

95034

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FOTOVOLTAİK ÜNİTE TASARIMI, ELEKTRİK
ENERJİSİ ÜRETİMİ VE MALİYET ANALİZİ

Makine Müh. Özgür DİKEN

F.B.E Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Makinaları Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Recep ÖZTÜRK



Prof. Dr. Bahri SAĞIN



Doç. Dr. Sükrü BÖKDEMİR



İSTANBUL, 2000

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ŞEKİL LİSTESİ	iv
ÇİZELGE LİSTESİ	v
ÖNSÖZ.....	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii

1.	GİRİŞ.....	1
1.1	Güneş Enerjisinin Kaynağı.....	2
1.1.1	Stefan – Boltzman kanunu	3
1.2	Güneş Radyasyonu Çeşitleri	4
1.2.1	Kısa dalga boylu radyasyon	4
1.2.1.1	Direkt radyasyon.....	4
1.2.1.2	Difuz radyasyon.....	4
1.2.1.3	Yansıtılmış radyasyon.....	4
1.2.2	Uzun dalga boylu radyasyon	5
1.3	Güneş Enerjisi Uygulamaları	6
1.4	Güneş Enerjisinden Faydalanma Şekilleri	7
1.4.1	Düşük sıcaklık uygulamaları (düz kollektörlü sistemler)	7
1.4.1.1	Güneş enerjisinden yararlanarak sıcak su elde etme yöntemleri.....	7
1.4.1.1.1	Tabii dolaşimli su ısıtma sistemleri	7
1.4.1.1.2	Pompalı su ısıtma sistemleri.....	9
1.4.1.1.3	Düz yüzeyli güneş kollektörleri.....	10
1.4.1.2	Güneş enerjisinden yararlanarak soğutma	13
1.4.1.2.1	Mekanik Sistemler (Isı pompaları)	14
1.4.1.2.2	Absorbsiyonlu soğutma sistemleri.....	15
1.4.1.3	Güneş enerjisinden yararlanarak suyun damıtılması	16
1.4.1.4	Güneş enerjisinden yararlanarak kurutma.....	17
1.4.2	Orta sıcaklık uygulamaları (odaklayıcı kollektörlü).....	18
1.4.3	Yüksek sıcaklık uygulamaları	18
1.5	Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli	21
2.	GÜNEŞ ENERJİSİNİN FOTOVOLTAİK YÖNTEMLE ELEKTRİK ENERJİSİNE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ.....	30
2.1	Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi	30
2.2	Güneş Pili Teknolojisi.....	33
2.2.1	Tek kristalli (mono crystalline) güneş pilleri	34
2.2.1.1	Tek kristalli silikon (Si) güneş pilleri	34
2.2.1.2	Tek kristalli galyum – arsenik (GaAs) piller.....	35
2.2.2	Çok kristalli (multicrystalline) ve amorf (amorphous) güneş pilleri	35
2.2.2.1	Çok kristalli (multicrystalline) silikon piller	35
2.2.2.2	Çok kristalli kadmiyum sulfid / bakır sulfid piller	36
2.3	Güneş Pillerinin Verimi	38
2.3.1	Açık devre akımı:	42
2.3.2	Kısa devre akımı:	42

2.3.3	Seri (R_s) ve paralel (R_p) dirençler:.....	42
2.3.4	Akım ve gerilim kayıpları:	43
2.3.4.1	Direnç kayıpları:	43
2.3.4.2	Düşük ve yüksek sıcaklık kayıpları:	43
2.3.4.3	Yansıma kayıpları:.....	44
2.3.4.4	Fotonların absorpsiyonu sırasında oluşan kayıplar:	45
3.	GÜNEŞ PANELİ.....	47
3.1	Güneş Paneli Karakteristikleri.....	47
3.2	Güneş Aküsü Karakteristikleri	48
3.3	Panel Yükleme Hesaplamaları.....	52
3.3.2	Gerekli elektrik enerjisinin panel ve akü yardımıyla karşılanması	52
4.	MALİYET ANALİZİ	55
5.	SONUÇLAR.....	61
KAYNAKLAR.....		63
ÖZGEÇMİŞ.....		65

Çizelge 1.1	Bazı Karakteristik Yüzeylerin % Yansıtıcılığı	5
Çizelge 1.2	Kollektör kafesi yapımında kullanılan bazı malzemelerin ısıl genişleme yüzdeleri.....	11
Çizelge 1.3	Çeşitli örtü malzemelerinin bazı özellikleri.....	12
Çizelge 1.4	Elektrik üreten çeşitli güneş çiftliklerine ait bilgiler.....	19
Çizelge 1.5	Çeşitli kuleli güneş santrallerine ait karakteristik bilgiler	21
Çizelge 1.6	Güneş enerjisi yoğunluğunun bölgelerimize göre dağılımı.....	24
Çizelge 1.8	Türkiye yıllık ortalama güneşlenme süresinin oransal ve alansal dağılımı.....	24
Çizelge 1.9	Türkiye’de birim yüzeye gelen enerjisinin oransal ve alansal dağılımı.....	25
Çizelge 2.1	GaAs ve Si güneş pillerinin performanslarının karşılaştırılması	35
Çizelge 3.1	Türkiye’de kullanılan bazı güneş paneli karakteristikleri	48
Çizelge 3.2	Türkiye’de kullanılan bazı güneş akülerinin karakteristikleri	49
Çizelge 3.3	Karavan için gerekli enerji miktarının hesaplanması	52



Şekil 1.1	Güneş – Dünya çiftinin şematik ilişkisi.....	2
Şekil 1.2	Direkt, difuz ve yansıtılmış radyasyonun şematik olarak ifadesi.....	5
Şekil 1.3	Uzun dalga boyulu radyasyonun şematik ifadesi.....	6
Şekil 1.4	Tabii dolaşımli bir su ısıtma sisteminin temel elemanları.....	7
Şekil 1.5	Direkt ısıtmalı pompalı su ısıtma sistemi.....	9
Şekil 1.6	Düz yüzeyli güneş kolektörlerinin temel elemanları.....	10
Şekil 1.7	Çeşitli emici plaka dizaynları.....	13
Şekil 1.8	Rankin güç ve yoğunlaşma soğutma çevrimi.....	14
Şekil 1.9	Absorbsiyonlu soğutma sistemi.....	15
Şekil 1.10	Tatlı su elde etmede kullanılan sistem.....	16
Şekil 1.11	Kollektörlü güneşli kurutucular.....	17
Şekil 1.12	Odaklı tip kolektörler.....	18
Şekil 1.13	Elektrik üreten bir güneş çiftliğinin çalışma prensibi.....	19
Şekil 1.14	Tipik bir kuleli güneş santralinin ısı akışı ve çalışma prensibi.....	20
Şekil 2.1	Silikon güneş pilleri.....	30
Şekil 2.2	Bir güneş pilinin çalışma prensibi.....	31
Şekil 2.3	Bir güneş pilinin çalışma prensibi.....	32
Şekil 2.4	Solar modüllerin yapım prensibi.....	32
Şekil 2.5	Tipik bir p-n jonksiyonlu pil.....	34
Şekil 2.6	GaAs ve silikon pillerin performansları.....	35
Şekil 2.7	Kadmiyum sülfid bir güneş pilinin şeması.....	36
Şekil 2.8	Tipik bir amorf silikon güneş pilinin yapısı.....	37
Şekil 2.9	Değişik yük durumları için fotovoltaj pilin Akım – Gerilim (J-V) karakteristiği.....	39
Şekil 2.10	Çeşitli fotovoltaj piller için enerji boşluk ve maksimum teorik verim değerleri.....	41
Şekil 2.11	Çok ve tek kristalli piller için gerilim (Voc) ve akım (J) arasındaki ilişki.....	42
Şekil 2.12	p-n jonksiyonlu bir fotovoltaj pil için seri ve paralel dirençsiz bir devre.....	42
Şekil 2.13	p-n jonksiyonlu bir fotovoltaj pil için seri ve paralel dirençli bir devre.....	43
Şekil 2.14	Yarıiletken sıcaklığının güneş pili verimine etkisi.....	44
Şekil 2.15	Güneş ışığı dalga boyunun silikonun yansıtıcılığına etkisi.....	44
Şekil 2.16	Silikon kalınlığının absorbe edilen ışık miktarına etkisi.....	45
Şekil 2.17	Fotovoltaj enerji dönüşüm verimi ve kayıpları.....	46
Şekil 3.1	Sıcaklığın, bir güneş paneli için I-V eğrisi (1000 W/m ²) üzerindeki etkisi.....	47
Şekil 3.2	Güneş akü bankalarının oluşturulması.....	50
Şekil 3.3	Bazı güneş aküleri.....	51
Şekil 3.4	Karavanlarda fotovoltaj panellerin uygulamalarına ait örnekler.....	54

ÖNSÖZ

Bu tezi hazırlarken destek ve yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Recep ÖZTÜRK'e, konu hakkındaki sınırsız bilgilerini benimle paylaşan sayın Prof. Dr. İ. Engin TÜRE'ye, Laterna Şirketi kurucusu sayın Ateş UĞUREL'e, bu bilgilere ulaşmamı sağlayan sayın Tamer CENGİZ'e ve manevi desteğini hiçbir zaman benden esirgemeyen biricik anneciğime teşekkür etmeyi bir borç bilirim.



ÖZET

Dünyamızın en büyük enerji kaynağı kuşkusuz güneş enerjisidir. Tükenmeyen, temiz, dışa bağımlı olmayan ve çok geniş bir coğrafi alanda uygulanabilir olması bu kaynağa yönelik uygulama ve çalışmaların gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu alandaki çalışmalar da her geçen gün ivme kazanmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, fotovoltaik güneş panellerinden elektrik elde ederek, bir karavanın temel ihtiyaçlarını yakıt tüketmeden karşılamaktır. Paneller son haliyle, bu karavanda kullanılan akümülatörleri şarj edecek durumdadırlar. Optimum güneş ışığı miktarını yakalaması için paneller portatif olarak yapılmalıdır. Ancak maksimum güç çıktısını elde etmemiz için, panellerin buldukları bölgenin coğrafi durumuna göre öngörülen açıyla yerleştirilmeleri gerekmektedir. Çalışmanın bir diğer amacı da maliyeti olabildiğince minimum seviyede tutmaktır.

Bu proje için literatürün gözden geçirilmesiyle anlaşılmıştır ki, güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesini sağlamak hiç de zor değildir. Her ne kadar literatürdeki bilgiler sadece panel üretimi ve panel karakteristikleri ile ilgiliyse de, bir karavana gereken elektrik enerjisini elde etmek için panellerle beraber güneş akümülatörleri de kullanılmalıdır.

Bu proje için gerekli olan enerji yükleme hesaplamaları yapılmış ve bu doğrultuda 3 adet güneş paneli ve 2 adet akümülatörden yararlanılmıştır. Gerekli şekilde elektrik bağlantılarının da yapılmasıyla istenilen güç çıktısı sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik güneş panelleri, güneş akümülatörü, güneş enerjisi, elektrik enerjisi.

ABSTRACT

The biggest energy source of the world is undoubtedly solar energy. It is endless, clear and independent; and also it is utilized at a wide geographical area, so these properties make this supply necessary to work on it.

The purpose of this project is to provide at least partial replacement charge of batteries from the photovoltaic panels while camping in remote areas in a caravan. Design intent is to provide portability of the panels so as to place them in the optimum sunlight; also to generate the maximum power output, the panels must be emplace at the right angle up to its geographical location. One of the purposes of this project is to keep the costs as low as possible.

During the review of literature for this project, it became obvious that utilizing solar energy for electrical conversion was not in fancy. Although the information is about the production of photovoltaic panels and the panel characteristics, we need to use batteries to provide energy.

The energy load calculations for this project is conducted; 3 solar panels and 2 solar batteries designed around these figures. They are all interconnected to provide the required power for electrical needs of a caravan.

Keywords: Photovoltaic solar panels, solar batteries, solar energy, electrical energy.

1. GİRİŞ

Güneş, dünyamıza ve diğer gezegenlere enerji veren büyük bir enerji kaynağıdır. Halen yaygın olarak kullanılmakta olan klasik enerji kaynaklarının yanısıra, bütün yeni enerji türlerinin kaynağı da güneş enerjisidir. Örneğin; rüzgar enerjisi, güneşin yeryüzünü farklı şekilde ısıtarak sıcaklık farkı meydana getirmesinden oluşur. Jeotermal enerjinin kaynağı magmadır. Magmanın ise güneşten koptuğu varsayılmaktadır. OTEC (Ocean Temperature Energy Conversion) enerjisi ise güneşin okyanuslarda oluşturduğu sıcaklık farkından elde edilir. Gelgit enerjisi, güneş ile ay arasındaki çekim kuvvetinden oluşur. Dalga enerjisi ise rüzgarın etkisiyle, dolayısıyla güneş enerjisi ile elde edilir.

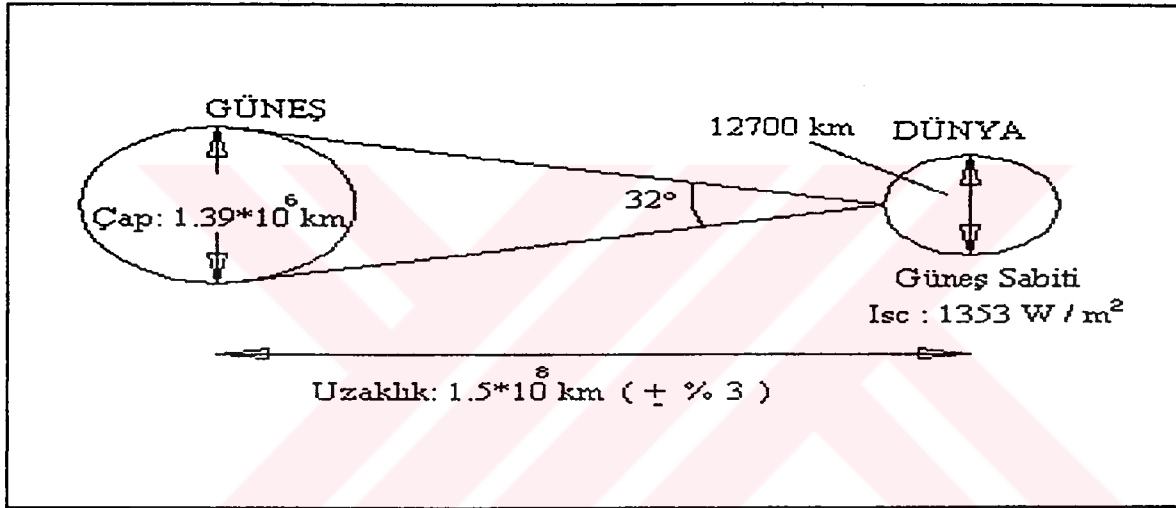
Günümüzde enerjinin yaklaşık % 80,2' si fosil yakıtlardan (termik + nükleer), %19,5' i hidrolik kaynaklardan ve % 0,5'i de yeni enerji kaynaklarından (güneş + jeotermal + rüzgar + OTEC + vs.) karşılanır. Görüldüğü gibi enerjinin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan karşılanır. Ancak fosil yakıt rezervleri sınırlıdır. Yapılan araştırma ve incelemelere göre bugünkü tüketim hızıyla, kömür rezervlerinin ~250 yıl, petrol rezervlerinin ~40 yıl, doğalgaz rezervlerinin ~60 yıl, nükleer rezervlerin de ~50 yıl daha yetebileceği saptanmıştır (Aybers ve Şahin, 1995). Bunun yanısıra, bu yakıtların çıkartılması ve işletilmesinin pahalı oluşu ve de çevreye olan olumsuz etkileri, insanları yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları bulmaya ve işletmeye sevk etmiştir. Kuşkusuz yenilenebilir enerji kaynakları arasında en çok araştırılanı ve de ümit vereni güneş enerjisidir. Bunun sebeplerini de şöyle sıralayabiliriz:

- Tükenmeyen bir enerji kaynağı olması
- Gaz, duman,kükürt ve radyasyon gibi zararlı atıkların olmayışı
- Doğabilecek ekonomik bunalımlardan etkilenmemesi
- Mahalli uygulamalara elverişli olması
- İşletme masraflarının az olması
- Karmaşık teknolojiye ihtiyaç duyulmaması
- Çok geniş bir coğrafi alanda uygulanabilir olması

Bütün bu avantajları dikkate alınarak son yıllarda güneş enerjisi ile ilgili çalışma ve uygulamalara büyük önem verilmiştir.

1.1 Güneş Enerjisinin Kaynağı

Güneş, $1,39 \times 10^6$ km çapında, $2,2 \times 10^{26}$ ton ağırlığında, ve ortalama olarak $1,41 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğundaki sıcak gaz topluluğundan meydana gelmiştir. Bu gaz topluluğunun %75'i hidrojen, %24'ü helyum ve %1'de diğer elementlerden oluşur. Güneşin çekirdek sıcaklığı $(8 \sim 13) \times 10^6 \text{ K}$, yüzey sıcaklığı ise 5762 K ' dir. Dünya ile güneş arasındaki mesafe, dünyanın güneş etrafındaki yörüngesinin tam dairesel olmamasından dolayı $\pm\%3$ kadar değişmektedir. Güneşin dünyaya olan ortalama uzaklığı $1,5 \times 10^8 \text{ km}$ olup ışığın dünyaya ulaşma zamanı 8,33 dakikadır (Yeni Rehber Ansiklopedisi, 1993). Ortalama mesafe konumunda atmosfer dışındaki güneş ışınımına 'Güneş Sabiti' denilmektedir ve $I_{g,s}=1353 \text{ W/m}^2$ ($116.4 \text{ cal/cm}^2\text{h}$) olarak ölçülmüş bulunmaktadır (Duffie, 1974).



Şekil 1.1 Güneş – Dünya çiftinin şematik ilişkisi (Ölçeksiz)

İlk zamanlarda güneş enerjisinin yanma (kimyasal bir olay) sonucu meydana geldiği, ardından da uranyum kaynaklı bir enerji olduğu fikri ortaya atılmıştı. Ancak, 1936 yılında Carl Von Weisecker güneş enerjisinin füzyon olayı sonucu meydana geldiğini belirtmiş ve bundan sonra yapılan çalışma ve incelemelerde bu fikir doğrulanmıştır. Buna göre hidrojen atomları birleşerek helyuma dönüşür ve bu reaksiyon sonucunda enerji açığa çıkar (Bekdemir Ş, 1993).



Denklemden de görüldüğü üzere her bir reaksiyon sonucunda 26 MeV ($41,6 \times 10^{-19} \text{ J}$)'lük bir enerji açığa çıkar. Bu da çok büyük bir enerji kaynağı olan güneş enerjisidir. Oluşan

enerji merkezden dışı doğru yayılmaktadır. Bu bağıntıdan ve yapılan diğer çalışmalardan hareketle güneşin yaşının 3 ~ 5 milyar yıl olduğu hesaplanmış ve güneşin bir o kadar süre daha enerji üretebileceği kabul edilmektedir. Bu da güneşin sonsuz bir enerji kaynağı olduğunu göstermektedir.

1.1.1 Stefan – Boltzman kanunu

Yüzey sıcaklığı yaklaşık 6000⁰C olan güneş, Stefan – Boltzman kanununa göre çok yüksek değerlerde radyasyon enerjisi yaymaktadır. Stefan – Boltzman kanunu;

$$E = \sigma \cdot T^4 \quad (1.2)$$

formülü ile ifade edilmektedir. Burada;

E = Enerji miktarı (W/m²)

σ = Stefan – Boltzman sabiti (5.77×10^{-8} W/m²K⁴)

T = Sıcak cismin mutlak sıcaklığını (T(K) = t + 273⁰C) ifade etmektedir.

Buna göre, bir cismin yaydığı enerji o cismin mutlak sıcaklığının dördüncü kuvveti ile doğru orantılıdır. Diğer taraftan, Wien kanununa göre bir cismin sıcaklığı arttıkça yayılan maksimum şiddetteki radyasyonun dalga boyu azalmaktadır. Wien kanunu;

$$\lambda_{\max} = \frac{a}{T} \quad (1.3)$$

formülü ile ifade edilmektedir. Burada;

λ_{\max} = Dalga boyu (μm)

a = Sabit

T = Mutlak sıcaklık (K)

1.2 Güneş Radyasyonu Çeşitleri

1.2.1 Kısa dalga boylu radyasyon

1.2.1.1 Direkt radyasyon

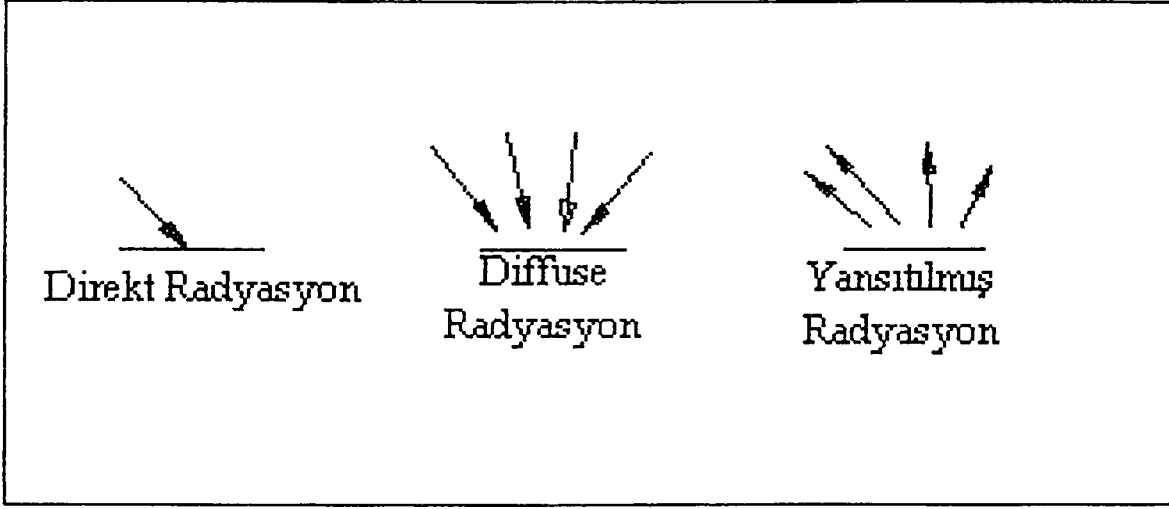
Güneşten direkt olarak gelen ve güneşten çok uzakta olduğumuzdan bunları paralel ışınlar olarak kabul edebileceğimiz radyasyondur. Bu radyasyonun dalga boyu 0.3 – 3.0 μm arasındadır (Duffie vd., 1974).

