

57596

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEŞ ENERJİSİ,  
YARARLANMA YÖNTEMLERİ  
VE TAŞITLARA  
UYGULANABİLİRLİĞİNİN  
İNCELENMESİ**

**Mak.Müh. Cumhuriyet AYDINÖZ**

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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Tez Danışmanı : Yrd.Doç. Dr. Recep ÖZTÜRK

**İSTANBUL, 1996**

57596

## İÇİNDEKİLER

<b>1.0 GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Güneş radyasyonu çeşitleri</b>	<b>3</b>
<b>1.1.1 Kısa dalga boylu radyasyon</b>	<b>3</b>
<b>1.1.1.1 Direkt radyasyon</b>	<b>3</b>
<b>1.1.1.2 Difüz radyasyon</b>	<b>4</b>
<b>1.1.1.3 Yansıtılmış radyasyon</b>	<b>4</b>
<b>1.1.2 Uzun dalga boylu radyasyon</b>	<b>5</b>
<b>1.2 Stefan-Boltzmann ve Wien kanunu</b>	<b>6</b>
<b>1.3 Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli</b>	<b>7</b>
<b>2.0 GÜNEŞ ENERJİSİNDEN YARARLANMA YÖNTEMLERİ</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Düşük sıcaklık uygulamaları</b>	<b>17</b>
<b>2.1.1 Güneş enerjisinden yararlanarak sıcak su elde etme yöntemleri</b>	<b>17</b>
<b>2.1.1.1 Tabii dolaşimli su ısıtma sistemleri</b>	<b>17</b>
<b>2.1.1.2 Pompalı su ısıtma sistemleri</b>	<b>19</b>
<b>2.1.1.3 Düz yüzeyli güneş kolektörleri</b>	<b>20</b>
<b>2.1.2 Güneş enerjisinden yararlanarak soğutma</b>	<b>24</b>
<b>2.1.2.1 Mekanik sistemler</b>	<b>25</b>
<b>2.1.2.1 Absorbsiyonlu soğutma sistemleri</b>	<b>26</b>
<b>2.1.3 Güneş enerjisinden yararlanarak suyun damıtılması</b>	<b>27</b>
<b>2.1.4 Güneş enerjisinden yararlanarak kurutma</b>	<b>28</b>
<b>2.2 Orta sıcaklık uygulamaları</b>	<b>29</b>
<b>2.3 Yüksek sıcaklık uygulamaları</b>	<b>30</b>
<b>3.0 GÜNEŞ ENERJİSİNİN ELEKTRİK ENERJİSİNE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ</b>	<b>34</b>
<b>3.1 Güneş enerjisinden doğrudan elektrik üretimi</b>	<b>34</b>
<b>3.1.1 Fotovoltaik yöntem</b>	<b>35</b>
<b>3.1.1.1 Güneş pillerinin çalışma prensibi</b>	<b>35</b>
<b>3.1.1.2 Güneş pili teknolojisi</b>	<b>37</b>

<b>3.1.1.2.1 Tek kristalli güneş pilleri</b>	<b>38</b>
<b>3.1.1.2.2 Çok kristalli güneş pilleri</b>	<b>40</b>
<b>3.1.1.3 Güneş pillerinin verimleri</b>	<b>43</b>
<b>3.1.2 Fotoemitik yöntem</b>	<b>53</b>
<b>3.1.3 Fotogalvanik yöntem</b>	<b>54</b>
<b>3.1.4 Fotomanyetik yöntem</b>	<b>55</b>
<b>4.0 GÜNEŞ ENERJİSİNDEN YARARLANARAK HİDROJEN ÜRETİMİ</b>	<b>56</b>
<b>4.1 Elektrolitik yöntem</b>	<b>57</b>
<b>4.2 Termal yöntem</b>	<b>58</b>
<b>4.3 Termokimyasal yöntem</b>	<b>60</b>
<b>4.4 Fotoemitik yöntem</b>	<b>61</b>
<b>5.0 GÜNEŞ ENERJİSİNİN DEPOLANMASI</b>	<b>63</b>
<b>5.1 Elektriksel depolama</b>	<b>64</b>
<b>6.0 GÜNEŞ ENERJİSİYLE ÇALIŞAN TAŞITLAR</b>	<b>68</b>
<b>6.1 Masaharu Fujinaka tarafından geliştirilen güneş otomobili</b>	<b>72</b>
<b>6.2 “Sol of Auburn” güneş otomobili</b>	<b>76</b>
<b>6.3 “Tino” güneş otomobili</b>	<b>81</b>
<b>6.4 Taşıtlarda yakıt olarak hidrojen kullanımı</b>	<b>83</b>
<b>7.0 SONUÇ VE ÖNERİLER</b>	<b>85</b>

