJİ İHTİYACI"; TL; "J"
LPRINT "ENERJİ İHTİYACININ GÜNEŞ ENERJİSİNDEN KARSILANAN KİSMİ"; KT; "J"
LPRINT "YILLIK ENERJİ İHTİYACININ GÜNEŞ ENERJİSİNDEN KARSILANMA ORANI"; KT / TL
LPRINT "YILLIK GÜNEŞ RADYASYONU", HTT; "J"
LPRINT "*****"

GOTO 200

100 PRINT "*****"
PRINT "METEOROLOJİK VERİLERİNİZİ PROGRAMDA YENİDEN GİRİNİZ"
PRINT "*****"
150 END

101 PRINT " *****İSTANBUL *****"
FOR I = 1 TO 12
READ AY$(I), N(I), HT(I), TA(I), TS(I)
NEXT I
DATA OCAK,31,8154,5.1,10.2
DATA SUBAT,28,8565,5.5,9.0
DATA MART,31,10482,6.7,9.5
DATA NİSAN,30,12922,10.9,11.8
DATA MAYIS,31,15032,15.8,15.4
DATA HAZİRAN,30,16957,20.6,19.2
DATA TEMMUZ,31,17037,23.2,21.9
DATA AĞUSTOS,31,16585,23.2,22.9
DATA EYLÜL,30,15509,19.7,22.4
DATA EKİM,31,11583,15.5,19.8
DATA KASIM,30,9695,11.9,16.9
DATA ARALIK,31,8167,8,13.2
PRINT "AYLAR          HT          TA          TS"
PRINT "-----"
FOR I = 1 TO 12
PRINT AY$(I), HT(I), TA(I), TS(I)
T(I) = HT(I) * 1000
NEXT I
OTO 55

```

102 PRINT " ***** KOCAELI*****"

RESTORE 12

FOR I = 1 TO 12

READ AY\$(I), N(I), HT(I), TA(I), TS(I)

NEXT I

12 DATA OCAK,31,7418,5.7,10.3

DATA SUBAT,28,8322,6.3,9

DATA MART,31,9866,7.8,10

DATA NISAN,30,11817,12.5,13

DATA MAYIS,31,14057,17.4,17.1

DATA HAZIRAN,30,15392,21.2,21.3

DATA TEMMUZ,31,15577,23.3,24.3

DATA AGUSTOS,31,15204,23.5,26.1

DATA EYLUL,30,13307,20,24.9

DATA EKIM,31,10557,15.8,21.1

DATA KASIM,30,8966,12.5,17.5

DATA ARALIK,31,7363,8.5,13.1

PRINT "AYLAR

HT

TA

TS"

PRINT "-----

-----"

FOR I = 1 TO 12

PRINT AY\$(I), HT(I), TA(I), TS(I)

HT(I) = HT(I) * 1000

NEXT I

GOTO 55

103 PRINT " ***** ANKARA *****"

RESTORE 13

FOR I = 1 TO 12

READ AY\$(I), N(I), HT(I), TA(I), TS(I)

NEXT I

13 DATA OCAK,31,9350,0.3,8.2

DATA SUBAT,28,10595,1,6.6

DATA MART,31,12725,4.7,7.8

DATA NISAN,30,15555,11.2,10.7

DATA MAYIS,31,16032,16.1,14.5

DATA HAZIRAN,30,18418,20,18

DATA TEMMUZ,31,18071,23.1,20.9

DATA AGUSTOS,31,17062,23.3,22.8

DATA EYLUL,30,16514,18.4,21.6

DATA EKIM,31,13579,12.9,18.1

DATA KASIM,30,12077,7.7,14.6

DATA ARALIK,31,8611,2.5,10.9

PRINT "AYLAR

HT

TA

TS "

PRINT "-----

-----"

FOR I = 1 TO 12

PRINT AY\$(I), HT(I), TA(I), TS(I)

HT(I) = HT(I) * 1000

NEXT I

GOTO 55

104 PRINT " ***** IZMIR *****"

RESTORE 14

FOR I = 1 TO 12

READ AY\$(I), N(I), HT(I), TA(I), TS(I)

NEXT I

14 DATA OCAK,31,9569,8.6,12.3

DATA SUBAT,28,10776,9.6,11.5

DATA MART,31,12788,11.1,13.1

```

DATA NISAN,30,14517,15.5,16.6
DATA MAYIS,31,16359,20.4,21.2
DATA HAZIRAN,30,17288,25,26.2
DATA TEMMUZ,31,17695,27.6,29.8
DATA AGUSTOS,31,18188,27.3,31
DATA EYLUL,30,16715,23.3,29
DATA EKIM,31,13437,18.4,24.9
DATA KASIM,30,10988,14.3,20.4
DATA ARALIK,31,9280,10.6,15.1
PRINT "AYLAR          HT          TA          TS  "
PRINT "-----"
FOR I = 1 TO 12
PRINT AY$(I), HT(I), TA(I), TS(I)
HT(I) = HT(I) * 1000
NEXT I

```

GOTO 55

```

105 PRINT " ***** DIYARBAKIR *****"
RESTORE 15
FOR I = 1 TO 12
READ AY$(I), N(I), HT(I), TA(I), TS(I)
NEXT I

```

```

15 DATA OCAK,31,10704,1.8,11.8
DATA SUBAT,28,12600,3.6,10.1
DATA MART,31,13918,8.1,11
DATA NISAN,30,15777,13.8,13.8
DATA MAYIS,31,18017,19.3,17.4
DATA HAZIRAN,30,19909,25.9,21.9
DATA TEMMUZ,31,19846,31,35.3
DATA AGUSTOS,31,19745,30.5,27.6
DATA EYLUL,30,18439,24.9,27
DATA EKIM,31,15438,17.2,23.8
DATA KASIM,30,12399,10,19.4
DATA ARALIK,31,10662,4.2,14.8
PRINT "AYLAR          HT          TA          TS  "
PRINT "-----"
FOR I = 1 TO 12
PRINT AY$(I), HT(I), TA(I), TS(I)
HT(I) = HT(I) * 1000
NEXT I

```

GOTO 55