1.2.1.2 Difuz radyasyon

Güneş ışığı atmosferi geçişi sırasında yutulma ve saçılma nedeniyle zayıflar. Yutulmaya atmosferde bulunan oksijen, ozon, su buharı ve karbondioksit gibi gazlar neden olmaktadır. Difuz radyasyon her yönden gelir ve açık bir günde güneş radyasyonunun yaklaşık %15 – 20'si difuz radyasyondur.

1.2.1.3 Yansıtılmış radyasyon

Difuz radyasyonla yansıtılmış radyasyon arasındaki temel fark, difuz radyasyonun atmosferdeki gazlardan, yansıtılmış radyasyonun ise yeryüzündeki ağaç, kar, ayna gibi cisimlerden yansıyarak gelmesidir. Meteoroloji istasyonlarının hazırladıkları çizelgelerde, radyasyon değerleri direkt ve difuz radyasyonun toplamı olarak yer almaktadır. Yansıtılmış radyasyon ise tamamen bölgenin çevre şartlarına bağlıdır. Çizelge 1.1'de bazı karakteristik yüzeylerin yansıtıcılık yüzdesi, Şekil 1.2'de ise direkt, difuz ve yansıtılmış radyasyon şematik olarak görülmektedir.



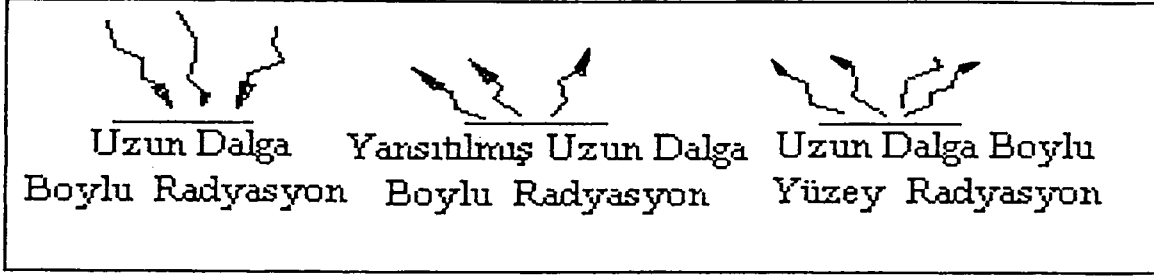
Şekil 1.2 Direkt, difuz ve yansıtılmış radyasyonun şematik olarak ifadesi

Çizelge 1.1 Bazı Karakteristik Yüzeylerin % Yansıtıcılığı (Uyarel vd., 1987)

Yüzey Adı	Ortalama Yansıtıcılığı %
Taze kar	0.75
Su yüzeyi	0.07
Toprak	0.14
Asfalt kaplı zemin	0.10
Beton kaplı zemin	0.22
Kuru çim	0.20
Yeşil taze çim	0.26
Koyu bina yüzeyi (Kırmızı tuğla v.b)	0.27
Açık renkli inşaat malzemeli bina yüzeyi	0.60

1.2.2 Uzun dalga boylu radyasyon

Atmosfere gelen güneş radyasyonunun yaklaşık %17.5'i atmosferi ısıtmak için harcanır. Yaklaşık %35'i de bulutlardan ve yerden yansiyarak tekrar uzaya döner. Bulutların üst yüzeyleri güneş ışınlarını çok iyi yansıtırlar. Bu yansımada bulut cinsi, kalınlığı ve taşıdığı taneciklerin sayısı da önemli rol oynamaktadır. Bütün bu yansıyan radyasyonlar uzun dalga boyundandır. Şekil 1.3'de uzun dalga boylu radyasyon şematik olarak ifade edilmektedir.



Şekil 1.3 Uzun dalga boylu radyasyonun şematik ifadesi

1.3 Güneş Enerjisi Uygulamaları

İnsanların güneş enerjisinden faydalanmaları oldukça eski tarihlerde başlamıştır. Socrates (M.Ö 400), evlerin güney yönünde fazla pencere konularak güneş enerjisinden daha çok yararlanılabileceğini belirtmiştir. Archimedes (M.Ö 250), içbükey aynalarla güneş ışınımını odaklayarak Syracuse'yı kuşatan gemileri yakmıştır.

Güneş enerjisi konusundaki çalışmalar 1600 yılında Galile'nin merceği bulmasıyla hız kazanmıştır. İlk defa Fransa'da 1725 yılında Belidor tarafından güneş enerjisi ile çalışan bir su pompası yapılmıştır. Fransız bilim adamı Mouchot 1860'da parabolik aynalar yardımıyla güneş ışınımını odaklayarak küçük bir buhar makinesini çalıştırmıştır. Güneş enerjisi ile çalışan hava çevrimli bir makine 1868 yılında Ericsson tarafından yapılmıştır. Bu yıllarda güneş enerjisi konusundaki çalışmalar yoğunlaşmış, tatlı su elde edilmesi ve güneş ocakları konusunda çok sayıda çalışma yapılmıştır. Amerikalı iki bilim adamı Shuman ve Boys 1913'de parabolik aynalar yardımıyla bir buhar üretici yapmışlar ve bundan faydalanarak Nil nehrinden su çeken 50 BG' lik su pompasını çalıştırmışlardır.

Elektrik üretmek amacı ile kurulan ilk tesis 1915 yılında J.A Harwigton tarafından ABD'de yapılmıştır. İlk güneş pili de yine ABD'de Bell laboratuvarlarında 1954 yılında D.M Chapin, C. Fuller ve G.L Person tarafından yapılmıştır (Bekdemir Ş, 1993).

I.Dünya savaşı ve sonrasında petrolün önem kazanmasıyla güneş enerjisi üzerindeki çalışmalar araştırma seviyesinde kalmıştır. Güneş enerjisinin önem kazanması özellikle 1973'deki dünya enerji kriziyle başlamıştır. Petrol fiyatlarının gittikçe artması, buna bağlı olarak da siyasi ve ekonomik çekişmelerin başlaması yeni enerji kaynakları üzerindeki

çalışmaları arttırmıştır. Özellikle de güneş enerjisi, üzerinde en çok çalışılan yeni enerji kaynağı olmuştur.

1.4 Güneş Enerjisinden Faydalanma Şekilleri

Güneş enerjisinden ısı (termal) ve fotovoltaik olmak üzere iki yöntemle yararlanılır. Güneş enerjisinden ısı yöntemlerle yararlanmada 3 yol vardır. Bunlar;

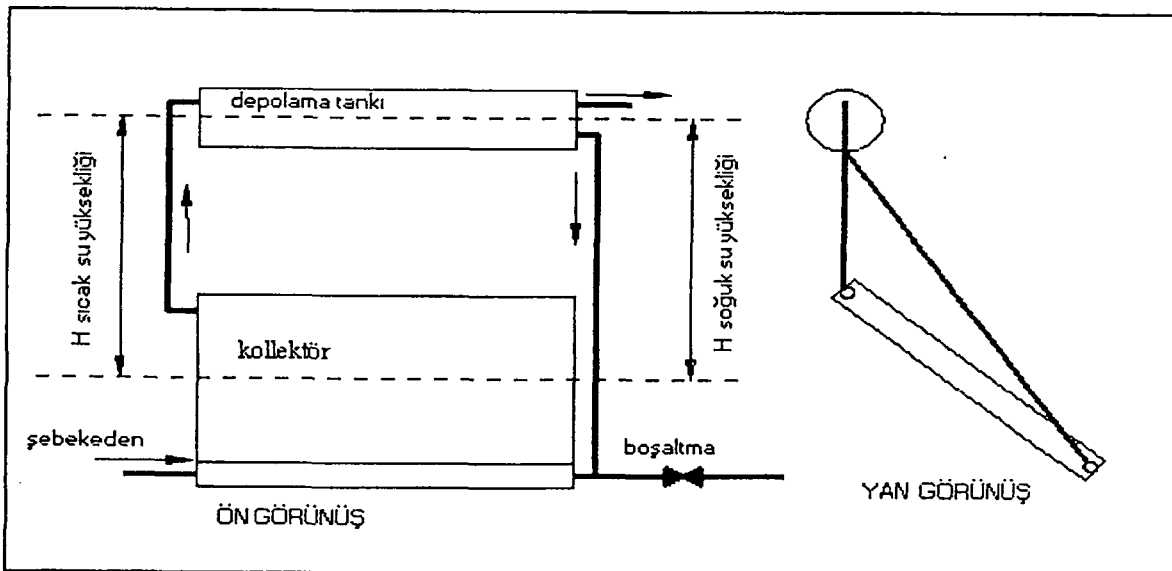
- Düşük Sıcaklık Uygulamaları (Düz Kollektörlü Sistemler)
- Orta Sıcaklık Uygulamaları (Odaklı Kollektörlü Sistemler)
- Yüksek Sıcaklık Uygulamaları (Güneş Santralleri)

1.4.1 Düşük sıcaklık uygulamaları (düz kollektörlü sistemler)

1.4.1.1 Güneş enerjisinden yararlanarak sıcak su elde etme yöntemleri

1.4.1.1.1 Tabii dolaşımli su ısıtma sistemleri

Tabii dolaşımli su ısıtma sistemleri ile sıcak su eldesi, güneş enerjisinin ilk kullanım alanlarından birisidir. Sıcak su ihtiyacının çok olmadığı durumlarda, özellikle konutlarda kullanılmaktadır. Şekil 1.4 tabii dolaşımli bir su ısıtma sisteminin temel elemanları ve çalışma şekli görülmektedir.



Şekil 1.4 Tabii dolaşımli bir su ısıtma sisteminin temel elemanları

Tabii dolaşım olabilmesi için, deponun kollektörün üst seviyesinden en az 45 cm daha yüksekte olması gereklidir, çünkü suyun sistemde dolaşımı, kollektörde ısınan su ile daha soğuk olan deponun altındaki suyun yoğunlukları arasındaki fark sayesinde olmakta ve depodaki su ısındıkça, gidiş ve dönüş borularındaki suyun yoğunlukları farkı azaldığından dolaşımı etkileyen basınç (P_e) azalmaktadır.

Dolaşımı sağlayan etken basınç, aşağıdaki formülden de görüldüğü gibi, kollektör ile depolama arasındaki yükseklik (H) ile depolama tankına giden ve tanktan gelen su sıcaklıklarının yani yoğunluklarının fonksiyonudur.

$$P_e = H \times (\rho_{soğ} - \rho_{sic}) \quad (1.4)$$

Burada;

P_e = Suyun sistemde dolaşımını sağlayan etken basınç (kg/m^2)

H = Soğuk ve sıcak su borularının yükseklikleri (m)

$\rho_{soğ}$ = Soğuk suyun yoğunluğu (kg/m^3)

ρ_{sic} = Sıcak suyun yoğunluğu (kg/m^3)

Yükseklik ve su sıcaklıkları arasındaki fark arttıkça, suyu sistemde döndüren etken basınç artacak ve sistem daha iyi çalışacaktır.

Depodaki su ile kollektördeki su sıcaklıkları eşit oluncaya kadar dolaşım devam eder. Depolama tankı kollektör üst seviyesinde olduğundan, geceleri veya güneşsiz günlerde suyun ters sirkülasyonu da söz konusu olmaz; böylece suyun soğuması kendiliğinden önlenmiş olur.

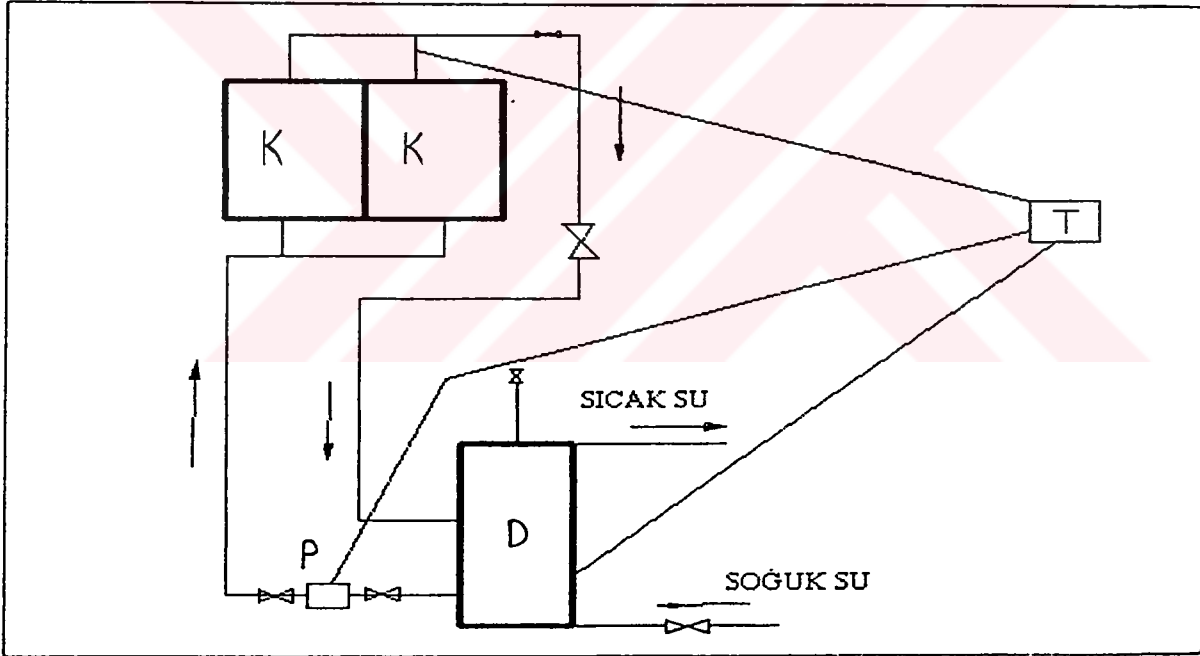
Bu sistemde tesisatın mümkün olduğu kadar az dirsekli, dirseklerin geniş kavisli, boruların depoya doğru eğimli olması sistemin çalışmasını olumlu yönde etkiler, çünkü suyun sistemde dolaşımı sırasında, dolaşım kuvveti boru sürtünme dirençleri ile bağlantı parçalarının dirençleri toplamını yenebilmelidir.

Güneşsiz günlerde sistemden sürekli sıcak su alınması isteniyorsa, sıcak su çıkışı üzerine bir ek ısıtıcı konabilir. Sistemin soğuk kış günlerinde donmasını önlemek için kollektörlerin alt seviyesine bir boşaltma vanası ve depolama tankının su ile dolabilmesi için deponun üst kısmına otomatik bir hava boşaltma cihazı konulmalıdır.

Tabii dolaşımli sistemler genellikle direkt ısıtmalı olarak yapılırlar. Kollektörden depoya giden sıcak su kullanıldığında, bütün sisteme yeniden soğuk şebeke suyu alınır. Yeniden alınan su, kollektörde kireçlenmeye neden olur ve sistemin verimini düşürür. Bu sakıncaları ortadan kaldırmak için (gerek görüldüğü taktirde) sistem endirekt yapılabilir. Bu sistemdeki kollektörde hep aynı akışkan devreder ve kollektörden alınan ısı, depolama tankı içinde bulunan ısı değıştiricide kullanım suyuna geçer.

1.4.1.1.2 Pompalı su ısıtma sistemleri

Pompalı su ısıtma sistemleri de, direkt ısıtmalı ve endirekt ısıtmalı olarak iki şekilde yapılabilir. Direkt ısıtmalı sistemin, ılıman iklimlerde, yıldaki donma suyu sayısı (hava sıcaklığının 0°C 'nin altında olduğu gün sayısı) 45' in altında olan yerlerde kullanımı daha verimli ve uygun olmaktadır. Şekil 1.5'de direkt ısıtmalı pompalı su ısıtma sistemi görülmektedir.



Şekil 1.5 Direkt ısıtmalı pompalı su ısıtma sistemi

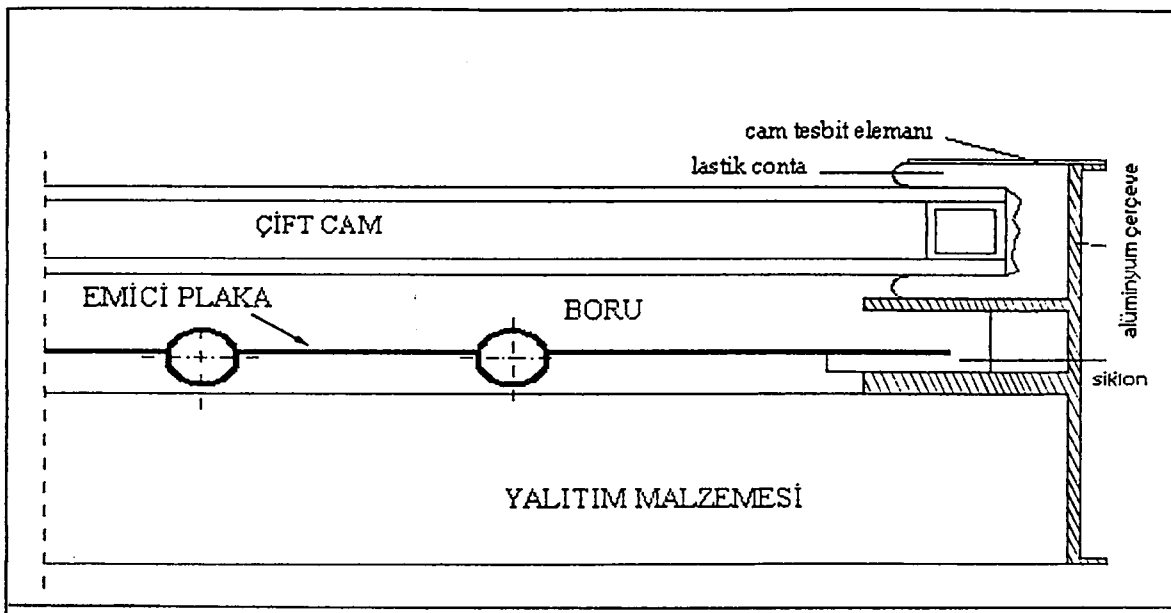
Suyun donmasını önlemek için sıcak tank suyunun geceleri kollektörde dolaşımı sağlanabilir. Kollektördeki su sıcaklığı $1 - 1,5^{\circ}\text{C}$ ' ye ulaştığında pompayı devreye sokacak bir sıcaklık algılayıcı kullanılmalıdır. Mevcut sistemden gelen suyun sıcaklığı yeterli değilse, başka bir ek kaynakla (örneğin elektrik) tahrik edilen ek bir ısıtma tankı kullanılarak istenen sıcaklıkta kullanım suyu elde edilebilir.

Endirekt ısıtmalı sistemlerde depolama tankı içinde bir ısı değiştiricisi vardır. Kollektörde ısıtılan su, depolama tankındaki bu ısı değiştiricisinden geçerken depodaki suyu ısıtır ve soğumuş olarak tekrar kollektöre gider. Isı değiştiricisi, tankın içinde bir serpantin veya su cebi şeklinde konstrükte edilebilir.

Güneşli su ısıtma sistemlerinde donma önemli bir problemdir. Donma olayı daha çok kollektörde meydana geleceğinden, kollektör devresinde antifirizli su kullanılmalı ve ısı değiştiricilerinin yapımına çok önem verilmelidir. Aksi taktirde, antifirizli suyun depolama tankı içindeki kullanım suyuna karışması ciddi sağlık problemlerine yol açabilir.

1.4.1.1.3 Düz yüzeyle güneş kollektörleri

Bütün güneş kollektörleri (düz, odaklayıcı v.s) güneş radyasyonunu alıp başka bir akışkan bünyesine aktaran ısı değiştiricileridir. Verimlilik, ömür, maliyet, montaj ve bakım gibi faktörler göz önüne alınarak, kullanılacak amaca uygun yukarıdaki kollektörlerden birisi seçilir. şekil 1.6'da düz yüzeyle güneş kollektörünün elemanları görölmektedir. Düz yüzeyle güneş kollektörlerinde kollektör kasetleri ağaç, plastik veya metal malzemeden yapılabilir. Ağacın yüksek sıcaklıklardan etkilenmesi, metal kasetlerin iyi bir iletken, dolayısıyla emici plakadan sürekli ısı kaybına neden olması ve plastiğin mor ötesi ışınlardan zarar görmesi gibi nedenler kaset malzemesi seçiminde göz önünde bulundurulması gereken en önemli faktörlerdir. Sonuç olarak, emici plaka ile yalıtımı yapılmış ve ısıl genleşmeler dikkate alınarak tasarlanmış alüminyum kollektör kasetleri en yaygın kullanılanlarıdır.



şekil 1.6 Düz yüzeyle güneş kollektörlerinin temel elemanları

Kollektör kasetlerinin yapımında malzemelerin ısıl genleşmeleri de dikkate alınmalıdır. Özellikle kollektör örtüsü olarak kullanılan camın uzaması ihmal edilirse, bu cam çerçevesindeki yerinde kendiliğinden kırılır.

Çizelge 1.2’de kollektör kafesi yapımında kullanılan bazı malzemelerin ısıl genleşme yüzdeleri (Sıcaklığın 150°C yükselmesinde malzemenin boyca uzama yüzdesi) verilmektedir. Çizelge 1.2’de alüminyumun camdan yaklaşık 3 kat, plastiğin ise camdan ortalama 10 kat daha fazla genleştiği görülmektedir.

Düz yüzeyli güneş kollektörlerinin vazgeçilmez bir parçası cam veya plastik kollektör örtüsüdür. Plastik örtü malzemelerinin dış hava şartlarından ve mor ötesi ışıklardan etkilenmesi sonucu, en çok 3 yıl kullanılabilir. Bu nedenle kullanımı pek yaygın değildir.