## ***TEŐEKKÜR***

GeliŐmiŐ ve geliŐmekte olan ũlkelerin hergeçen gũn artan enerji ihtiyaçına paralel olarak artan çevre sorunlarının yaŐandığı bir dŕnemde, gerek bu konunun araŐtırılması ve gerekse diğer derslerimde yardımlarını esirgemeyen sayın hocalarım Prof. Dr. Orhan DENİZ ve Yrd. Doç. Dr. Recep ŐZTŪRK'e teŐekkũr etmeyi bir borç bilirim.



## ÖZET

Geride bıraktığımız yıllar, gelişmiş ve gelişmekte olan bütün ülkelerin çevre kirlenmesi gibi büyük ve gelecek için çok önemli bir ortak sorunla karşılaştığı yıllar olmuştur. Günümüzde, enerji ihtiyacının büyük bir bölümü, birincil enerji kaynakları olarak tanımlanan petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıtlarla karşılanmaktadır. Bu enerji kaynakları miktar olarak sınırlı olup, kullanılmaları sırasında çevre kirlenmesine de neden olmaktadır.

Tezin birinci bölümünde, yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan güneş enerjisinin tanımı, Türkiye ve dünyadaki güneş enerjisi potansiyeli verilmiştir. Daha sonra, bilinen güneş enerjisinden yararlanma yöntemleri ve bu sistemlerde kullanılan yardımcı elemanlar hakkında bilgi verilmiştir. Diğer bölümlerde ise, güneş enerjisini doğrudan ve dolaylı olarak elektrik enerjisine dönüştürme yöntemleri ve bu yöntemlerdeki elemanlar tanıtılmış ve mukayese edilmiştir. Fotovoltaik pillerle elde edilen elektrik enerjisi ve hidrojenin taşıtlarda yakıt olarak kullanılabilirliği üzerine pratik örnekler verilerek, güneş enerjisi uygulamalarında bugün gelinen nokta saptanmıştır.

Bedava olması yanında tükenmeyen ve çevreyi kirletmeyen bir kaynak olan güneş enerjisi, fotovoltaik pillerle değerlendirilerek %19-22 teorik dönüşüm verimi ile elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Ancak otomobil uygulamalarında, %10-13 pratik çalışma verimine ulaşabilmektedir. Karşılaşılan en büyük dezavantajlar ise, sınırlı ve değişken kullanım süresi (sadece gündüzleri ve açık havalarda) ve güneş enerjili sistemlerin yüksek ilk yatırım maliyetleridir.

TÜRKÇE ABSTRAKT (en fazla 250 sözcük) :

(TÜBİTAK/TÜROK'un Abstrakt Hazırlama Kılavuzunu kullanınız.)

Türkiye geneline gelen yıllık ortalama güneş enerjisi miktarı  $1344,56 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$  'dır ve bu güneş enerjisinin %70'i nisan, mayıs, haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarında gelmektedir. Diğer taraftan, yıllık ortalama güneşlenme süresi en düşük bölgemiz olan Karadeniz Bölgesi  $5,4 \text{ saat/gün}$  yıllık ortalama güneşlenme süresi ile birçok Avrupa ülkesinden daha avantajlı konumdadır. Güneş ısıtıcıları bir deşerjyeri edekleyen sistemlerin kullanıldığı elektrik santrallerinde, %10-14 yıllık ortalama verimle üretilen elektriğin maliyeti  $0,08-0,14 \text{ US\$}$  olmaktadır. Kuleli ve Heliostatlı elektrik santrallerinde üretilen elektriğin ortalama maliyeti ise  $0,06-0,11 \text{ US\$}$ 'dir. Diğer taraftan, parabolik aynalarda güneş ısıtıcılarının bir noktasıya odaklandığı elektrik santrallerinde, %30 verimle üretilen elektriğin maliyeti  $0,06-0,11 \text{ US\$}$  olmaktadır.