```

106 PRINT " ***** ERZURUM *****"
RESTORE 16
FOR I = 1 TO 12
READ AY$(I), N(I), HT(I), TA(I), TS(I)
NEXT I

```

```

16 DATA OCAK,31,9511,-8.3,2.7
DATA SUBAT,28,11846,-7,1.5
DATA MART,31,14291,-3,1.1
DATA NISAN,30,15555,5.1,3.2
DATA MAYIS,31,16711,10.9,7.5
DATA HAZIRAN,30,17657,15,11.8
DATA TEMMUZ,31,18146,19.1,14.8
DATA AGUSTOS,31,17979,19.6,16.8
DATA EYLUL,30,11677,14.9,16.1
DATA EKIM,31,14710,8.6,12.5
DATA KASIM,30,12575,2,8.5
DATA ARALIK,31,11206,-5.1,5.3
PRINT "AYLAR          HT          TA          TS  "

```

```

PRINT "-----"
FOR I = 1 TO 12
PRINT AY$(I), HT(I), TA(I), TS(I)
HT(I) = HT(I) * 1000
NEXT I

GOTO 55

```

```

107 PRINT " ***** ANTALYA *****"
RESTORE 17
FOR I = 1 TO 12
READ AY$(I), N(I), HT(I), TA(I), TS(I)
NEXT I

```

```

17 DATA OCAK,31,11331,10.1,13.8
DATA SUBAT,28,11930,10.7,12.7
DATA MART,31,13881,12.8,13.9
DATA NISAN,30,15430,16.4,16.1
DATA MAYIS,31,16836,20.5,19.5
DATA HAZIRAN,30,17933,25,23.5
DATA TEMMUZ,31,18330,28.2,14.8
DATA AGUSTOS,31,18318,28.1,28.5
DATA EYLUL,30,17179,24.9,27.8
DATA EKIM,31,14643,20.3,25.2
DATA KASIM,30,12935,15.6,21.5
DATA ARALIK,31,10503,11.9,17

```

```

PRINT "AYLAR          HT          TA          TS  "
PRINT "-----"
FOR I = 1 TO 12
PRINT AY$(I), HT(I), TA(I), TS(I)
HT(I) = HT(I) * 1000
NEXT I

```

GOTO 55

```

108 PRINT " ***** SAMSUN *****"
RESTORE 18
FOR I = 1 TO 12
READ AY$(I), N(I), HT(I), TA(I), TS(I)
NEXT I

```

```

18 DATA OCAK,31,7819,6.9,11.6
DATA SUBAT,28,8761,6.9,9.7
DATA MART,31,9812,7.7,10.1
DATA NISAN,30,11784,11,11.8
DATA MAYIS,31,13479,16.6,14.6
DATA HAZIRAN,30,15375,20,17.8
DATA TEMMUZ,31,15149,23,20.6
DATA AGUSTOS,31,13923,23.2,21.9
DATA EYLUL,30,12332,19.8,21.3
DATA EKIM,31,10076,16.2,19.1
DATA KASIM,30,8632,12.9,16.4
DATA ARALIK,31,6802,9.5,13.1

```

```

PRINT "AYLAR          HT          TA          TS  "
PRINT "-----"
FOR I = 1 TO 12
PRINT AY$(I), HT(I), TA(I), TS(I)
HT(I) = HT(I) * 1000
NEXT I

```

GOTO 55

AY	L	f	L*f	HT*N
OCAK	2.060684E+09	9.041064E-02	1.863078E+08	2.29958E+08
SUBAT	1.922211E+09	.1335078	2.566303E+08	2.33016E+08
MART	2.076256E+09	.2165327	4.495773E+08	3.05846E+08
NISAN	1.858584E+09	.3406792	6.33181E+08	3.5451E+08
MAYIS	1.707721E+09	.494845	8.45057E+08	4.35767E+08
HAZIRAN	1.441658E+09	.615469	8.872961E+08	4.6176E+08
TEMMUZ	1.333994E+09	.6719781	8.96415E+08	4.82887E+08
AGUSTOS	1.240563E+09	.6833408	8.477272E+08	4.71324E+08
EYLUL	1.260823E+09	.5647587	7.120609E+08	3.9921E+08
EKIM	1.500095E+09	.358216	5.37358E+08	3.27267E+08
KASIM	1.63254E+09	.2281495	3.724633E+08	2.6898E+08
ARALIK	1.915346E+09	.1045837	2.00314E+08	2.28253E+08

SICAK SU IHTIYACININ KARSILANMASI ICIN GEREKLI ENERJİ İHTİYACI 1.995048E+10 J
ENERJİ İHTİYACININ GÜNEŞ ENERJİSİNDEN KARILANAN KİSMİ 6.824387E+09 J
YILLIK ENERJİ İHTİYACININ GÜNEŞ ENERJİSİNDEN KARSILANMA ORANI .3420663
YILLIK GÜNEŞ RADYASYONU 4.198778E+09 J



ÖZGEÇMİŞ

Haldun DİZDAR , 1974 yılında İZMİT’te doğdu. İlk,orta ve lise öğrenimini İzmit’te tamamladı. 1996 yılında Yıldız Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden lisans derecesi aldı.

Halen Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü bünyesinde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