Çizelge 1.2 Kollektör kafesi yapımında kullanılan bazı malzemelerin ısıl genleşme yüzdeleri (Uyarel vd., 1987)

Kollektör kafes malzemesi	Boyca % uzama
Alüminyum	0.43
Pirinç	0.33
Beton	0.20
Bakır	0.23
Demir, Çelik	0.18
Cam	0.14
Plastik	0.80 – 3.30
Ağaç (lif boyunca)	0.05 – 0.11
Ağaç (enine)	0.55 – 0.80

2mm kalınlığındaki cam örtü üzerine düşen güneş ışığının görülebilir kısmının %82 ila %90’ını geçirir, %8’ini yansıtır ve geriye kalanını da absorbe eder. Absorbe edilen ışık miktarı, camın içerdiği demiroksit (Fe_2O_3) oranına bağlıdır. Demiroksit oranının artması ile absorbe edilen ışık miktarı da artar. Bu ise, sistemin verimini olumsuz yönde etkiler. Çizelge 1.3’de çeşitli cam ve diğer örtü malzemelerinin bazı özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1.3 Çeşitli örtü malzemelerinin bazı özellikleri

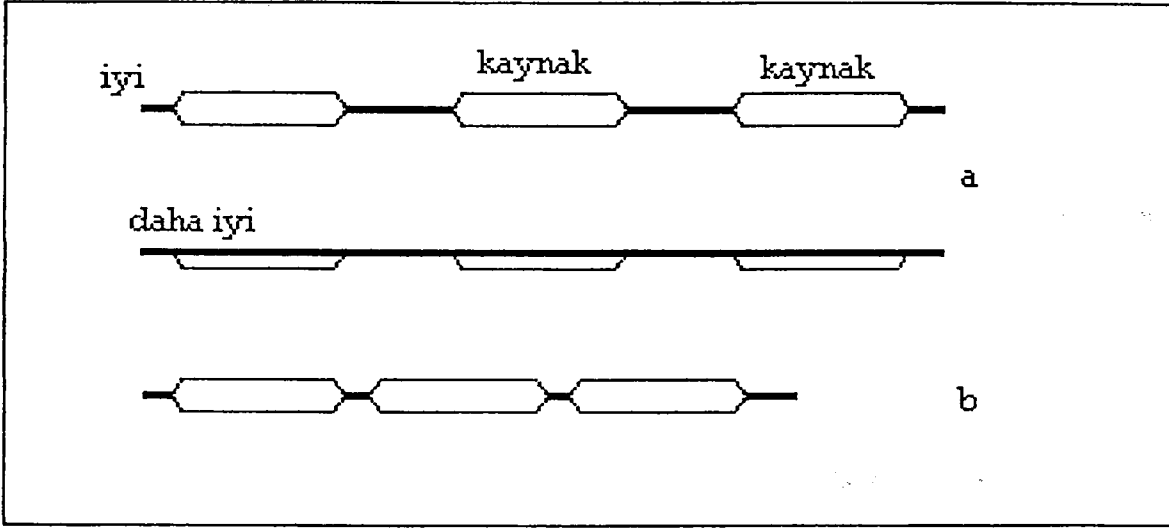
Örtü Malzemesi	Kalınlık (mm)	Isıl geçirgenlik(%)	Mak.çalışma sıcaklığı(⁰ C)	Maksimum ömür(yıl)
Temiz cam	3	85	400	30+
Düşük demirli cam	3	87	400	30+
Su renginde cam	3	91	400	30+
Polyester katkılı fiberglas	1	87	250	10 – 15
Fleksiglas (akrilik)	3	89	190	20

Örtü malzemesinin geçirgenliğini etkileyen diğer faktörler, güneş enerjisinin örtü malzemesine geliş açısı, örtü malzemesinin sayısı, camın asit banyosuna tabii tutulup tutulmadığıdır. Asit banyosuna tabii tutulan bir camın geçirgenliği %6 –7 oranında artar. Ayrıca, kollektördeki genişleme ve kısılmalara dayanımı sağlamak için cam temperlenmelidir.

Düz yüzeyli güneş kollektörlerinin içinde bulunan emici plaka güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştürerek sistemdeki akışkana ileten bir elemandır. Akışkan olarak su kullanılan güneş kollektörlerinde donma ve korozyon en büyük problemlerdir.

Sistemde ısı taşıyıcı akışkan olarak antifirizli su kullanılarak donma önlenir. Ancak bu durum, sistemde bir değiştirici kullanmayı gerektireceğinden dolayı ek bir maliyet getirir. Ayrıca antifirizli suyun ısı taşıma kabiliyeti daha düşüktür.

Borular emici plakaya kaynak veya lehimle tutturulmalıdır. Böylece iyi bir termal iletkenlik sağlanabilir. Akışkanı bünyesinde taşıyan borular ve emici plakanın aynı malzemeden yapılması daha uygundur. En uygun plaka ve boru malzemeleri bakır ve paslanmaz çeliktir. Şekil 1.7’de çeşitli emici plaka dizaynları görülmektedir.



Şekil 1.7 Çeşitli emici plaka dizaynları (Mc Veigh, 1982)

Emici plakanın güneş ışınlarını absorbe etme kabiliyetinin artırılması ve yayıcılığının azaltılması için bu plakaların bazı yüzey kaplamaları ile kaplanması gerekebilir. En çok uygulanan yüzey kaplama yöntemlerinde düzgün yüzey veren siyah boyalar veya seçici yüzeyler kullanılır. Seçici yüzeyler ya parlak emici plaka üzerinin çok ince bir siyah metaloksit tabaka ile kaplanmasıyla ya da emici plaka üzerine elektroliz yoluyla nikel, daha sonra da bu nikel tabaka üzerine ince bir kromoksit tabaka kaplanmasıyla oluşturulur. Kollektör emici plaka sıcaklığı yüksek olan sistemlerde seçici yüzeyler kullanılmalıdır. Düşük plaka sıcaklıklarında bu işleminden kaçınılmalıdır.

Yutucu yüzeyi fototermal tüy elyafla örtülmüş düz güneş toplayıcısının, anlık verimi aynı koşullardaki yaygın tip toplayıcısının anlık verimine göre % 9 – 45 oranında artmaktadır. Bu nedenle, sadece sıcak su üretiminde değil aynı zamanda iklimlendirme ve endüstriyel kullanımda da, özellikle 100°C'ye kadar sıcaklığın istenildiği durumlarda bu tip toplayıcılar kullanılabilir (Karabacak, 1990).

1.4.1.2 Güneş enerjisinden yararlanarak soğutma

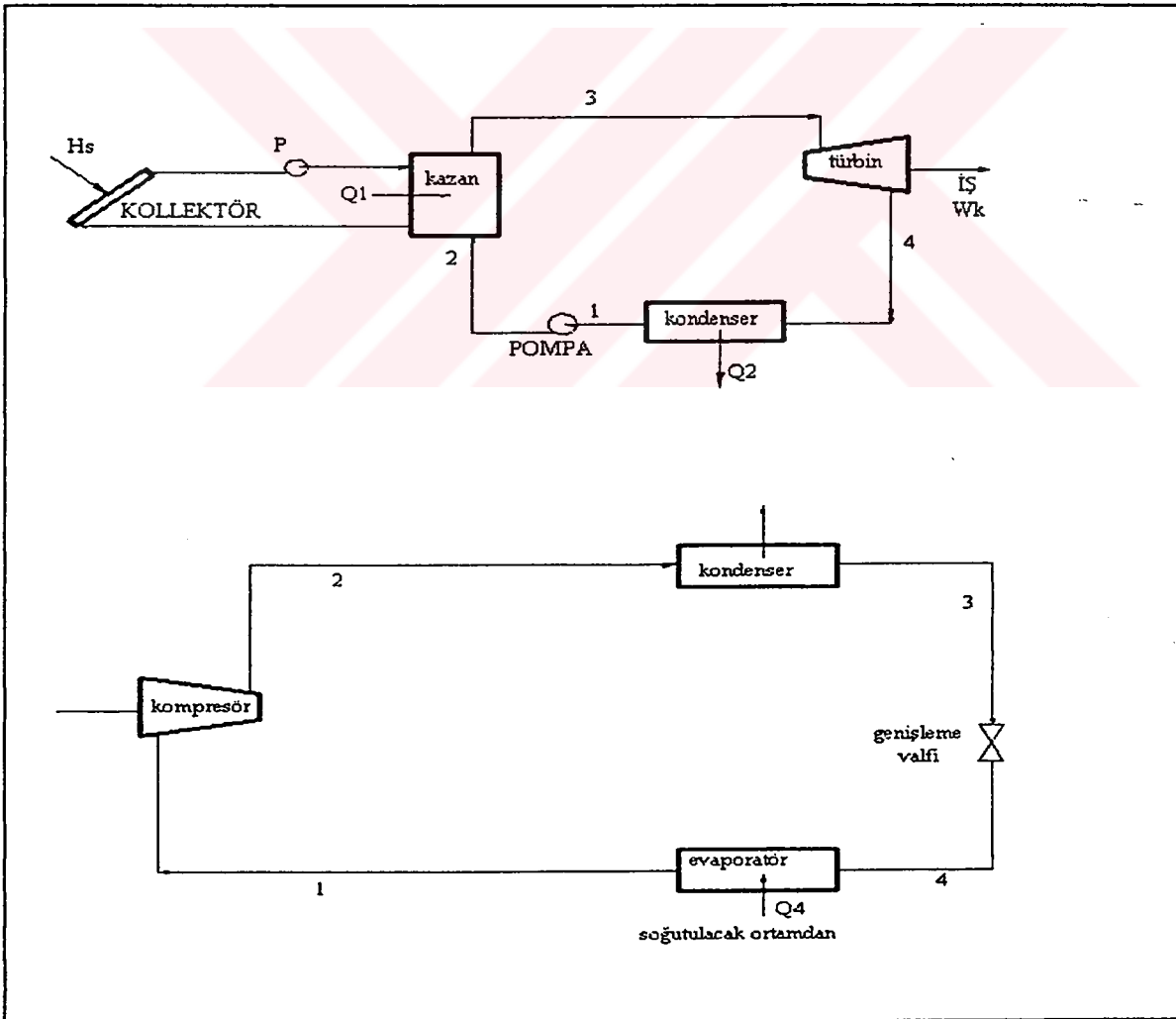
Bilindiği gibi gıdalar, içerdikleri yüksek orandaki su niceliği fizyolojik yapıları nedeniyle kısa sürede besin değerlerini ve niteliklerini yitirerek bozulmaktadırlar. Uygulanan soğukta saklama, özellikle dondurma işlemiyle gıdalarda bulunan su, buz kristallerine dönüştürülerek su aktivitesi önemli ölçüde düşürülmektedir. Böylece su aktivitesi olarak

depolama sıcaklığının da düşürülmesi sonucu besindeki biyokimyasal ve mikroskobik etkinlikler durdurularak kalitenin korunması sağlanmaktadır.

Güneş enerjili soğutma sistemlerinde elde edilen buharlaştırıcı sıcaklıklarının $+5^{\circ}\text{C}$ 'den büyük olması durumunda özellikle klima uygulamalarında kullanılabilir. Güneş enerjisinden yararlanarak çalışan soğutma sistemleri iki ana gruba ayrılabilir. Bunlar; mekanik buhar sıkıştırma ve absorpsiyonlu soğutma sistemleridir.

1.4.1.2.1 Mekanik sistemler (Isı pompaları)

Soğutma çevrimi için gerekli iş, güneş kollektörlerinden enerji alan bir Rankine güç çevrimiyle elde edilebilir. Bu işte, soğutma çevrimi kompresörü çalıştırılır. İki termik çevrimden oluşan bu soğutma sisteminin verimi çok düşüktür. Şekil 1.8'de Rankin güç çevrimi ve yoğuşmalı soğutma çevrimi görülmektedir.



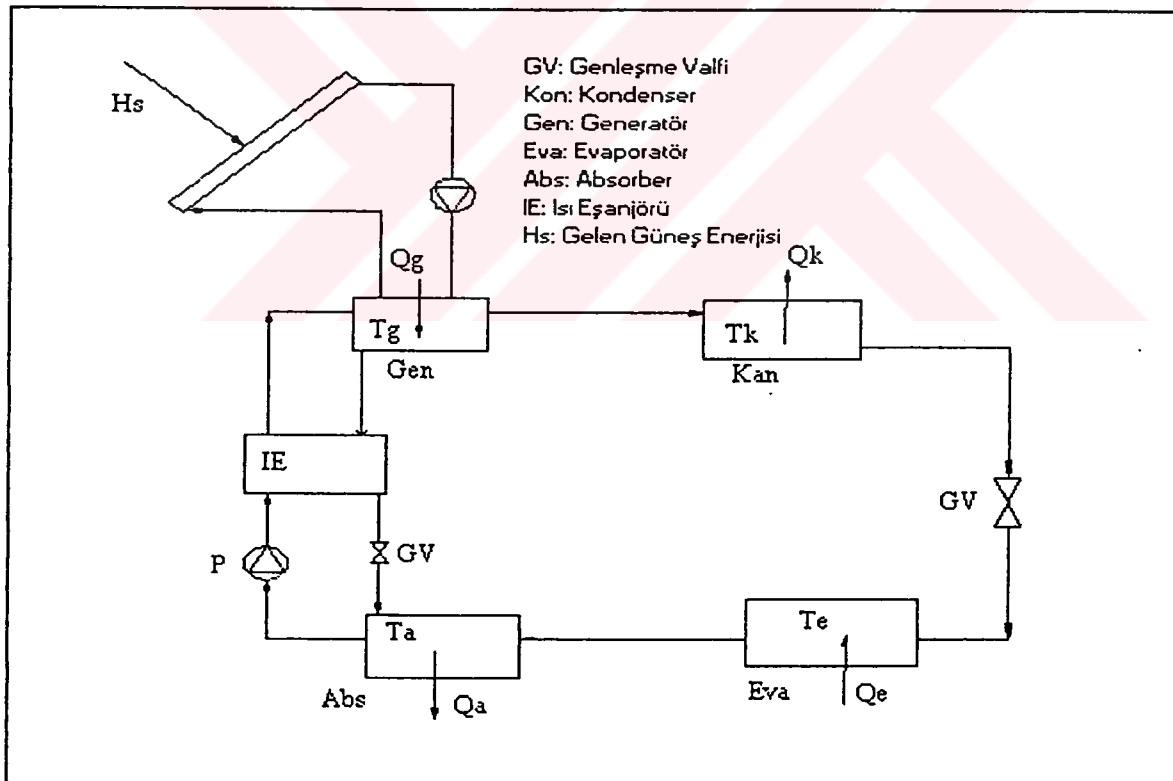
Şekil 1.8 Rankin güç ve yoğuşmalı soğutma çevrimi

Rankin çevriminde güneşten alınan enerji kollektör yardımıyla pompadan basıncı arttırılmış akışkana verilir ve basınçlı sıcak su üretilerek türbinden iş alınır. Daha sonra kondenserde yoğunlaştırılarak tekrar kazana pompalanır.

Yoğuşmalı soğutma çevriminde, dışarıdan alınan mekanik işle çalışan kompresör, soğutucu akışkan buharını sıkıştırır. Yüksek basınçta çevreye ısı atılarak yoğuşturulur. Sonra genişleme valfinde genişler ve düşük basınçta soğutulacak ortamdan ısı alarak buharlaşır.

1.4.1.2.2 Absorbsiyonlu soğutma sistemleri

Bu sistemin soğutma çevrimi mekanik sistemdeki ile aynıdır. Farklı yanı ise, kompresörün yerini, absorber eriyik pompası ve jeneratör (buhar üretici) almıştır. Şekil 1.9'da absorbsiyonlu soğutma sisteminin şekli görülmektedir.



Şekil 1.9 Absorbsiyonlu soğutma sistemi

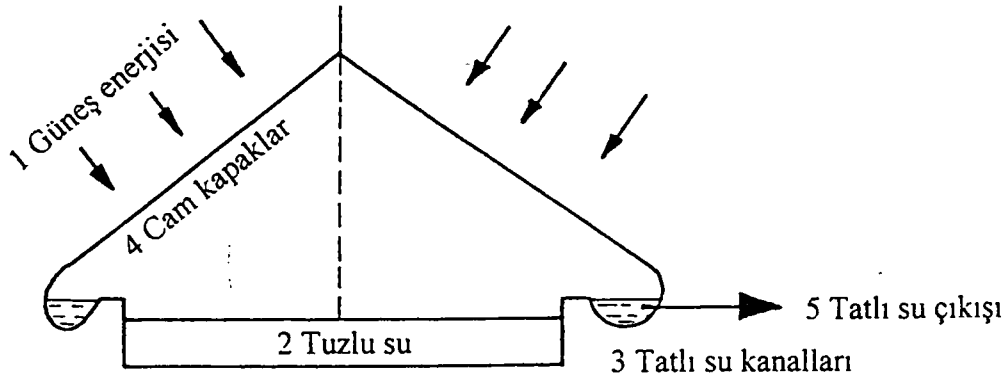
Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde ısı enerjisi, soğuk üretmek için direkt olarak kullanılmaktadır. Sistem içinde yüksek kimyasal yakınlığa sahip bir soğutucu eriyiği ile

absorbent (emici madde) kullanılmaktadır. Genel olarak absorpsiyon prensibi, 'karşılıklı çözünürlüğü olan maddeler yüksek sıcaklıkta daha az, düşük sıcaklıkta ise daha fazla çözünür' olmaktadır. Absorbiyonlu soğutma sistemlerinde çeşitli soğutkan – absorbent kombinasyonları kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanılanları, Amonyak – Su, Su – Lidyumdromid, Su – Lidyumklorid, Metilklorid – Tetraetilen glikol ve Metilalkol – Kalsiyumklorür'dür.

Soğutkan – absorbent kombinasyonlarında aranan en önemli özellik, kimyasal çözünürlüğün yüksek olmasıdır. Yukarıdaki kombinasyonlar içinde, amonyak – su en yüksek çözünürlüğe sahiptir. Bunun nedeni ise, amonyağın kaynama noktasının çok düşük (-33.4°C) ve buharlaşma ısısının yüksek (1368.168 kJ/kg) olması, dolayısıyla soğutma etkisinin çok yüksek olmasıdır. Amonyakın toksitlik ve tutuşabilirlik gibi iki dezavantajı ise, sistemin uygun şekilde tasarımı ve kontrolü ile giderilebilmektedir. Absorbent olarak suyun kullanılmasının nedeni ise, amonyağa karşı çözünürlüğünün yüksek olması ve böylece daha çok miktarda amonyak emebilmesidir.

1.4.1.3 Güneş enerjisinden yararlanarak suyun damıtılması

Deniz suyundan tatlı su eldesi, suyun çözültüden ayrıştırılması prensibine dayanmaktadır. Su sıkıntısı çekilen ekvatora yakın ülke ve adalarda güneş enerjisinin tatlı su üretiminde kullanılmasını çok cazip hale getirmektedir. Şekil 1.10'da tatlı su elde etmede kullanılan sistem ve temel elemanları görülmektedir. Şekilde görülen sistem, üzeri elde edilen tatlı su akışını sağlayan kanallı camla örtülmüş ve tabanı güneş radyasyonunu iyi absorbe etmesi için siyaha boyanmış bir havuzdan oluşmaktadır.



Şekil 1.10 Tatlı su elde etmede kullanılan sistem

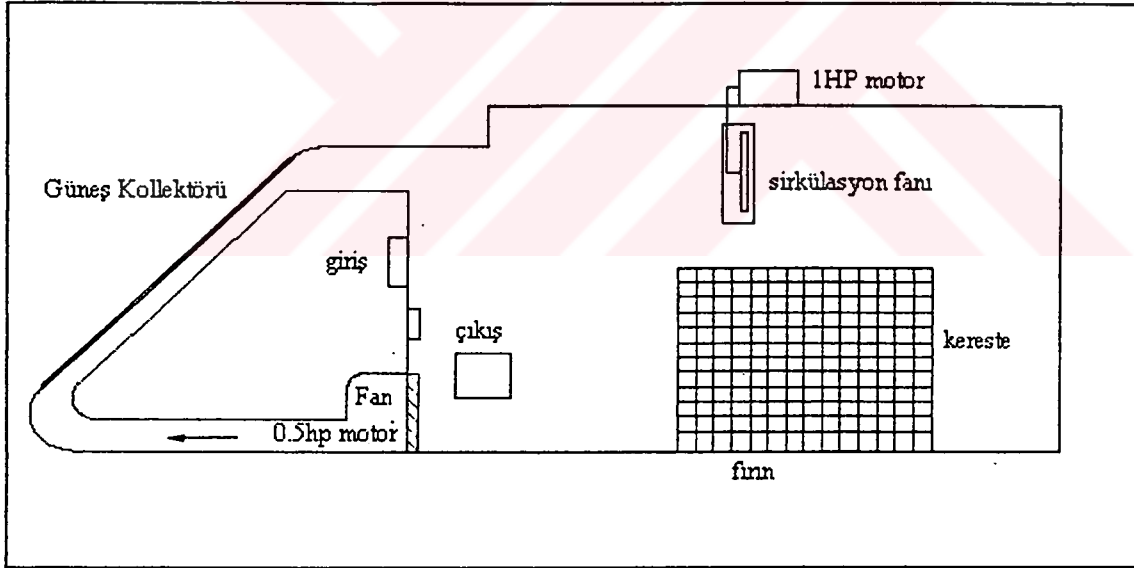
1-Güneş ışınları, 2-Tuzlu su, 3-Tatlı su pompalama kanalları, 4-Cam kapaklar, 5-Tatlı su çıkışı

Sistemin verimi, havuz suyu sıcaklığına, su – cam sıcaklık farkına, havuz tabanının ısı kaybına karşı yalıtılıp yalıtılmadığına, havuzdaki su derinliğine ve cam yüzey ile temasta bulunan dış hava hızına bağlıdır. Yapılan bir çalışmada aşağıdaki değerler bulunmuştur (Meinel, 1980).

Çalışmanın yapıldığı enlem	= 30 ⁰
Havuz alanı	= 10 m ²
Günde elde edilen su miktarı	= 32.9 kg/gün
Bu suyun değeri (0.5 \$/ton)	= 16.45 mills

1.4.1.4 Güneş enerjisinden yararlanarak kurutma

Kurutma işleminde amaç, kurutulan malzemede uzun bir süre her türlü biyolojik ve fiziksel değişimi en aza indirmektir. Kurutma işlemi, ağacın veya ürünlerin (buğday, mısır, darı v.s) bünyesinde bulunan suyun istenen oranda uzaklaştırılması olarak tanımlanabilir. Şekil 1.11’de kollektörlü güneşli kurutucular görülmektedir.