Fotovoltaik pillerle çalışan taşıtların tek şarjda ulaşabildikleri mesafe  $80 \text{ km}$  ye ulaşmaktadır ve Almanya'da tüm otomobil kullanıcılarının %85'inin günlük  $80 \text{ km}$  veya daha az yol katetdikleri düşünülürse, bu mesafenin bile ne kadar önemli düzeyde karşılanmaktadır. Yanis amaçlı dizayn edilen otomobillerle  $150 \text{ km/h}$  hız elde edilebilmektedir. Ayrıca, güneş pillerinin dönüşüm verimlerinin yükseltilmesi ve bugünkü maliyetlerinin düşürülmesi ile elde edilen elektriğin maliyeti de düşecektir. Konvansiyonel kaynaklarla ve fotovoltaik pillerle elde edilen elektrik enerjisinin bugünkü maliyeti, sırasıyla  $0,06 \text{ US\$}$  ve  $0,30 \text{ US\$}$ 'dir.

Bedava olması yanında, tükenmeyen ve çevreyi kirlenmeyen bir kaynak olan güneş enerjisi, fotovoltaik pillerle değerlendirilerek %19-22 teorik dönüşüm verimi ile elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Ancak, otomobil uygulamalarında, %10-13 pratik çalışma verimine ulaşabilmektedir. Karşılaşılan en büyük dezavantajlar ise, sınırlı ve deşerjyen kullanım süresi (sadece gündüzleri ve sıcak havalarda) ve güneş enerjili sistemlerin gelecek ilk yatırım maliyetleridir.

## ***ABSTRACT***

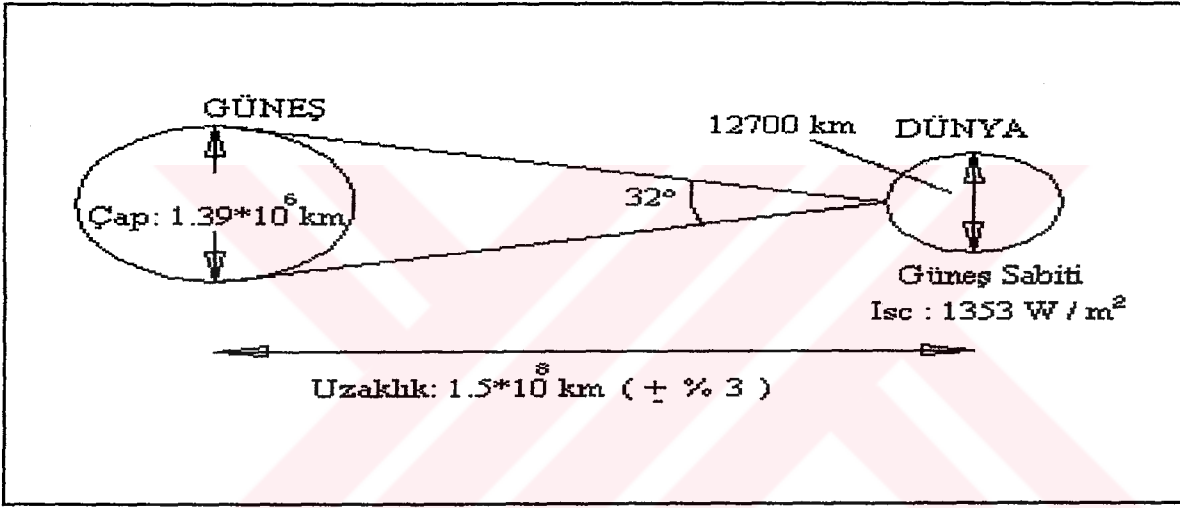
Recent years, All developed and developing countries confronted a big and important problem for the future, namely environmental pollution. Nowadays, very big part of the energy needed is supplied from the sources which are described as primary energy sources such as petroleum, natural gas and coal. The fossil fuels mentioned are finite in quantity and depleted at an ever-growing rate causing adverse effects on environment.

In the first part of the thesis, the description of solar energy and solar energy potential of both Turkey and other countries are pointed out. Then, traditional usage systems of solar energy and the supplementary elements of these systems are given. In the other parts of the thesis, solar energy systems in which solar energy is converted in to electricity directly or indirectly are described and compared. Practical examples of using electricity and hydrogen obtained by solar energy via phovoltaic cells on vehicles are given. So, the present utilization possibility of solar energy is determined.

Solar energy which is a free, infinite and clean energy source can be converted in to electricity at 19-22 % theoretical efficiency by photovoltaic cells. However, in vehicle applications, 10-13 % efficiency can be obtained. On the other hand, there are some difficulties for large-scale utilization of solar energy. It is available only during the daytime when the sky is clear. Even then, its intensity changes with the time and the investment cost of conversion systems is too high compared with conventional systems.