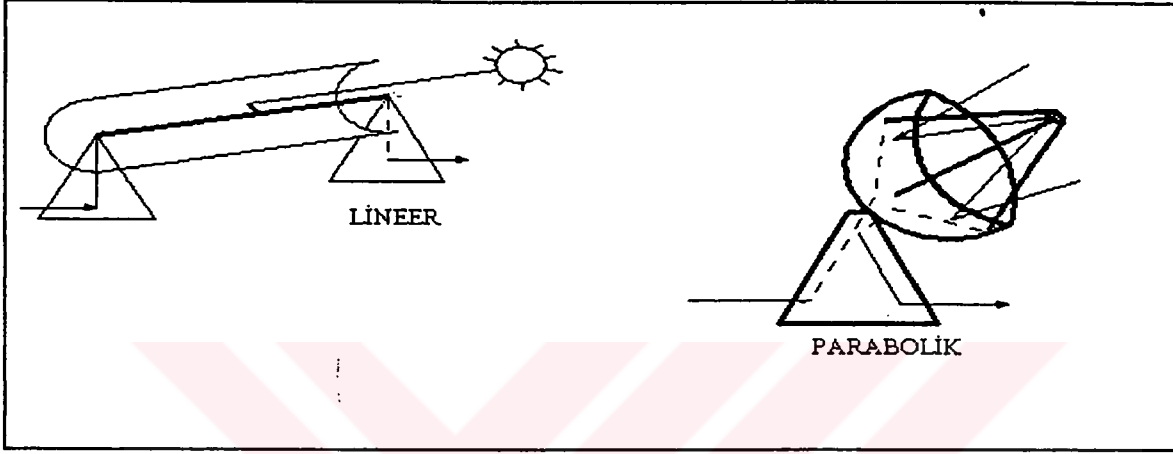
Şekil 1.11 Kollektörlü güneşli kurutucular (Uyarel vd., 1987)

Kollektörde toplanan enerji, hava ile alınarak kurutulacak malzemenin bulunduğu kapalı ortama iletilir. Kurutmayı etkileyen en önemli faktörler, kurutulacak malzemedeki nem miktarının başlangıç ve sonuç değerleri ve güneş kollektöründe elde edilen kurutma havasının sıcaklığıdır. Kurutma havasının nemi fırına monte edilen bir higrostatla kontrol edilerek, kollektörde ısıtılan kurutucu havanın devir daim hızı ayarlanmalıdır.

1.4.2 Orta sıcaklık uygulamaları (odaklayıcı kollektörlü)

Orta sıcaklık uygulamalarında ($100 - 300^{\circ}\text{C}$), güneş ışınımının yansıtılarak veya kırılarak bir noktaya veya eksene yoğunlaştırıldığı odaklı toplayıcılar kullanılır. Şekil 1.12’de bu iki tip kollektör görülmektedir.

Sanayi için gerekli sıcak su veya buharın temini, büyük soğutma ve ısıtma sistemleri odaklı kollektörlerin uygulama alanlarıdır.



Şekil 1.12 Odaklı tip kollektörler

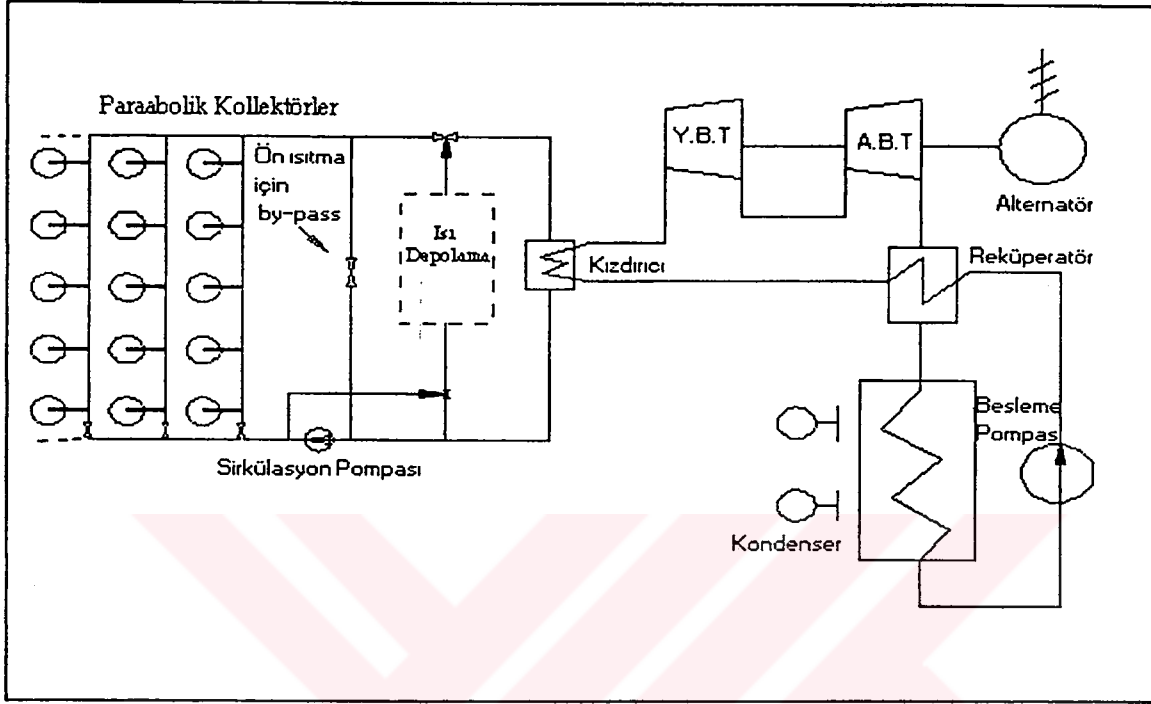
Gerekli enerji miktarı ve elde edilmek istenilen sıcaklığa bağlı olarak, $200 - 300^{\circ}\text{C}$ arasındaki uygulamalarda bu kollektörlerin güneşi takip etmesini sağlayan mekanizmalara gerek vardır. Özel tip lineer kollektörlerle 350°C ve parabolik kollektörlerle 800°C çalışma sıcaklığına çıkılabilmektedir (Mancini vd., 1994).

1.4.3 Yüksek sıcaklık uygulamaları

Güneş radyasyonundan yararlanarak 300°C 'nin üzerindeki yüksek sıcaklıkları elde etmek ancak güneş santrallerinde mümkün olmaktadır. Güneş santrallerinin iki tipi vardır. Bunlardan birincisi, birden fazla parabolik veya silindirik odaklayıcının seri veya paralel bağlanmasıyla oluşan güneş çiftlikleri, diğeri ise heliostat adı verilen ve güneş ışığını bir noktaya yansıtan yüzlerce yansıtıcıdan oluşan kuleli güneş santralleridir. Bu odaklayıcılar ve heliostatlar güneşi takip edebilmelerini sağlayan mekanizmalarla donatılırlar ve bu güneş santrallerinde 3500°C sıcaklığa kadar çıkabilmektedir. Bu santrallerde, güneş enerjisinden yararlanılarak metallerin ergitilmesi, kesilmesi ve en önemlisi elde edilebilen

yüksek sıcaklıktaki buhardan Rankin çevrimine göre elektrik üretimi oldukça yüksek verimli olarak gerçekleştirilebilmektedir.

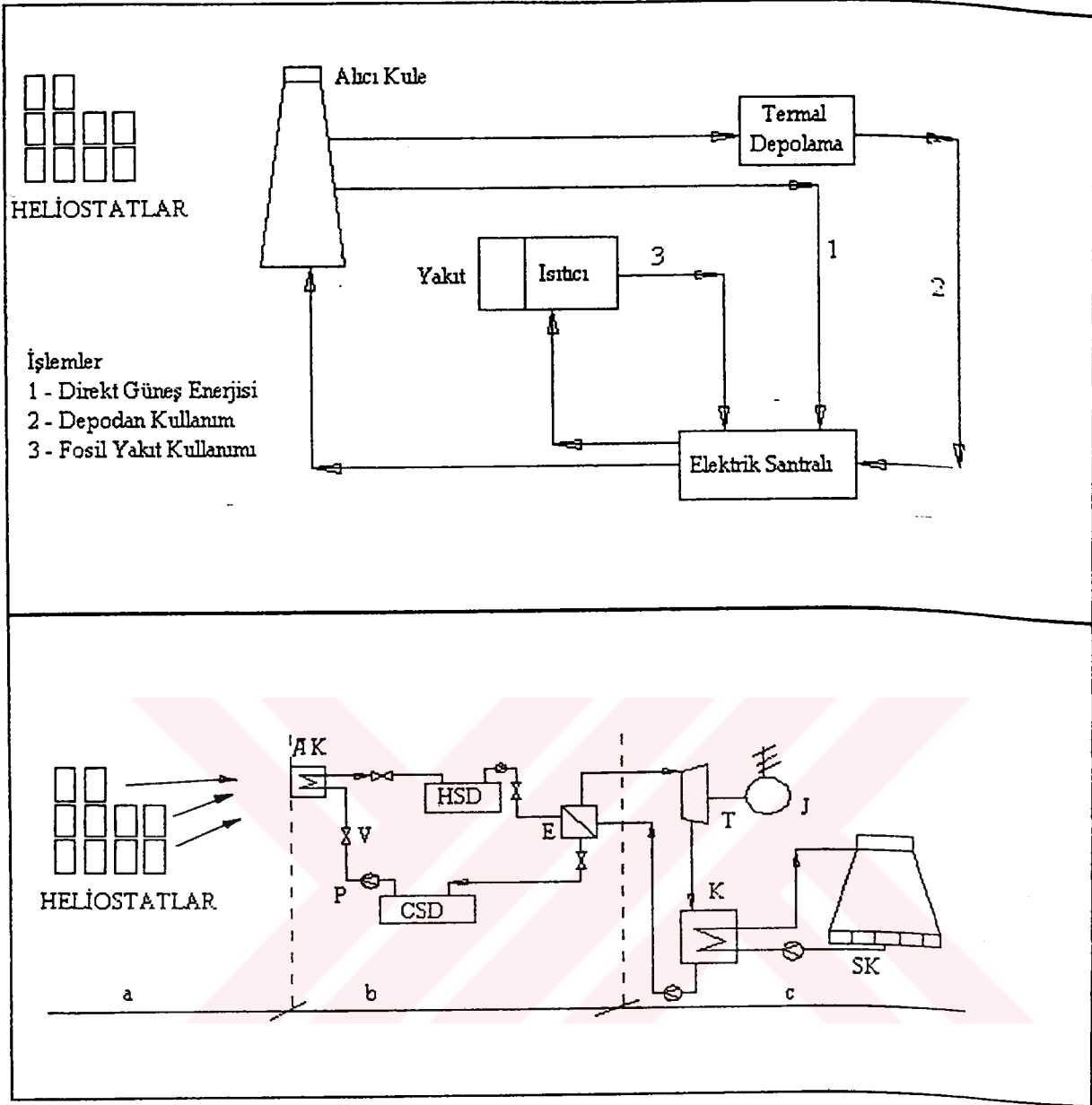
Şekil 1.13’de elektrik üreten bir güneş çiftliğinin çalışma prensibi ve çizelge 1.4’de elektrik üreten çeşitli güneş çiftliklerine ait karakteristik bilgiler verilmiştir.



Şekil 1.13 Elektrik üreten bir güneş çiftliğinin çalışma prensibi

Çizelge 1.4 Elektrik üreten çeşitli güneş çiftliklerine ait bilgiler (Warfield, 1984)

Proje adı/Bulunduğu ülke	Güneş çiftliğinin gücü	Maliyeti (milyon \$)
Sicilya (İtalya)	1 MW	12
Targosanne (Fransa)	2 MW	18
Almeria 2 (İspanya)	1 MW	17
Shikoku (Japonya)	1 MW	-
Barstow (A.B.D)	10 MW	135
Albuquerque (A.B.D)	5 MW	-
Kuwait (Kuveyt)	100 kW	3
Interatom (Almanya)	20 MW	-



Şekil 1.14 Tipik bir kuleli güneş santralinin ısı akışı ve çalışma prensibi (Külünk, 1983)

Güneş kuleli elektrik santrallerinin en pahalı alt sistemlerini oluşturan heliostatların fiyatı, 1975 yılında 2400 \$/m² iken bugün 600 \$/m² civarındadır. Sürekli gelişen malzeme teknolojisi sayesinde, bu fiyatların çok daha aşağılara çekilmesiyle üretilen elektriğin maliyeti ucuzlayacaktır (Warfield, 1984). Çizelge 1.5'de çeşitli kuleli güneş santrallerine ait karakteristik bilgiler verilmiştir.

Çizelge 1.5 Çeşitli kuleli güneş santrallerine ait karakteristik bilgiler (Warfield, 1984)

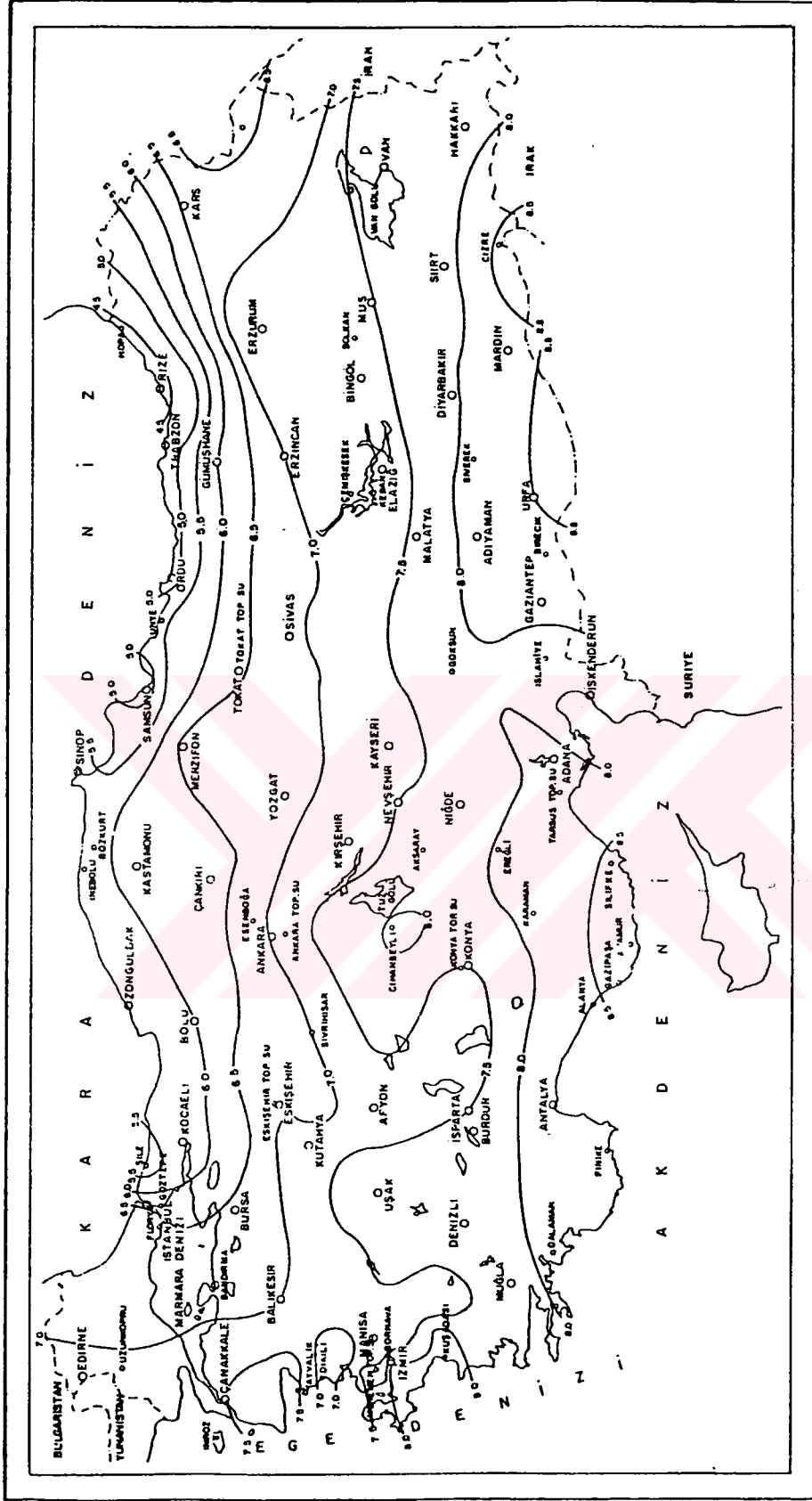
Proje Adı	Güç	Heliostat sayısı	Heliostat alanı (m ²)	Kule yüksekliği (m)
Almeria 1	500 kW	144	28	43
Eurelios	1 MW	70	53.7	55
Nio CRS	1 MW	207	16	69
Themis	2.5 MW	201	53.7	80

A.B.D'nin Kaliforniya eyaletinde 'Solar 2' adıyla kurulan bir kuleli güneş santralinde yaklaşık 2000 adet heliostat, 67m yüksekliğindeki kuleye monte edilmiş olan alıcıya yönlendirilmiştir. Alıcıdaki akışkan ısıtılarak buharlaştırılmakta ve türbinde elektrik üretilmektedir. Bu kuleli güneş santralinin gücü 10 MW ve maliyeti 48.5 milyon US \$'dır (Valenti, 1995).

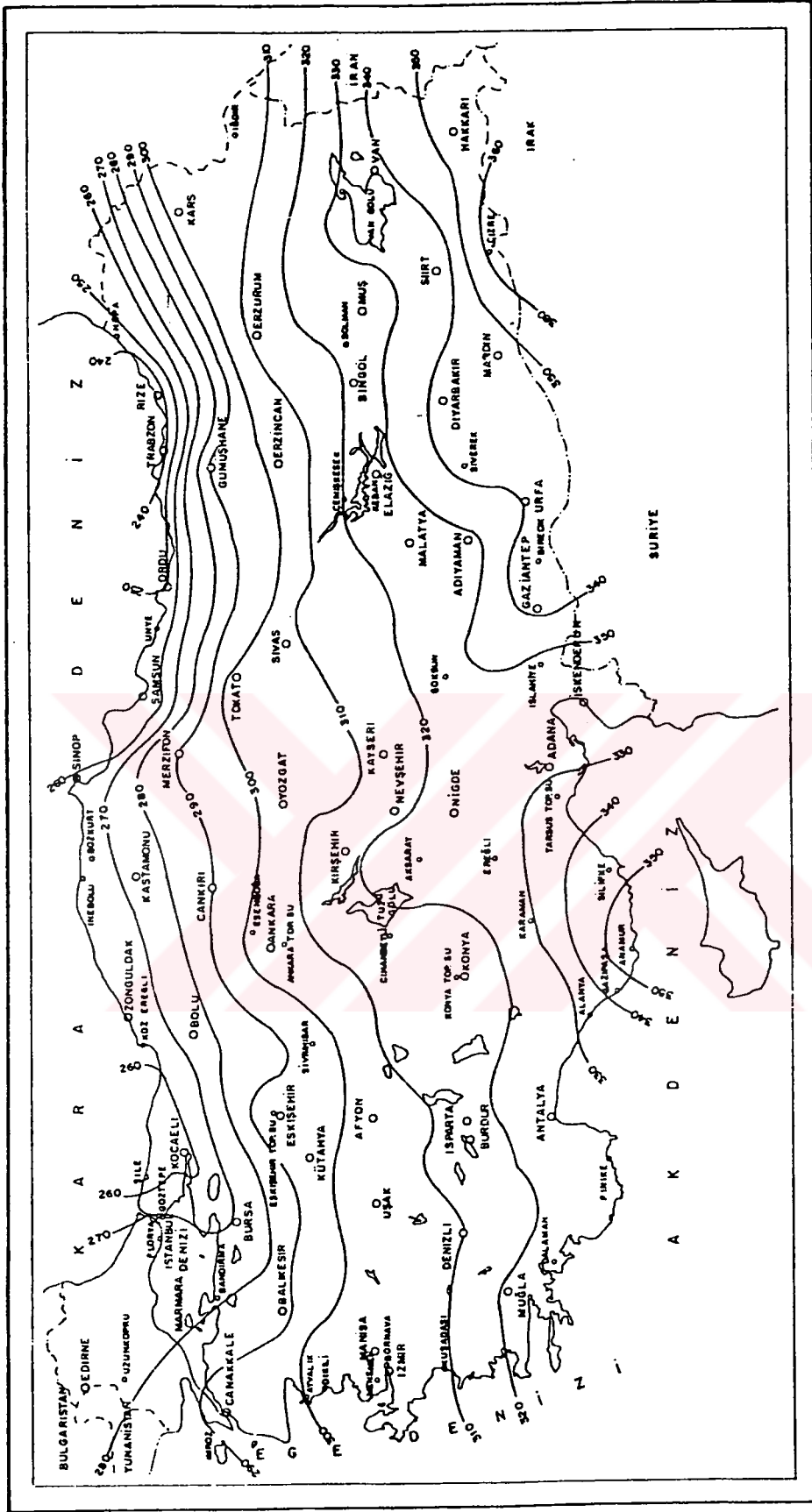
1.5 Türkiye'de Güneş Enerjisi Potansiyeli

Ekvatorun 45⁰ kuzey ve 45⁰ güney enlemleri arasında yer alan bölgeye "Güneş Kemerini" adı verilir. Ülkemiz 36⁰ – 42⁰ kuzey meridyenleri arasında bulunduğu için dünyanın güneş kuşağı bölgesinde bulunmaktadır. Ülkemiz güneş ışınlarını almak açısından orta zenginlikte bir ülke konumundadır.

Türkiye'nin yıllık ortalama güneşlenme süresi 2608 saat ve geneline gelen yıllık ortalama güneş enerjisi 1344.6 kWh/m²yıl'dır. Çizelge 1.6'da güneş enerjisi yoğunluğunun bölgelerimize göre dağılımı görülmektedir. Bir yılda Türkiye'nin tüm yüzeyine gelen toplam güneş enerjisinin (Harita 1 ve 2) yaklaşık olarak %50'si mayıs, haziran, temmuz ve ağustos aylarında gelmektedir (EİE, 1984).



HARİTA 1. Türkiye güneşlenme süreleri yıllık ortalama dağılımı (saat / gün)



HARİTA 2. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli yıllık ortalama dağılımı(cal/cm² .gün)

Çizelge 1.6 Güneş enerjisi yoğunluğunun bölgelerimize göre dağılımı (Yılmaz, 1995)

Bölge	Yıllık toplam güneş enerjisi (kWh/m ² yıl)	Yıllık toplam güneşlenme süresi (saat/yıl)	Yıllık ortalama güneşlenme süresi (saat/gün)
Karadeniz	1120	1971	5.4
Marmara	1168	2409	6.6
İç Anadolu	1314	2628	7.2
D. Anadolu	1365	2664	7.3
Ege	1384	2738	7.5
Akdeniz	1390	2965	8.1
G. Anadolu	1460	2993	8.2
Türkiye Ort.	1311	2640	7.23

Çizelge 1.7’de Türkiye yıllık ortalama güneşlenme süresinin oransal ve alansal dağılımı, Çizelge 1.8’de Türkiye’de birim yüzeye gelen güneş enerjisinin oransal ve alansal dağılımı verilmiştir.

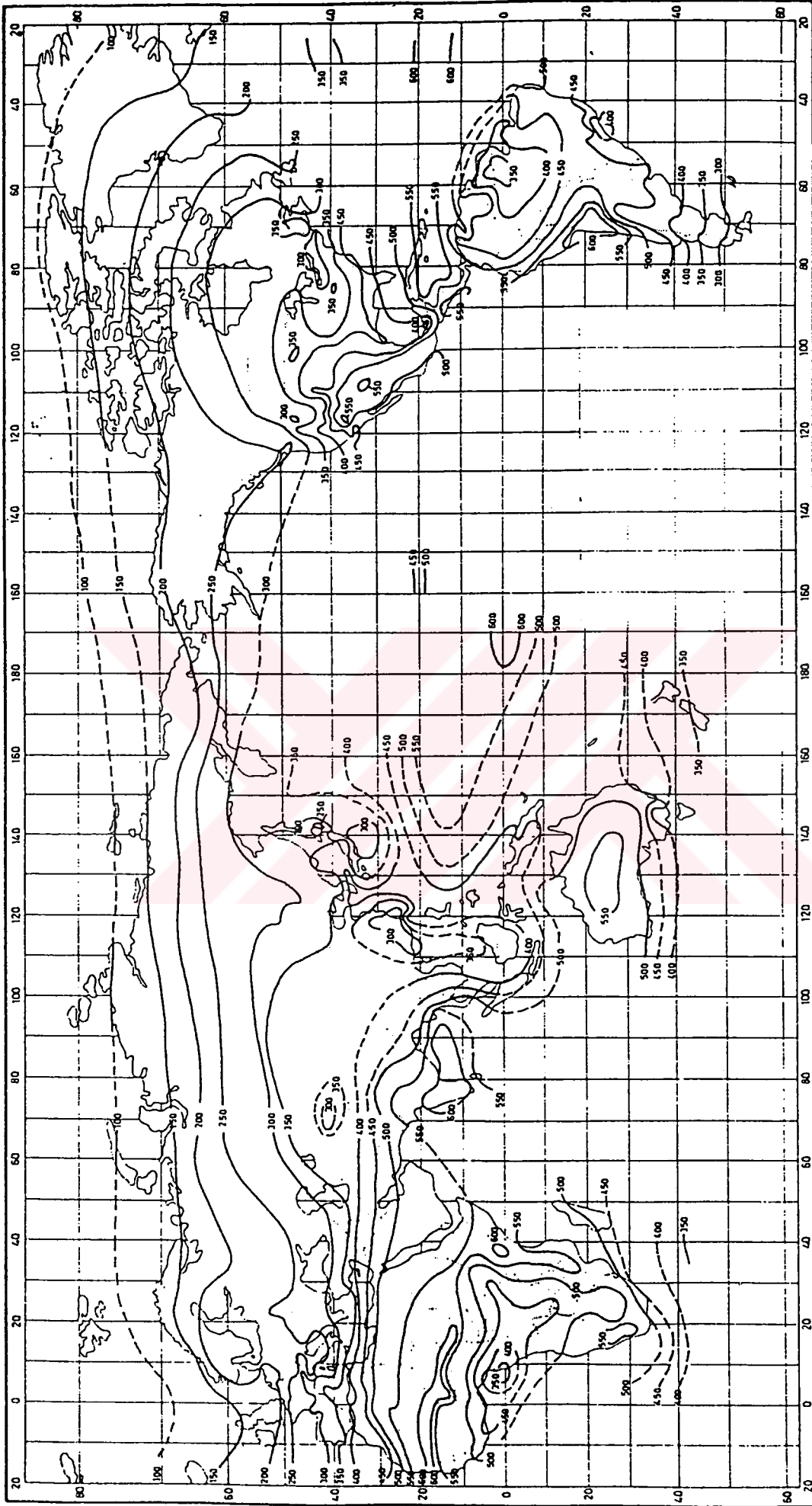
Çizelge 1.8 Türkiye yıllık ortalama güneşlenme süresinin oransal ve alansal dağılımı

Güneşlenme süresi (saat)	%	Güneşlenen alan (km ²)
4.5 >	-----	1640
4.5 – 5.0	1	9280
5.0 – 5.5	2	18880
5.5 – 6.0	6	47080
6.0 – 6.5	9	67160
6.5 – 7.0	16	122000
7.0 – 7.5	24	188080
7.5 – 8.0	26	197880
8.0 – 8.5	14	104240
8.5 <	2	18280

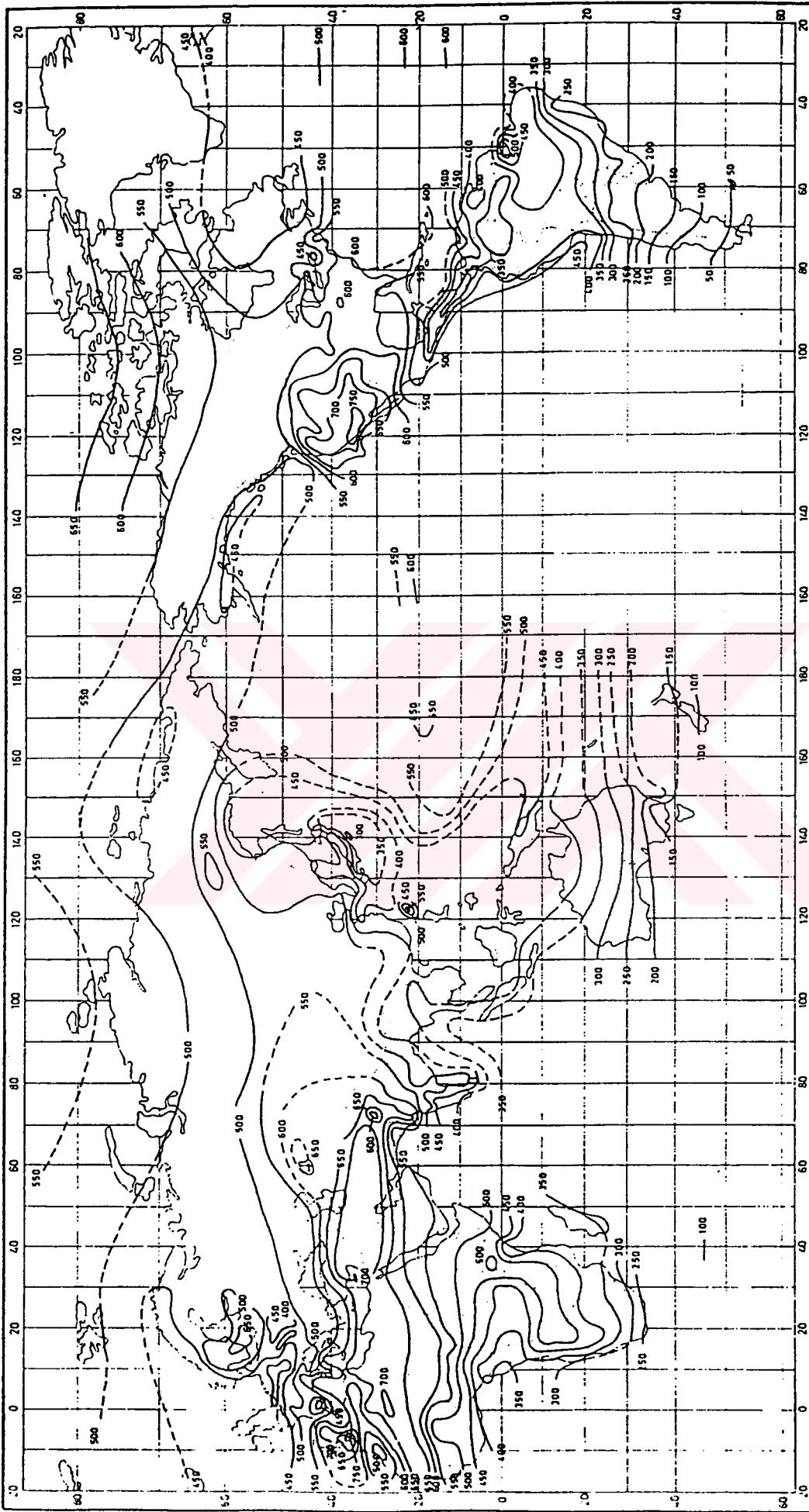
Çizelge 1.9 Türkiye’de birim yüzeye gelen enerjisinin oransal ve alansal dağılımı

Işınım Şiddeti (cal/cm².gün)	%	Güneşlenen alan (km²)
220 – 240	-----	1200
240 – 260	2	19126
260 – 280	13	96640
280 – 300	17	130280
300 – 320	33	258760
320 – 340	26	202640
340 – 360	9	68560
360 – 380	-----	2240

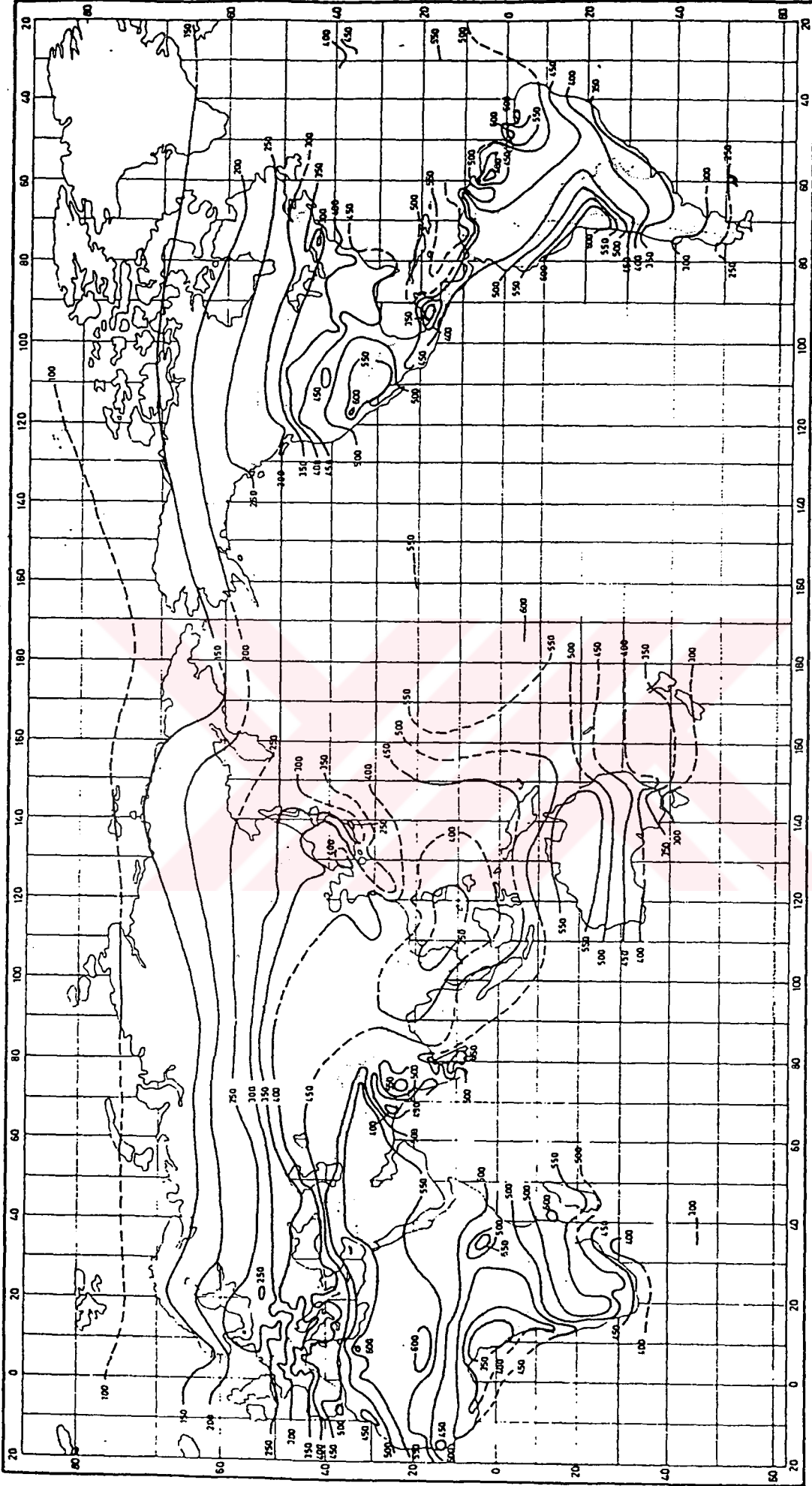




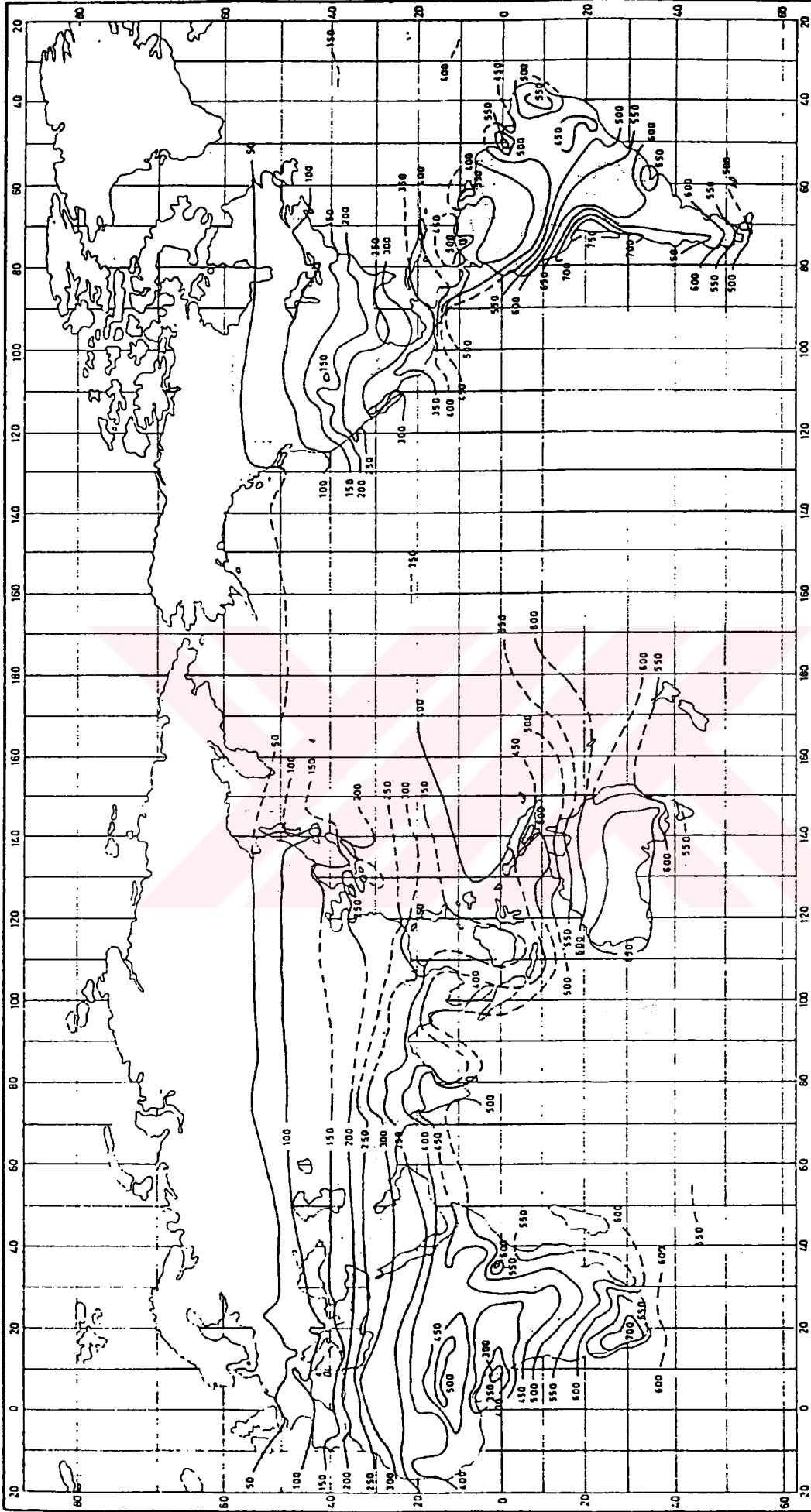
HARİTA 3. Mart ayı için günlük toplam (direkt + difüz) güneş enerjisi miktarı ($\text{cal/cm}^2 \cdot \text{gün}$).



HARİTA 4. Haziran ayı için günlük toplam(direkt + difüz) güneş enerjisi miktarı (cal / cm² .gün).



HARİTA 5. Eylül ayı için günlük toplam (direkt + difüz) güneş enerjisi miktarı (cal / cm² .gün).

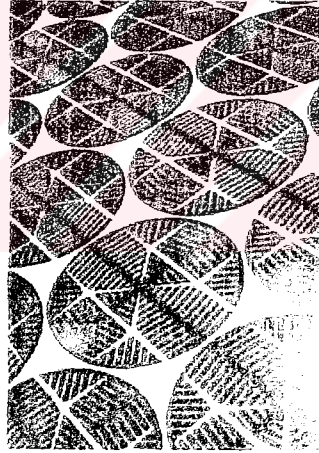


HARİTA 6. Aralık ayı için günlük toplam(direkt + difüz) güneş enerjisi miktarı (cal / cm².gün).

2. GÜNEŞ ENERJİSİNİN FOTOVOLTAİK YÖNTEMLE ELEKTRİK ENERJİSİNE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ

Fotovoltaik piller (güneş pili), güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren bir yarı iletken kristaldir. Bazı maddelerin elektriksel özellikleri ışığa bağlı olarak değişir. Bu olay, değişik oranlarda katkılanmış aynı türden kristallerin ortak yüzeyli yapılarında (diyot yapısı) elektrik enerjisi üretimi olarak ortaya çıkar. Bütün yarı iletken maddeler fotovoltaik özelliklere sahip olmalarına rağmen, günümüzde bunlardan sadece birkaçı güneş pillerinin imalinde kullanılmaktadır. Bunlar elektronik sektöründe de önemli bir yer tutan Silikon (Si), Galyumarsenik (GaAs), Kadmiyumtelurit (CdTe) ve Bakırindiyumdiselenit (CuInSe₂, 'CIS') gibi yarı iletken malzemelerdir.

Teknolojisi en ileri durumda bulunan yüksek saflıktaki (10^{-11}) silikon, güneş pili yapımında en çok kullanılan yarıiletken malzemedir. Güneş pili yapımında kullanılan silikon yüksek saflık gerektirmesine rağmen dünyada en yaygın bulunan ikinci element olması büyük bir avantajdır.



Bu paneller, Köln'de üretilen ve güneş enerjisiyle çalışan arabaların dolunı islasyonunda kullanılıyor...

Şekil 2.1 Silikon güneş pilleri (Focus, 2000)

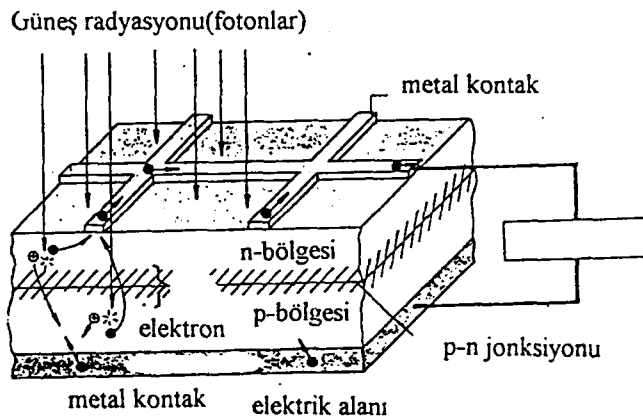
2.1 Güneş Pillerinin Çalışma Prensibi

Güneş pili, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren bir yarı iletken kristaldir. Bugün en yaygın biçimde kullanılan güneş pili, silikon kristallerinden elde edilmektedir. Üzerine elektrik gelen Si kristalinin kontak uçları arasında sabit kabul edilebilecek bir doğru gerilim oluşmaktadır. Üretilen gerilimin şiddeti yarı iletken

malzemenin cinsine, üretilen akım şiddeti ise güneş pili üzerine gelen ışık şiddetine bağlıdır.

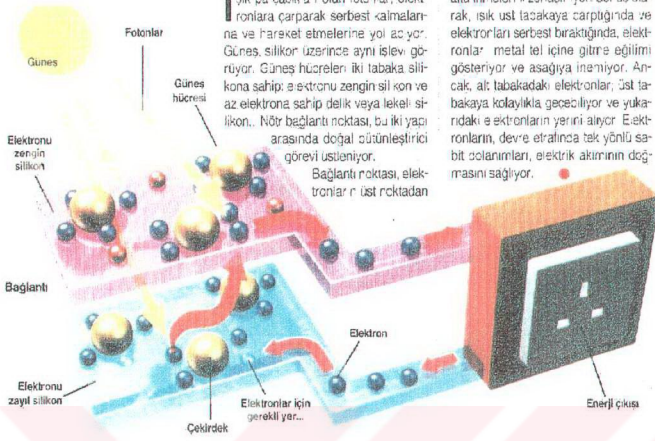
Fotovoltaik etki (güneş pili) bir yarı iletkendeki p – n dokunma yüzeyi (jonksiyonu) için kolayca tanımlanabilir. Silisyum gibi tipik bir yarı iletken, silisyum atomunun dört valans elektronunun herbiri kimyasal bir bağla bir diğerine bağlıdır ve mutlak sıfır durumunda hiç serbest elektron yoktur. Eğer böyle bir yarıiletken, arsenik veya fosfor gibi beş valans elektronu olan başka bir madde ile katkılanırsa, yarıiletkenin bu bölgesinde bir elektron fazlalığı oluşacaktır; çünkü beş atomlu arsenik veya fosforun dört valans elektronu silisyum ile bağ yapacak ve bu beş valans elektronundan bağ yapmayan birisi boş (serbest) kalacaktır. Sistemdeki bu fazla (serbest) elektronlar pratik olarak hareket edebilen serbest elektronlar haline gelir; n – tipi bir yarı iletken bu şekilde oluşturulmaktadır.

Aynı yarı iletken başka bir kısmında, üç valans elektronlu bir madde ile (örneğin bor) katkılanırsa bu kısmında elektron eksikliği oluşur. Bu durumda p – tipi yarı iletken oluşmaktadır. Bu elektron eksikliği, kafes içinde serbest olarak hareket edebilen oyuk fazlalığı olarak açıklanabilir. Bir tarafında n – tipi ve diğer tarafında p – tipi katkılanmış bölge olan bir yarı iletken parçası p – n jonksiyonu olarak adlandırılır. Bu jonksiyonda n – tipi bölgedeki serbest elektronlar p – tipindeki bölgeye geçme eğiliminde olacaklardır. Bu difüzyon, yönü n – tipi bölgeden p – tipi bölgeye doğru olan bir elektrik alan (E) meydana getirir. Şekil 2.2 ve 2.3’de bir güneş pilinin çalışma prensibi verilmiştir.



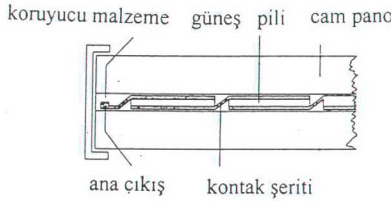
Şekil 2.2 Bir güneş pilinin çalışma prensibi

Güneş ışığı enerjiye nasıl dönüşüyor?



Şekil 2.3 Bir güneş pilinin çalışma prensibi (Focus Dergisi, Şubat 2000)

Standart ölçülerde bir güneş pili, 1000 W/m^2 yoğunluğunda gelen güneş ışınımı altında (Bir yaz günü öğle saatlerinde alınan güneş ışınımını civarında bir değer), $0,57 - 0,6 \text{ V}$ doğru gerilim ve $1,85 - 2,00 \text{ A}$ doğru akım (DC) üretir. Diğer bir deyişle, güneş pilleri güneş enerjisini yaklaşık %15 - 22 verimle elektrik enerjisine dönüştürürler. Uygun sayıda güneş pilleri $17 - 18 \text{ V}$ gerilim üretmek üzere seri bağlanarak 'solar modül'ler oluşturulur. Bu solar modüller ise seri ve/veya paralel bağlanarak istenilen güç elde edilebilir. Şekil 2.4'de solar modüllerin oluşturulması prensibi verilmiştir.



Şekil 2.4 Solar modüllerin yapım prensibi

2.2 Güneş Pili Teknolojisi

Birbirine benzemeyen herhangi iki farklı malzemenin jonksiyonu ile fotovoltaik etki oluşturulabilse bile, fotovoltaik dönüştürücülerde (güneş pilleri) kullanılan esas malzemeler yarıiletkenlerdir. Yarıiletkenler, elektriksel iletkenliği metaller ile yalıtkan malzemelerin iletkenliği arasında bir değerde olan malzemelerdir. Silikon, güneş pillerinde ve elektronik sektöründe yarıiletken malzemelerin yapımında kullanılan temel yarıiletken malzemedir.

Düşük maliyetli ve yüksek verimli silisyum güneş pilleri aşağıda değinilen 3 ana yöntemle üretilir: Birincisi; büyük çaplı ingotların dilimlenmesiyle elde edilen tek kristalli malzemenin (single crystalline material) kullanımına dayanır. İkincisi ise, maliyeti düşürmek için düşük kaliteli olarak imal edilmiş levha şeklindeki güneş pillerini doğrudan kullanma yaklaşımıdır. Sonuncu yöntemde ise, döküm yoluyla elde edilen polikristal bloklardan çok ince silikon levha dilimlerinin elde edilmesidir. Ayrıca ince film (thin film) olarak yapılan güneş pilleri kullanılarak, çok az aktif malzemelerden elektrik üretebilmek mümkündür, çünkü ince film güneş pilleri güneş ışığını tek kristalli silikon güneş pillerinden daha verimli bir şekilde absorbe eder.

Tek kristalli, çok kristalli ve amorf (amorphous) pillerden, sıvı – yarıiletken jonksiyonlu pillere kadar birçok yeni güneş pili tipinde yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Bugün iki ana güneş pili üretim teknolojisinde büyük gelişmeler sağlanmıştır; 80 – 120 W/m² güç yoğunluğuna sahip olan düz güneş pilleri (flat plate solar cells) ve optik sistemin verimine bağlı olarak 250 W/m²'den daha fazla güç yoğunluğuna sahip olan toplayıcı kuvvetlendirilmiş (concentrator – enhanced) piller.

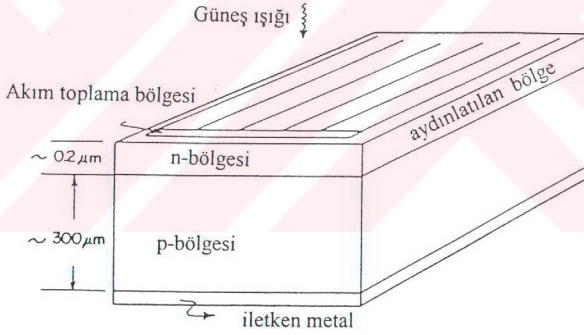
Düz güneş pili teknolojisindeki gelişmeler sayesinde, yüksek saflıkta silikon üretimi kolaylaşmakta ve maliyet düşmektedir. Araştırmalar tek kristalli silikon ve galyum piller, çok kristalli (multicrystalline) silikon ve galyum piller, amorf silikon piller ve diğer ince – film güneş piller üzerinde yoğunlaşmaktadır.

2.2.1 Tek kristalli (mono crystalline) güneş pilleri

2.2.1.1 Tek kristalli silikon (Si) güneş pilleri

Tek kristalli piller için en yaygın kullanılan konfigürasyon p – n jonksiyonudur. Eğer jonksiyonun her iki yanındaki malzemeler aynı ise, bu jonksiyon diyot homojonksiyonu olarak adlandırılır.

Bir p – n jonksiyonu iki ayrı malzemenin bir araya getirilmesi ile de yapılabilir, malzemelerden birisi p – tipi diğeri ise n – tipi katkıdır. Burada enerji bant boşluğu jonksiyonun her iki tarafında farklı genişlikte olur. Bu tip jonksiyona ‘heterojonksiyon’ adı verilir, p ve n tipi malzemelerin jonksiyonunda bir elektrik alanı oluşur. Bu alan güneş ışığının absorbe edilmesiyle oluşan yüklerin ayrılmasını sağlar. Fotonların absorpsiyonu ile meydana gelen pozitif ve negatif yükler güneş pilinin ön ve arka kısmına doğru hareket ederler. Pilin arka yüzü metal bir kontak malzeme ile kaplanmıştır. Şekil 2.5’de tipik bir p-n jonksiyonlu pil görülmektedir.



Şekil 2.5 Tipik bir p-n jonksiyonlu pil (Backus, 1977)

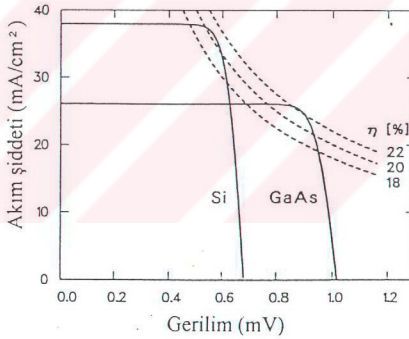
Genel anlamda p – n jonksiyonlu güneş pillerinin laboratuvar şartlarında %19 verime ulaştıkları kanıtlanmıştır. Teorik olarak ise silisyum p – n jonksiyonlu piller maksimum %22 verimle enerji dönüşümü sağlarlar.

2.2.1.2 Tek kristalli galyum – arsenik (GaAs) piller

Galyum arsenik (GaAs), hem yüksek verime sahip olan tek kristalli güneş pilleri ve hem de ince – film teknolojisiyle üretilen güneş pilleri için verimli bir malzemedir. Bu piller maliyetleri dışında birçok bakımdan silikon pillerinden daha üstündür. Galyum arseniğin enerji bant boşluğu (yaklaşık 1.4 eV), silisyumdan (yaklaşık 1.1 eV) daha yüksektir. Aynı şekilde GaAs pillerin verimleri de (%22), silikon pillerin verimlerinden (%19) daha yüksektir. GaAs pillerin silikon pillerden bir diğer avantajı ise, verimin sıcaklığın artmasıyla çok fazla değişmemesidir. Çizelge 2.1 ve Şekil 2.6'da GaAs ve silikon pillerin performansları karşılaştırılmaktadır.

Çizelge 2.1 GaAs ve Si güneş pillerinin performanslarının karşılaştırılması (Pytlınski, 1985).

Pil malzemesi	Enerji bant boşluğu (eV)	Açık devre Voc (volt)	Kısa devre Jsc (mA/cm ²)	Fill faktörü	Mak. verim
Si	1.1	0.63	34.0	0.80	19
GaAs	1.4	0.99	27.3	0.76	22



Şekil 2.6 GaAs ve silikon pillerin performansları (Reisenhuben,1992)

2.2.2 Çok kristalli (multicrystalline) ve amorf (amorphous) güneş pilleri

2.2.2.1 Çok kristalli (multicrystalline) silikon piller

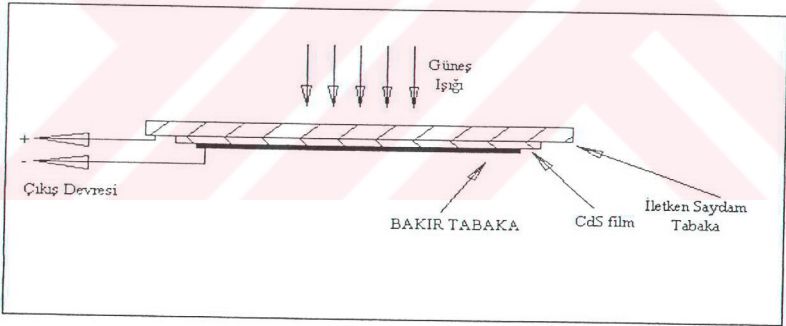
Yüksek performanslı piller için, çok kristalli film hazırlanması sırasında kontrol altında tutulması gereken birçok değişken vardır. Bunlardan bazıları şu şekilde sıralanabilir: Film kalınlığı optimize edilmelidir, kristal (tane) büyüklüğü ışığı absorbe eden tabakanın

kalınlığından daha büyük olmalıdır, dış kristaller yüksek direnç göstermelidir. Bu değişkenler oldukça gereklidir. Bu yüzden çok kristalli silisyum pillerinin üretim tekniği oldukça zordur.

2.2.2.2 Çok kristalli kadmiyum sülfid / bakır sülfid piller

Kadmiyum sülfid güneş pilleri, Cu_2S ve CdS 'den oluşan heterojen bir yapıdır. Şekil 2.5'de Kadmiyumsülfid / Bakırsülfid bir güneş pilinin şeması yer almaktadır. Bu pillerin aktif bölgesi, biraz daha kalın olan kadmiyum sülfid (CdS) filmin üzerine 100 – 300 μm kalınlığında bir bakır sülfid (Cu_2S)'in yerleştirilmesiyle oluşturulur. Işık Cu_2S tabakasına absorbe edilir. Cu_2S 'in ışık absorpsiyonu güneş ışığı tayfına (solar spektrum) oldukça uygundur. Bu malzemenin yüksek emilim (absorpsiyon) katsayısı sayesinde, güneş ışığının önemli bir kısmının absorbe edilmesi için çok ince bir tabaka yeterlidir.

Bu pilin üretiminde öncelikle CdS ince bir Cu tabaka üzerinde buharlaştırılır ve Cu_2S tabakası yüksek sıcaklıkta bir iyon çözeltisi içine daldırılarak oluşturulur. Ek işlemler olmaksızın, buharlaşan tabakalar kadmiyum fazlalığı sebebiyle oldukça iletkenidir.



Şekil 2.7 Kadmiyum sülfid bir güneş pilinin şeması

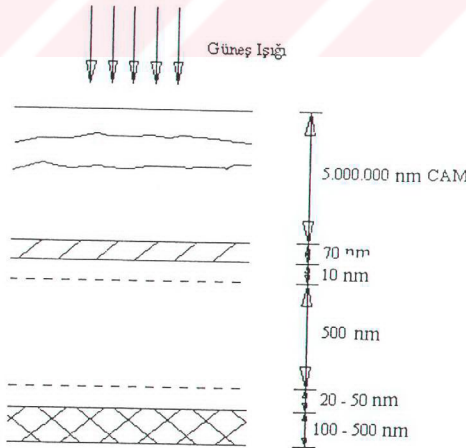
Cu_2S piller, oksijene ve su buharına karşı çok iyi korunmalıdır, ancak yansımayı önleyici bir tabaka ihtiyacının olmaması büyük bir avantajdır, çünkü pil yüzeyi pürüzlüdür. Laboratuvar şartlarında bir $\text{Cu}_2\text{S}/\text{CdS}$ güneş piliyle yaklaşık %8.6'lık verim elde edilmiştir. Ayrıca, 1.2 – 1.4 eV arası bir enerji boşluğuna sahip olan Kadmiyum Telürit (CdTe) güneş pilleri, %26 teorik dönüşüm verimi ile son yıllarda oldukça ilgi çekmektedir.

2.2.2.3 Amorf (amorphous) silikon piller

Şekil 2.8'de tipik bir amorf silikon güneş pilinin yapısı görülmektedir. Bu piller cam üzerine yerleştirilmiş 3 ince tabakadan oluşmaktadır. Birinci tabaka, yaklaşık olarak $70 \mu\text{m}$ kalınlığındaki saydam iletkenidir. İkincisi, fotovoltaik aktif olan amorf silikon tabakadır. Bu ikinci tabaka da 3 alt tabakaya ayrılabilir: (1) $10\mu\text{m}$ kalınlığındaki p tipi kontak tabakası, (2) $500 \mu\text{m}$ kalınlığındaki gerçek tabaka ve (3) $20 - 50 \mu\text{m}$ kalınlığındaki n - tipi kontak tabakasıdır. En son tabaka ise $100 - 500 \mu\text{m}$ kalınlığında alüminyum veya yansıtma özelliği olan diğer bir tabakadır.

1 cm^2 alanlı amorf silikon güneş pilleri için elde edilen maksimum verim %3.5 olmaktadır. $2 - 5 \mu\text{m}$ kalınlığındaki çok kristalli silikon piller, amorf silikon pillerden en az %25 daha yüksek verimle çalışmaktadır. 100 cm^2 alanlı amorf silikon piller için maksimum verim % 6.1'e kadar ulaşabilmektedir.

Amorf silikon pilleri tek kristalli ve çok kristalli silikon pillerinden ayıran en önemli özellikler; amorf silikon pil malzemesinin hidrojen içermemesi ve malzeme kalınlığının tek kristalli ve çok kristalli silikon pillerindeki $100 - 300 \mu\text{m}$ yerine sadece $1 \mu\text{m}$ olmasıdır. Bu pillerin en büyük dezavantajı ise, verimlerinin düşük oluşu, her yıl %5 verim kaybı oluşması ve ömürlerinin belirsiz olmasıdır (Çolak, 1991).



Şekil 2.8 Tipik bir amorf silikon güneş pilinin yapısı

2.3 Güneş Pillerinin Verimi

Güneş ışığının fotonları aşağıdaki şekilde ifade edilen bir enerjiye sahiptir.

$$E = h \cdot f > E_g \quad (2.1)$$

Bu formülde;

E = Fotonun enerjisi

f = Işığın frekansı

h = Plank sabiti

E_g = Yarı iletken malzemenin enerji bant boşluğu - genişliği

Işığın fotovoltaik pil yüzeyine çarpmasıyla pil malzemesindeki elektronlar kovalent bağlarından koparlar. Farklı yarıiletken malzemeleri için, elektronların koptukları enerji bant genişlikleri de farklı olmaktadır. Silisyum için enerji band genişliği değeri, $E_g = 1.4$ eV, diğer fotovoltaik malzemeler için ise, bu değer 0.6 – 2.6 eV arasında değişmektedir.

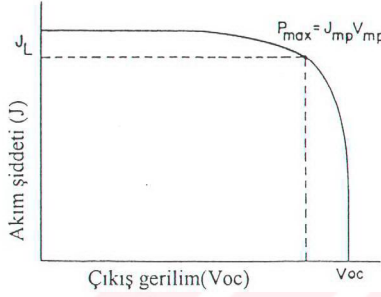
Bir elektron uyarıldığında, elektronun bulunduğu valans bandında oyuk (hole) adı verilen bir boşluk oluşur. Oyuğun yakınında bulunan bir elektron, bu oyuku doldurur ve bu elektronun koptuğu valans bağında yine bir oyuk oluşur. Bu oyukta başka bir elektron tarafından doldurulur ve bu proses böylece sürer. Fotovoltaik pilde, yukarıda bahsedildiği şekilde elektronların birbiri ardısına yaptıkları hareketler sebebiyle bir akım oluşur, fakat bu akım pozitif yüklü olarak gösterebileceğimiz oyukların ters yönde akışları şeklinde de ifade edilebilir.

Fotovoltaik pil kısa devre halinde iken, pilin p – n jonksiyonuna güneş ışığı düştüğünde, elektrostatik gerilim değeri karanlıkta iken olan değerinde kalır, ancak foton absorpsiyonu ile p ve n bölgelerinde oluşan ek azınlık taşıyıcıları jonksiyona doğru ilerler. Bu azınlık taşıyıcılarının akışı, karanlık sürüklenme akımı ile aynı yöndedir ve akan net akıma güneş ışığının ürettiği kısa devre akımı (I_{sc}) adı verilir.

Güneş ışığına maruz bırakılan herhangi bir fotovoltaik pile, bir dış yük bağlandığında, elektrik akımı oluşur ve faydalı güç elde edilir. Pilin gerilimi, açık devre değerinden daha az bir değere düşer, bu durumda pilin net akımı (J_L) ile pilin karanlık sürüklenme akımı (J_D) arasında fark oluşur. Bu durum aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$J = J_L - J_D \quad (2.2)$$

Şekil 2.9'da değişik yük durumları için bir fotovoltaik pilin $J - V$ karakteristiği görülmektedir.



Şekil 2.9 Değişik yük durumları için fotovoltaik pilin Akım – Gerilim (J - V)karakteristiği

Bir fotovoltaik pil kısa devre durumunda çalıştırıldığında, $R_L(\text{yük}) = 0$, $J = J_{SC}$ (kısa devre akımı) ve R_L yüküne net akım (J) aşağıdaki ampirik formülle ifade edilebilir;

$$J = J_L - J_D \left(\exp \frac{qV_L}{k.T} - 1 \right) \quad (2.3)$$

Bu formülde;

J = Net akım

J_L = Işık altındaki akım

J_D = Karanlıktaki akım

V_L = Yüke uygulanan verim

k = sabit ve T = Sıcaklık.

Açık devre durumunda, $R_L \Rightarrow \infty$ ve $V_L = V_{oc}$ olacağından,

$$V_{oc} = \left(\frac{k.T}{q} \right) \left(\frac{J}{J_D} + 1 \right) \quad (2.4)$$

olur. Çıkış gücü ise, şu şekilde ifade edilebilir;

$$P_L = J^2 \cdot R_L \quad (2.5)$$

Güneş ışığı altındaki her fotovoltaik pilin, maksimum güç üretebileceği bir nokta mevcuttur. Bu maksimum güç aşağıda belirtilen şartın yerine getirilmesiyle elde edilebilir.

$$\frac{dP_L}{dR_L} = 0 \quad (2.6)$$

Fotovoltaik pilin maksimum gücü ise, şu şekilde ifade edilebilir;

$$P_{max} = J_{mp} \cdot V_{mp} \quad (2.7)$$

Maksimum güç çıktısını sağlayan gerilim (V_{mp}) ile açık devre gerilimi (V_{oc}) arasında aşağıdaki gibi bir ilişki bulunmaktadır;

$$\exp\left(\frac{q \cdot V_{mp}}{k \cdot T}\right) \left(\frac{q \cdot V_{mp}}{k \cdot J} + 1\right) = \exp\left(\frac{q \cdot V_{oc}}{k \cdot T}\right) \quad (2.8)$$

$$R_{L,mp} = \left(\frac{k \cdot T}{q \cdot J_D \cdot T_A}\right) \cdot \exp\left(-\frac{q \cdot V_{mp}}{k \cdot T}\right) \quad (2.9)$$

Burada;

A= Fotovoltaik pilin yüzey alanı (m^2)

Açık devre gerilimi ile ilişkili başka bir parametre de, gerilim faktörü (VF) olarak adlandırılan ve V_{oc} 'nin enerji band genişliğine (Eg) oranı ile bulunabilen katsayıdır.

Herhangi bir fotovoltaik pilden elde edilebilecek maksimum güç, pilin aydınlatılma durumundaki akım – gerilim eğrisinden elde edilebilen en büyük dikdörtgenle belirlenir (Şekil 2.9). Bu dikdörtgen yardımıyla belirlenen V_{mp} gerilimi ve J_{mp} akımı, fill faktörü (FF) olarak adlandırılan başka bir faktörü tanımlar;

$$FF = \left(\frac{V_{mp} \times J_{mp}}{V_{oc} \times J_L}\right) \quad (2.10)$$

Burada, $J_L = J_{SC}$ 'dir.

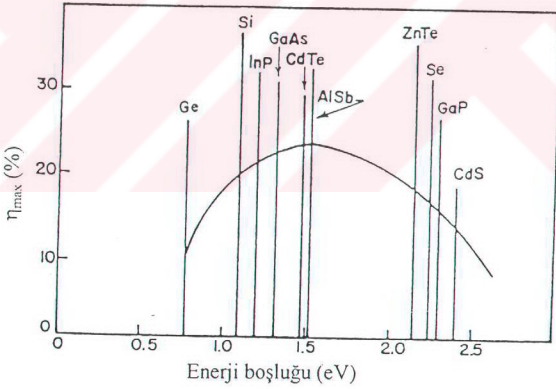
Bir p – n jonksiyonlu fotovoltaik pille elde edilebilen maksimum güç, V_{oc} , J_{sc} ve FF değerlerine bağlıdır. Sonuç olarak fotovoltaik pilin verimi, pilin çıkış gücünün girişteki güneş enerjisine oranıdır. Fotovoltaik pillerin, maksimum güç (P_m) noktasındaki teorik verimi aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$\eta = \frac{V_{mp} \cdot J_{mp}}{P_g} \quad (2.11)$$

P_g = Giriş Enerjisi'dir.

$$\eta = \frac{E_g \cdot V \cdot FF \cdot J}{P_g} \quad (2.12)$$

Şekil 2.10'da çeşitli güneş pilleri için enerji boşluk değerleri ve maksimum teorik verimler görülmektedir.

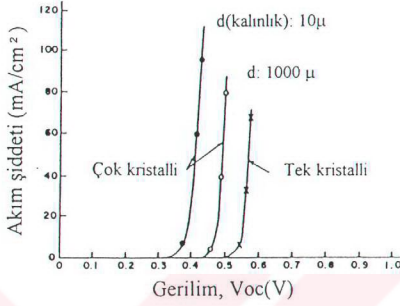


Şekil 2.10 Çeşitli fotovoltaik piller için enerji boşluk ve maksimum teorik verim değerleri (Backus,1977)

Kayıpları da gözönüne alırsak, bir fotovoltaik pilin verimini etkileyen parametreleri şu şekilde sıralayabiliriz:

2.3.1 Açık devre akımı:

Enerji bant boşluğunun genişlemesiyle V_{oc} 'de büyümektedir. Ayrıca şekil 2.11'de görüldüğü gibi kalınlığın artmasıyla V_{oc} artmaktadır.

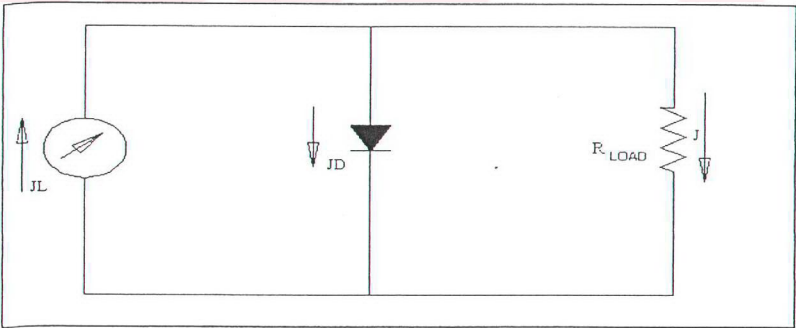


Şekil 2.11 Çok ve tek kristalli piller için gerilim (V_{oc}) ve akım (J) arasındaki ilişki.

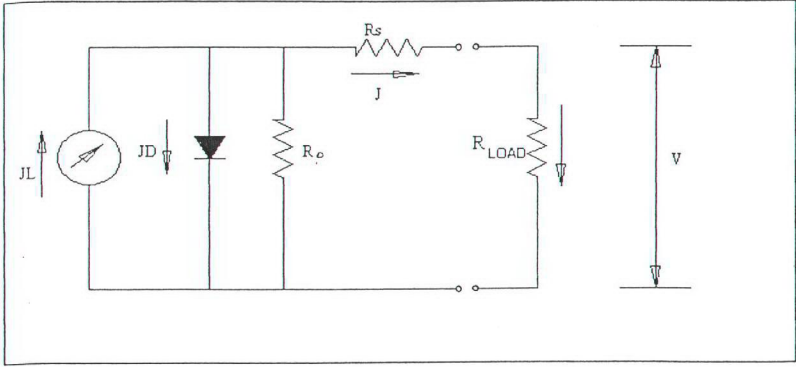
2.3.2 Kısa devre akımı:

2.3.3 Seri (R_s) ve paralel (R_p) dirençler:

Şekil 2.12'de p - n jonksiyonlu bir fotovoltaik pil için seri ve paralel dirençsiz bir devre, şekil 2.13'de ise seri ve paralel dirençli bir devre yer almaktadır (Veziroğlu, 1987).



Şekil 2.12 p - n jonksiyonlu bir fotovoltaik pil için seri ve paralel dirençsiz bir devre



Şekil 2.13 p – n jonksiyonlu bir fotovoltaik pil için seri ve paralel dirençli bir devre

Artan R_s ve $1/R_p$ değerleri, fill faktörünü (FF) düşüreceğinden, fotovoltaik pillerin verimlerini arttırmak için seri ve paralel dirençler mümkün olduğu kadar az olmalıdır.

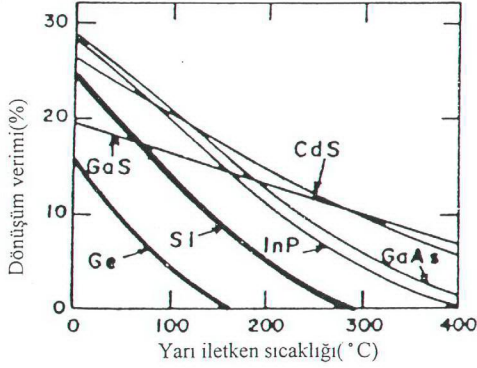
2.3.4 Akım ve gerilim kayıpları:

2.3.4.1 Direnç kayıpları:

Direnç kayıpları, güneş malzemesinin içinde, yüzeyinde ve pil ile elektrik kontak uçları arasında oluşarak, pilin çıkış voltaj ve akımını azaltırlar.

2.3.4.2 Düşük ve yüksek sıcaklık kayıpları:

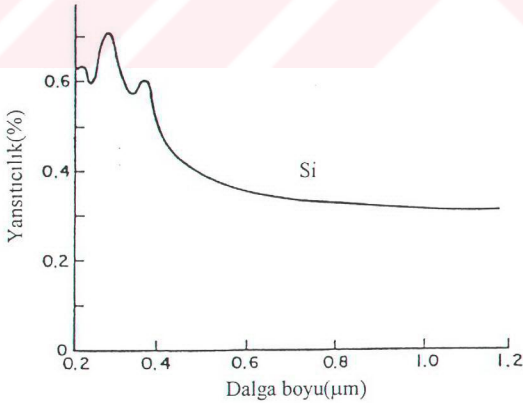
Güneş pili sıcaklığının düşük olmasının pil verimini olumsuz yönde etkilemesinin yanı sıra, Şekil 2.14'den anlaşıldığı gibi yarı iletken malzeme sıcaklığının artması da verimi azaltmaktadır.



Şekil 2.14 Yarıiletken sıcaklığının güneş pili verimine etkisi

2.3.4.3 Yansımaya kayıpları:

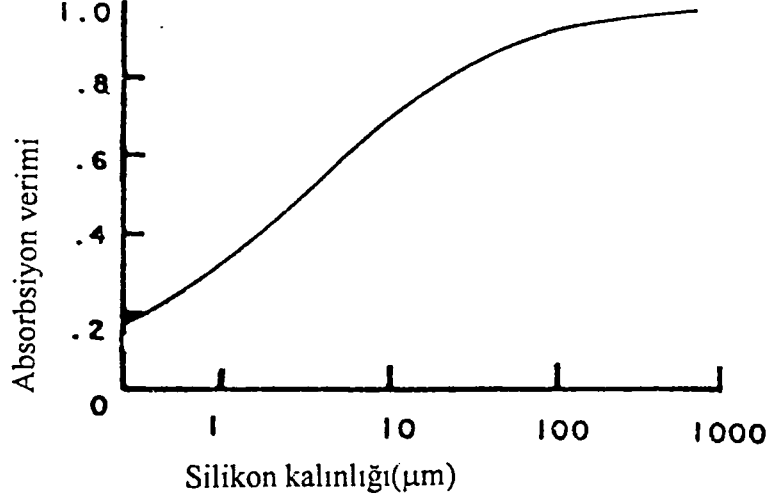
Fotovoltaik pillerin yansıtıcılığı, üzerine düşen güneş ışığının dalga boyu ile değişmektedir. Şekil 2.15'de görüldüğü gibi, güneş ışığının dalga boyunun değişmesiyle silikonun yansıtıcılığı % 36 – 70 arasında değişmektedir. Bu değer, yüzeyin yansıtmayan tabaka (antireflective coating) ile kaplanmasıyla ancak % 5 oranında azaltılabilmektedir.



Şekil 2.15 Güneş ışığı dalga boyunun silikonun yansıtıcılığına etkisi.

2.3.4.4 Fotonların absorpsiyonu sırasında oluşan kayıplar:

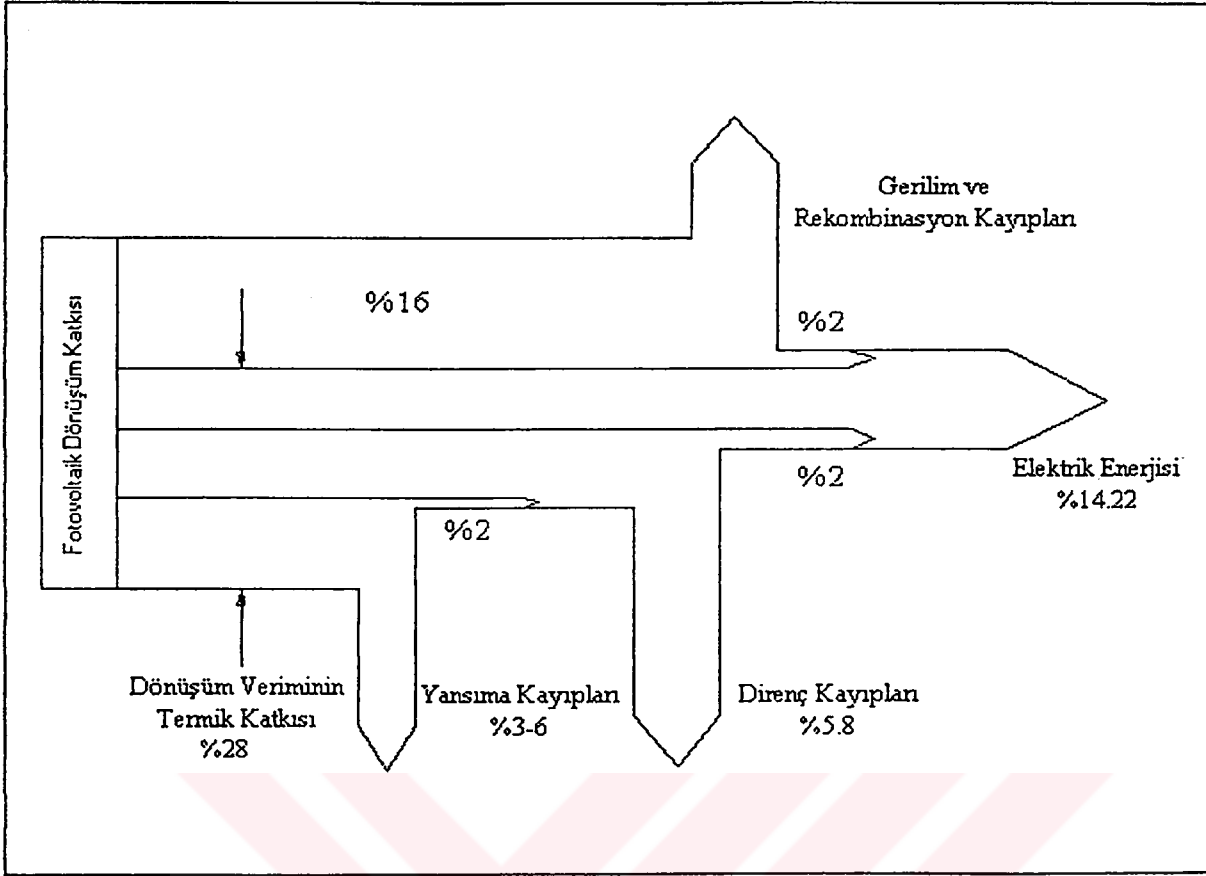
Güneş pili kalınlığının artması, absorbe edilen güneş ışınımı miktarını arttıracığından verimi düşürecektir. Şekil 2.16'da bu kalınlığın, absorbe edilen ışığı ne şekilde etkilediği görülmektedir.



Şekil 2.16 Silikon kalınlığının absorbe edilen ışık miktarına etkisi (Veziroğlu, 1987)

Örneğin, silikon kristali güneş enerjisini, 0.35 (mor) – 1.10 (kızılötesi) mikron aralığında absorbe eder. Dolayısıyla gelen enerjinin ancak %44'ünü değerlendirir. Şekil 2.17'de fotovoltaik enerji dönüşüm verimi ve kayıpları görülmektedir. İnce film çok kristalli ve amorf güneş pilleri üzerindeki araştırmalar yaygınlaşmaktadır. Bu yöntemde, ince bir yarı iletken malzeme tabakası (çok kristalli silikon, çok kristalli galyum arsenik, kadmiyum sulfid veya amorf silikon) ucuz bir malzeme olan cam üzerine yerleştirilmektedir.

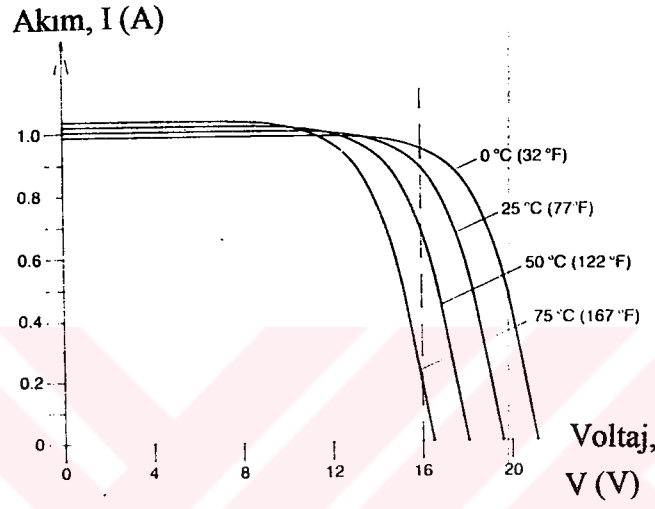
İnce film pilleri çok az miktarda aktif fotovoltaik malzemeye ihtiyaç duyduklarından, üretim maliyetleri tek kristalli silikon pillerinden çok daha düşüktür.



Şekil 2.17. Fotovoltaik enerji dönüşüm verimi ve kayıpları (Çolak, 1991)

3. GÜNEŞ PANELİ

Güneş paneli, içinde istenilen akım ve voltaj değerlerine ulaşmak amacıyla 36 adet seri ve paralel olarak bağlanmış güneş hücrelerini, elektrik bağlantılarının yapıldığı kabloları, ayrıca üst kısmında güneş ışığını yansıtmayan bir cam kaplamayı barındıran koruyucu bir sistemdir. Güneş panellerinin verimi sıcaklık, nemlilik gibi kriterlere bağlıdır. Bu parametrelerin artması durumunda verimlilik düşmektedir. Karlı mekan veya deniz kenarlarında yansımadan dolayı verim artışı olur (1).



Şekil 3.1 Sıcaklığın, bir güneş paneli için I-V eğrisi (1000W/m^2) üzerindeki etkisi

3.1 Güneş Paneli Karakteristikleri

Standart olarak üretilen güneş panellerinden 17V~18V enerji elde edilmektedir. Bu değer güneş panelinin modeline göre değişiklik göstermektedir. Genel olarak güneş ışınlarının hangi saatlerde yüksek enerjiyle dünya yüzeyine ulaştığı bilinmektedir; ancak fotovoltaiik bir diziden en iyi yararlanmak için 5 ile 8 saate ihtiyaç vardır. Panelin maksimum güç üretmesi için güneş ışınlarını en iyi yakalayacak şekilde yerleştirileceği ve maksimum yüzey açıklığının olduğu bir bölgenin seçileceği ve bu projedeki hesaplamalar için 5 saatlik kullanım süresi düşünülmüştür.

Laterna Ltd. Şirketinden alınan çizelge, güneş panelleri karakteristiklerini şu şekilde açıklamaktadır:

Çizelge 3.1 Türkiye’de kullanılan bazı güneş paneli karakteristikleri

Ürün Kodu	Pmax Watt	Amper @Pmax	Voltaj @Pmax	Uzunluk Mm	Boy mm	Kalınlık mm	Ağırlık Kg
SBR 05	5	0,29	17,00	275	231	17,0	0,75
SBR 10	10	0,59	17,00	561	231	38,5	1,60
SBR 20	20	1,18	17,00	532	448	38,5	3,00
SBR 30	30	1,76	17,00	958	433	38,5	5,50
SBR 45	45	2,64	17,00	1188	530	43,5	5,00
SBR 55-S	55	3,05	18,00	825	530	43,5	5,00
SBR 70	70	4,16	17,00	1188	530	43,5	7,50
SBR 75	75	4,45	17,00	1188	530	43,5	7,50
SBR 80-S	80	4,44	18,00	1188	530	43,5	7,50
SBR 85-S	85	4,72	18,00	1188	530	43,5	7,50
SBR 130-S	130	4,50	29,80	1350	805	40,0	13,00

Not: SBR 130-S enterkonnekte şebeke hattına bağlı uygulamalar içindir.

3.2 Güneş Aküsü Karakteristikleri

Tam bakımsız olan güneş akülerinin ömür süreleri 15 yıla kadar çıkmaktadır. Bu aküler hava koşullarından hiçbir şekilde etkilenmezler. Güneş aküleri çok defa dolup boşalabilme (deep cycle) özelliğine sahiptir. Performans kaybı olmadan % 70 – 80 boşaltılabilirler ve bunu da en az 1000 – 1500 defa tekrarlayabilirler (1).

Laterna Ltd. Şirketinden alınan çizelge güneş aküleri karakteristiklerini şu şekilde açıklamaktadır:

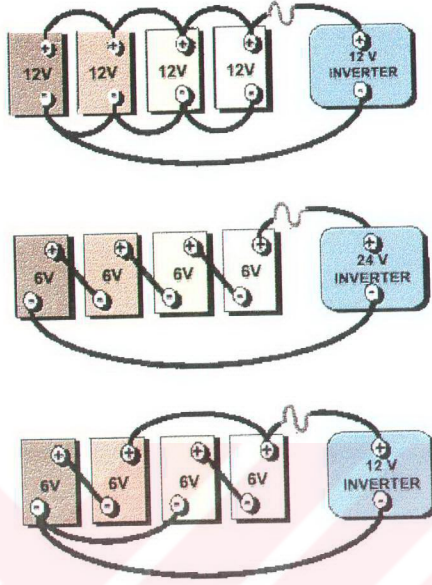
Çizelge 3.2 Türkiye’de kullanılan bazı güneş akülerinin karakteristikleri

Ürün Kodu	S- 190	S- 240	S- 400	S- 550	S- 650	S- 750	S- 900
C12 – Ah	100	200	310	425	505	580	700
C120 – Ah	195	245	400	550	660	750	915
Derinlik (mm)	103	103	124	124	145	166	145
Genişlik (mm)	206	206	206	206	206	206	206
Yükseklik (mm)	403	403	403	519	519	519	519
Kuru Ağırlık (kg)	8.5	10.5	15.2	22.9	22.9	26.3	30.7
Elektrolitli Ağırlık (kg)	13.6	15.2	20.3	31.5	31.5	37.0	43.7

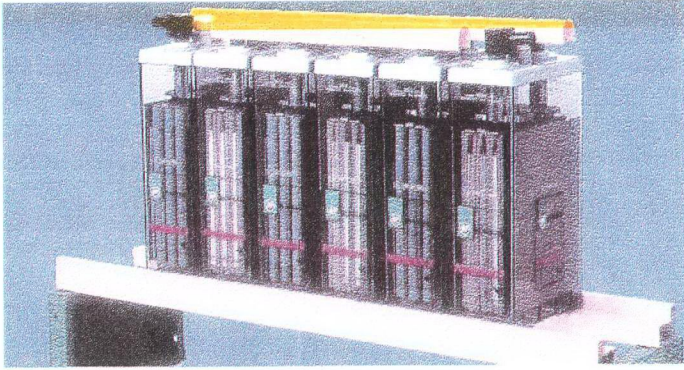
Ürün Kodu	S-1200	S-1500	S-2100	S-2500	S-3000	S-3750	S-4400
C12 – Ah	960	1190	1650	1950	2280	2950	3500
C120 – Ah	1240	1545	2120	2545	3075	3830	4500
Derinlik (mm)	191	233	275	275	399	487	576
Genişlik (mm)	210	210	210	210	210	212	212
Yükseklik (mm)	694	694	844	844	820	820	820
Kuru Ağırlık (kg)	42.5	51.6	71	76.1	104	128	152
Elektrolitli Ağırlık (kg)	59.0	73.7	104	112.2	150.6	185	220.0

Derin Deşarj Miktarı (%10 - %50 - %75)	6500 – 2400 – 1350 defa
Hücre voltajı	12V
Çalışma Sıcaklığı	-17 ⁰ C ile + 50 ⁰ C arası
Otomatik Deşarj	20 ⁰ C’de % 2 – 3, 30 ⁰ C’de % 4 – 5

Aşağıdaki şekiller paralel ve seri bağlama yöntemleriyle değişik voltaj değerlerine sahip güneş akü bankalarını ifade etmektedir.



Şekil 3.2 Güneş akü bankalarının oluşturulması (1).



Şekil 3.3 Bazı güneş aküleri (1).

3.3 Panel Yükleme Hesaplamaları

Fotovoltaik bir panelin güç gereksinimlerinin hesaplanabilmesi için, yükleme faktörlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bunlar; karavanda kullanılan elektriksel aygıtların ne kadar enerjiye ihtiyacı olduğu, kabul edilen yeryüzündeki ortalama radyasyon değeri altında ($1000W/m^2$) panellerin hangi açıyla yerleştirilmesi gerektiği gibi faktörlerdir.

3.3.1 Karavan için gerekli elektrik enerjisi miktarının hesaplanması

Gerekli enerjiyi bulabilmek için aşağıdaki çizelgeden yararlanılmıştır.

Çizelge 3.3 Karavan için gerekli enerji miktarının hesaplanması

Cihaz	Güç (W)	Toplam Güç (W)	Saat (h)	Toplam Enerji (kWh)
2 adet Lamba	2×15	30	4	0,12
Buzdolabı	~60	60	10	0,60
TV	~50	50	5	0,25
Radyo	10	10	2	0,02
		150W		0,99 ~ 1kWh

3.3.2 Gerekli elektrik enerjisinin panel ve akü yardımıyla karşılanması

Karavanın günlük enerji ihtiyacı çizelge 3.3'de hesaplandığı üzere $1000Wh$ 'dir. Bu enerji ihtiyacı 5 saat/gün'lük güneşlenme ortalamasıyla paneller tarafından karşılanacak; paneller yeterli miktardaki güneş aküsünü şarj ederek karavanın gereksinim duyduğu enerjiyi tedarik edecektir. Bu durumda;

$$\frac{1000Wh}{5h} = 200W$$

fotovoltaik kurulu gücüne ihtiyacımız olacaktır.

3 adet SBR – S 85 panelin kullanımıyla bu kurulu güç karşılanmaktadır. 3 adet panel $3 \times 85 = 255W$ güç vermektedir. Bu 3 panel $255W \times 5h = 1275Wh$ 'lik enerji üretme kapasitesine sahiptir. Ancak güneş enerjisinden her zaman aynı verimle

yararlanamayacağımız düşünülduğünde, güneş akülerinin kullanımına gereksinim duyulmaktadır.

2 adet S – 190 tipi güneş aküsünün paralel bağlı kullanımıyla bu akü bankasında;

$12V \times (2 \times 100 \text{Amp}) = 2400 \text{Wh}$ 'lik enerji depolamak mümkün olmaktadır. Bu enerjinin de %70'inden yararlanabildiğimiz göz önüne alındığında, $2400 \text{Wh} \times 0.70 = 1680 \text{Wh}$ 'lik bir enerji depomuz oluşmaktadır.

Böylece günlük enerji ihtiyacı 1000 Wh olan karavan 1680Wh'lik bir havuzdan beslenmekte; havuzdan boşalan enerji miktarını da 1275 Wh'lik 3 adet panel karşılamaktadır.

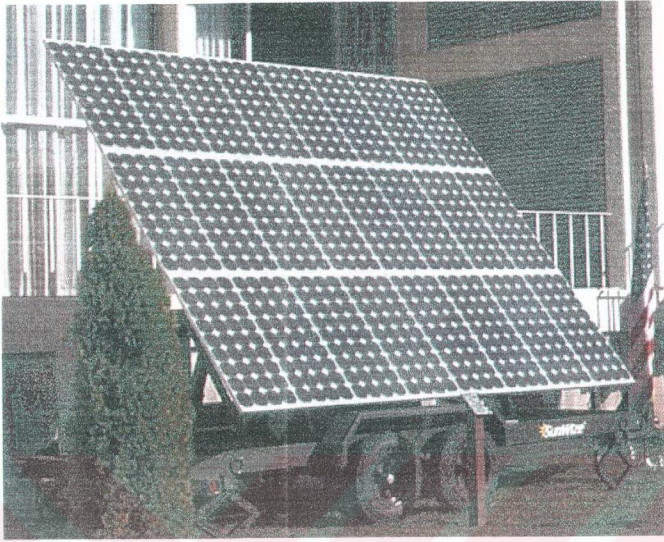
Karavanın enerji ihtiyacının karşılanmasıyla birlikte bir başka problem daha ortaya çıkmaktadır. Bu da, panellerin hangi açıyla yerleştirilmesi gerektiğidir. Paneller, yer düzlemine belirli açı değerleriyle yerleştirilirler. Bu değerler, şu şekilde bulunmaktadır:

Yazın: paralel – 15 derece.

Bahar: paralel.

Kışın: paralel + 15 derece.

Panellerin yerleştirileceği alanlar eğimli ayak sistemi ile tasarlanmalıdır. Eğer sabit açı olacaksa, tasarım kış verilerine göre yapılmalıdır. Yani 36. paralelde bulunan Akdeniz bölgesinde böyle bir sistemi devreye almamız için sabit açıyla 50^0 'lik bir eğimli ayak sistemi düşünülmelidir (1).



Şekil 3.4 Karavanlarda fotovoltaik panellerin uygulamalarına ait örnekler (1)

4. MALİYET ANALİZİ

Güneş pili sistemlerinin işletme ve bakım maliyetleri çok az olduğu için, toplam sistem maliyetinin büyük bir bölümünü ilk yatırım maliyeti oluşturur. Önümüzdeki yıllarda, üretim teknolojisinin geliştirilmesi, yüksek verimli pillerin yapılması, modül yapım ve tasarım tekniklerinin geliştirilmesi sonucunda ilk yatırım maliyetlerinin azalacağı, buna paralel olarak da, daha az alan kaplayan yüksek güçteki güneş pilleri imal edilerek daha pratik hale getirileceği umulmaktadır.

Bugün bu sistem daha çok uzay araçlarında, uydularda, kumanda mekanizmalarını çalıştırmak için kullanılmaktadır. Dünyada ise bu çalışmada olduğu gibi, uzak ve tenha yerlerde bir karavanın veya bir dağ evinin elektriksel ihtiyaçlarını karşılamak, deniz feneri çalıştırmak yahut hava alanlarını aydınlatmak gibi amaçlara hizmet etmektedir.

Bu çalışmada kullanılan 3 adet panelin toplam fiyatı $3 \times 580\$ = 1740\$$ 'dir. Panellerle beraber kullandığımız 2 adet güneş aküsü fiyatı ise $2 \times 100\$ = 200\$$ 'dir. Elektrik kabloları ve panellerin yerleştirildiği eğimli ayak sistemiyle toplam maliyet $\sim 2000\$$ civarındadır. Bir önceki bölümde panellerin gücü 255W olarak bulunmuştur. Dolayısıyla birim güç başına yatırım maliyeti,

$$\frac{2000\$}{0.255kW} \approx 7845 \frac{\$}{kW_e}$$

olmaktadır. Bu miktar klasik enerji üretim sistemlerine göre oldukça yüksek bir değerdedir.

Bu sistemin birim enerji arz maliyetini bulmak için ise, öncelikle bir yıllık sermaye masrafı bulunmalıdır. Sermaye masrafının bulunması için aşağıdaki denklemlen yararlanılmaktadır.

$$C_k = I_k \times \left[\frac{f \times (1+f)^n}{(1+f)^n - 1} \right] \quad (4.1)$$

I_k = Fotovoltaik sistemin bugünkü değeri

n = Fotovoltaik ünitenin ömrü

f= Kabul edilen faiz oranı

$$C_k = 2000\$ \times \left[\frac{0.10 \times (1+0.10)^{20}}{(1+0.10)^{20} - 1} \right] = 234.6\$$$

olarak bulunur.

Daha sonra bulunması gereken ise, fotovoltaik ünitenin yılda 100 gün kullanılacağı kabulüyle yıllık elektrik enerjisi üretim miktarıdır.

$$E_e = E \times t \quad (4.2)$$

t= Fotovoltaik ünitenin yıllık kullanma süresi.

$$E_e = 255W \times 5h \times 100gün = 127.5kWh$$

Bu durumda, birim elektrik enerjisi üretim maliyeti içinde sermaye maliyetinin hissesi,

$$g_k = \frac{C_k}{E_e} = \frac{234.6\$}{127.5kWh} = 1.84\$/kWh$$

olmaktadır.

Birim enerji arz maliyetinin bulunmasında gerekli olan bir diğer parametre ise, sistemin işletme maliyetidir.

Sabit masraflar katsayısının %10 olarak kabul edilmesiyle,

$$C_m = C_k \times r \quad (4.3)$$

$$C_m = 234.6 \times 0.10 = 23.46\$$$

olarak bulunmaktadır.

Özgül işletme maliyeti ise,

$$g_m = \frac{C_m}{E_e} \quad (4.4)$$

$$g_m = \frac{23.46\$}{127.5kWh} = 0.184\$/kWh \text{ dir.}$$

Sonuç olarak bu sistemin birim enerji arz maliyeti,

$$g = g_k + g_m \quad (4.5)$$

$$g = 1.84\$/kWh + 0.184\$/kWh = 2.024\$/kWh$$

olarak bulunur.

Maliyet hesaplamalarında mukayese yapabilmek için, bu karavanın elektriksel ihtiyacının alternatif kaynaklar tarafından karşılandığı esasını göz önüne alırsak, karşımıza 3 farklı yöntem çıkmaktadır.

1. yöntemde 1kW'lık bir jeneratörün kullanılması öngörülmüştür; karşılaştırma yapabilmek için jeneratörün kullanıldığı sistemin birim enerji arz maliyetini bulmak gerekmektedir. Bu amaçla panel sisteminde olduğu gibi sırasıyla yatırım ve işletme maliyeti, daha sonra da yakıt maliyeti bulunacaktır. Jeneratör ömrünün 10 yıl ve fiyatının 870\$ olduğu kabulüyle,

$$C_k = 870\$ \times \left[\frac{0.10 \times (1 + 0.10)^{10}}{(1 + 0.10)^{10} - 1} \right] = 141.6\$$$

$$E_e = 1kW \times 5h \times 100\text{gün} = 500kWh$$

$$g_k = \frac{141.6\$}{500kWh} = 0.28\$/kWh$$

olarak bulunmaktadır.

İşletme ve bakım maliyeti de sabit masraflar katsayısının %15 olarak kabulüyle,

$$C_m = 141.6\$ \times 0.15 = 21.24\$$$

Özgül işletme maliyeti,

$$g_m = \frac{21.24\$}{500kWh} = 0.04\$/kWh$$

olmaktadır.

Ayrıca, jeneratörle çalıştırılan sistemin yakıt maliyetinin de hesaplanması gerekmektedir. Bunun için özgül efektif yakıt sarfiyatı değeri (b_e) bilinmelidir. Bu değer direkt püskürtmeli dizel motorları için $b_e=0.21\text{kgy/kWh}$ olarak kabul edilmektedir (Yavaşlıoğlu, 1988). Dizel yakıt fiyatının günümüz koşullarında $0.68\$/\text{kgy}$ olduğu bilindiğine göre,

$$g_f = b_e \times Y.F \quad (4.6)$$

Y.F=Yakıt fiyatı

$$g_f = 0.21\text{kgy}/kWh \times 0.68\$/\text{kgy} = 0.14\$/kWh$$

Sistemin elektriksel ihtiyaçlarının jeneratör tarafından karşılanması durumunda, birim enerji arz maliyeti,

$$g = g_k + g_m + g_f = 0.28 + 0.04 + 0.14 = 0.46\$/kWh$$

olmaktadır.

2.Alternatif yöntem ise fotovoltaik panellerle beraber kullanılan güneş akülerinin taşıtın dizel motoru tarafından şarj edilmesidir. Birim enerji arz maliyeti, aşağıdaki işlemler sonucunda bulunmaktadır.

$$C_k = 200\$ \left[\frac{0.10 \times (1 + 0.10)^{20}}{(1 + 0.10)^{20} - 1} \right] = 23.5\$$$

$$E_e = 2400Wh \times 100g\u00fcn = 240kWh$$

E=Bir g\u00fcnde elde edilen enerji miktar\u0131 (G\u00fcne\u015f ak\u00fcleri i\u00e7in gerekli enerji miktar\u0131 bir \u00f6nceki b\u00f6l\u00fcmde 2400Wh olarak bulunmu\u015ftur).

$$g_k = \frac{23.5\$}{240kWh} = 0.10\$/kWh$$

olarak bulunmaktadır.

\u015letme maliyeti de, sabit masraflar katsayısının %10 olarak kabul\u00fcyle,

$$C_m = 23.5\$ \times 0.10 = 2.35\$$$

olmaktadır.

\u00d6zg\u00fcl \u015letme maliyeti ise,

$$g_m = \frac{2.35\$}{240kWh} = 0.01\$/kWh$$

olarak hesaplanm\u0131\u015ftir.

Yak\u0131t maliyeti,

$$g_f = 0.21kgy/kWh \times 0.68\$/kg = 0.14\$/kWh \text{ dir.}$$

Sistemin elektriksel ihtiya\u00e7larının motor tarafından \u015farj edilen iki adet g\u00fcne\u015f ak\u00fcs\u00fc tarafından kar\u015f\u0131lanması durumunda, birim enerji arz maliyeti,

$$g = g_k + g_m + g_f = 0.10\$/kWh + 0.01\$/kWh + 0.14\$/kWh = 0.25\$/kWh$$

olmaktadır.

Ayrıca diğer bir alternatif de karavanın ihtiyaçı olan elektrik enerjisinin enterkonnekte Şebekeden karŐılanmasıdır ki, bu diğer alternatif enerji kaynaklarından çok daha ucuza mal olmaktadır. 1\$'ın 640.000 T.L ve 1 kWh'lik elektrik enerjisinin 40.000 T.L olduğu göz önüne alınırsa, birim enerji arz maliyeti,

$$g = 0.0625\$/kWh \text{ olduğu görülür.}$$

Bütün bu alternatif enerji kaynaklarının birim enerji arz maliyetleri karŐılaŐtırıldıđında fotovoltaik panel kullanımının diğer enerji kaynaklarına nazaran pahalı olduğu görülmektedir.



5. SONUÇLAR

Doğanın milyonlarca yılda biriktirdiği petrol, doğal gaz, kömür gibi fosil yakıtlar sadece iki yüzyıl önce insanlık yararına kullanılmaya başlanmıştır. Sanayileşme ile birlikte, özellikle petrole olan talep hızla artmış ve batı dünyasının petrol tüketimi 1900'de 1 milyon ton iken bu rakam 50 yıl içinde 1000 milyon tona ulaşmıştır.

1973 yılında petrol fiyatlarının birdenbire artması ile yaşanan krizden bu yana toplumların en büyük sorunlarından biri enerji olmuştur.

Enerji sorununun çözümü için tüm dünya devletleri, öncelikle tükettikleri enerjiyi denetim altına alarak, tasarrufa yönelmektedirler. Öte yandan petrole alternatif yeni enerji kaynakları araştırılmakta ve doğanın en büyük enerji kaynağı güneşten yararlanmak amacıyla yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmada da görüldüğü üzere fosil yakıt kaynaklı elde edilen elektrik enerjisi hala maliyet yönünden cazibesini sürdürmektedir. Birim enerji arz maliyeti açısından yapılan karşılaştırma sonrasında enterkonnekte şebekeden elde edilen elektrik enerjisinin kullanıcılar için diğer alternatiflerine nazaran çok ucuza mal olduğu görülmektedir. Ancak şebeke elektriğinden ıssız kamp alanlarında yararlanılamaması, karavan kullanıcılarını başka arayışlar içine sokmuştur.

Karavandaki akülerin taşıt motoru tarafından şarj edilmesi de maliyetin büyük oranda düşmesine neden olmaktadır. Bu durumda ise yakıt masraflarının da göz önünde bulundurulması gerekecek; kamp bölgelerinde istenmeyen durumlar (çevre kirliliği, motor gürültüsü) ortaya çıkacaktır. Hatta taşıt motorunun sırf bu amaçla uzun süre kullanılması, motor ömrü açısından da sakıncalar doğuracaktır.

Aynı amaçla bir jeneratörün kullanılması da biraz önce değinilen sorunları beraberinde getirecektir. Jeneratörün uzun süre çalıştırılması zorunluluğu doğduğunda, kamp bölgelerinde yakıt temini ve depolanması gibi güçlüklerle karşılaşılacaktır.

Güneş ise bedava, çevre kirliliği yaratmayan, ulaşım sorunu ve dışa bağımlılığı olmayan, tükenmez bir enerji kaynağıdır.

Bu üstün özellikleri nedeniyle, insanoğlunun araştırdığı, bulmaya çalıştığı diğer enerji türleri arasında farklı bir yer tutar. Güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesinde kullanılan fotovoltaik yöntem, güneş panellerinin kullanılmasını gerekli kılmaktadır.

Güneş panellerinin gelecekte yaygın olarak kullanılmasını cazip kılan belli başlı avantajları şunlardır:

1. Sistemde hareketli parçaların bulunmayışı.
2. Ömürlerinin çok uzun olması (20 yıl).
3. Bakım masraflarının çok az olması.
4. Çevre kirlenmesine neden olmamaları.
5. Bir W'dan birkaç kW'a kadar geniş bir güç bölgesinde uygulanabilir olması.
6. Ulaşımı zor bölgelerde, alçak güçlü sistemlerde, binaların, arabaların, yatların üzerinde küçük birimler halinde kullanılabilir olmalarıdır.

Güneş pilleri uzun ömürlü, dayanıklı, çevre kirliliği yaratmayan, yarıiletken aygıtlardır. Çalışmaları sırasında hiçbir elektriksel sorun çıkarmazlar, çok az bakım gerektirirler. Modüler yapıda olan güneş pilleri birbirine seri ve paralel bağlanarak birkaç volttan, birçok volta kadar çıkış verebilirler. Çok küçük güç gereksinimlerini karşılayabildikleri gibi, kendi başına bir güç santrali gibi de çalışabilirler. Verimlerinin düşük ve ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması, güneş pili sistemlerinin en büyük dezavantajlarıdır. Ancak yakın gelecekte maliyetlerinin şebeke elektriği ile yarışabilecek düzeye geleceği umulmaktadır. Halen dünya enerji talebinin %80'ini oluşturan fosil yakıtların neden oldukları asit yağmurları, karbonmonoksit, karbondioksit, kükürtdioksit v.b yayınımlarla dünya iklimi için tehlike oluşturduğu bilinmektedir. Güneş pillerinin en önemli üstünlüğü, benzer olarak diğer yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları gibi çevreye zarar vermemesidir. Güneş enerjisinin kullanımı yaygın değildir, ancak bu enerji herkesin kullanımına açıktır. İnsanların bu enerjiyi kendi yaşam alanlarında kullanmaya başlamasıyla enerji dağıtım giderleri düşürülebilir. Güneş enerjisinin kişilerce kullanımı devlet kontrolü altında olmadığı gibi, bu enerjinin iç veya dış baskılar sonucu herhangi bir boykota maruz kalması da söz konusu değildir. Güneş enerjisi renk, ırk veya politik görüş gözetmeksizin insanoğluna verilen bir hediyedir. Zengin ve fakire eşit şekilde dağıtılır. Er ya da geç, insanlığın yüz yüze geldiği bu enerji darboğazı güneş enerjisinin kullanımıyla aşılacak; güneş enerjisi kurtuluşumuz olacaktır.

KAYNAKLAR

- Aybers, N., Şahin, B., (1995), Enerji Maliyeti, YTÜ Matbaası No:299, İstanbul.
- Backus, E.C., (1977), Photovoltaic conversion, Academic press, Inc., New York.
- Bekdemir, Ş., (1993) Yeni Enerji Kaynakları Lisansüstü Ders Notları, İstanbul.
- Brant, R., (1986) Experiments and Construction of a Photovoltaic Battery Charger, A Master's Project, San Diego State University, San Diego.
- Çolak, M., (1991) Güneş Pilleri ve Uygulamaları, Mühendis ve Makine, cilt 32, sayı: 382, 134-141
- Duffie, A. J., Beckman, A. W., (1974) Solar Energy Thermal Proseses, Wiley – Interscience Publication.
- E.İ.E. (Elektrik İşleri Etüd İdaresi Genel Direktörlüğü), (1984) Güneş Enerjisi Tebliğleri, Ankara.
- Focus Dergisi, (2000) Sayı: 2000 02.
- Karabacak, R., (1990) Güneş Toplayıcılarında Fototermal Tüy Elyaf Kullanılarak Verimin Artırılması, Mühendis ve Makine, cilt 31, sayı: 367.
- Külünk, H., ve Eyice, S., (1983) Yeni Enerji Kaynakları, İstanbul.
- Mancini, R.T., Chavez, M.J., ve Kolb, J.G., (1994) Solar Termal Power Today and Tomorrow, Mechanical Engineering.
- McVeigh, J.C., (1982) Sun Power, Pergamon Press.,New York
- Meinel, B.A., Meinel P.M., (1980) Applied Solar Energy, Addison – Wesley Publishing Comp.
- Pytlinski, J.T., (1985) Photovoltaic Cell Technologies.
- Uyarel, A.Y., ve Öz, E.S., (1987) Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Valenti, M., (1995) Storing Solar Energy in Salt, Mechanical Engineering, June.
- Veziroğlu, T.N., (1987) Alternative Energy Sources VII, vol 2, Solar Energy 2, Hemisphere Publishing Corp., Coral Gables.
- Yavaşlıoğlu, İ., (1988) İçten Yanmalı Motorlar, Eğitim Yayınları A.Ş., İstanbul.
- Yeni Rehber Ansiklopedisi, (1993), Cilt – 8, İstanbul.
- Yılmaz, A., (1995) Türkiye Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Potansiyelinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi.

Warfield, G., (1984) Solar Electric Systems, Hemisphere Publishing Corp.

İnternet Kaynakları

1. www.laterna.com.tr, Laterna Alternatif Enerji Kaynakları Ltd. Şti Web sayfası



ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	29.03.1975	
Doğum Yeri	Gölcük / Kocaeli	
Lise	1987 – 1993	Çanakkale Anadolu Lisesi
Lisans	1993 – 1998	Yıldız Teknik Üniversitesi Müh. Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1998 – 2000	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, Enerji Mak. Programı

Çalıştığı kurumlar

1987	Özertaş A.Ş
1998	H.S.K.A.Ş