## 1.GİRİŞ

Dünyadan ortalama  $1.5 \times 10^8$  km uzaklıkta ve  $1.39 \times 10^6$  km çapında olan güneş, çok yoğun ve çok sıcak gazlardan oluşmuş bir küttedir. Yüzey sıcaklığının  $5762^\circ\text{K}$  olduğu bilinmekte ve hidrojen gazının helyuma dönüşmesi nedeniyle sürekli bir füzyon reaktörü olarak çalıştığı kabul edilmektedir. Dünya ile güneş arasındaki mesafe, dünyanın güneş etrafındaki yörüngesinin tam dairesel olmamasından dolayı  $\pm\%3$  kadar değişmektedir. Ortalama mesafe konumunda atmosfer dışındaki güneş ışınlımına "Güneş Sabiti" denilmekte ve  $I_{g,s} = 1353 \text{ W/m}^2$  ( $116.4 \text{ cal/cm}^2\text{h}$ ) olarak ölçülmüş bulunmaktadır (Duffie, 1974).

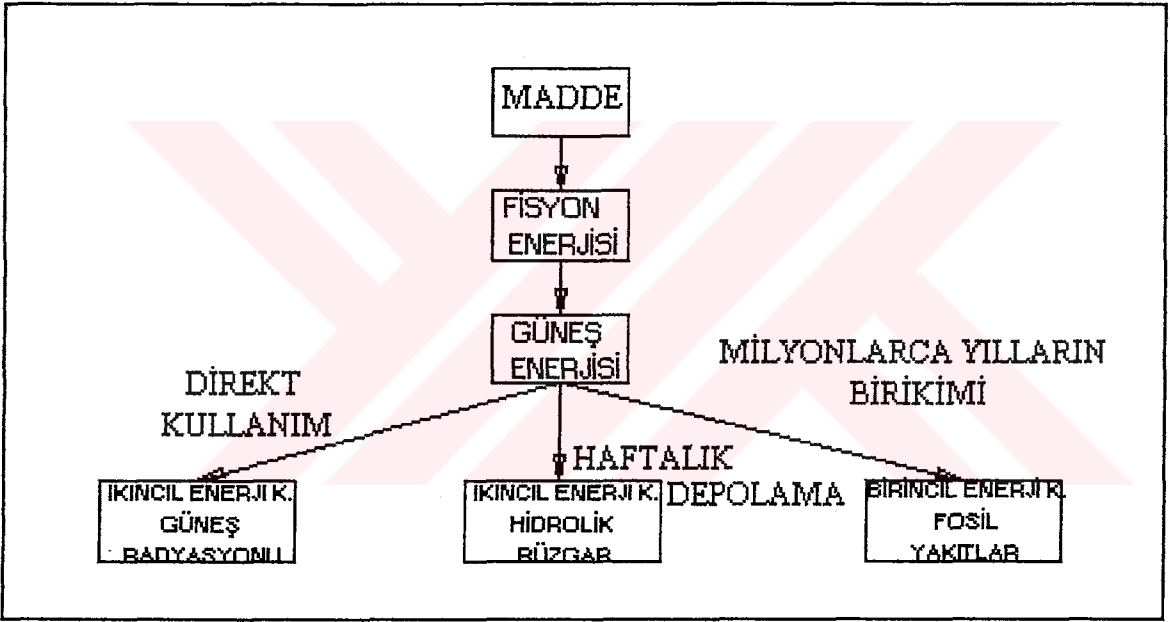


Şekil 1.1 Güneş-Dünya çiftinin şematik ilişkisi (Ölçeksiz)

Enerji kaynakları, birincil enerji kaynakları (fosil yakıtlar) ve ikincil enerji kaynakları (yenilenebilir enerji kaynakları) olarak iki gruba ayrılabilir. Birincil enerji kaynakları, güneş enerjisinin kimyasal formda depolanmasıyla, bir başka deyişle canlı organizmaların milyonlarca yıl toprak altında kalarak fosil yakıtları oluşturması olarak tanımlanabilir. Bu yakıtlar miktar olarak sonsuz değildir. İkincil enerji kaynakları ise, kesintilide olsa güneş enerjisinin rüzgâr, dalga veya hidrolik v.b enerji olarak kısa bir süre depolanmasından sonra yeniden oluşmaktadır.

Örneğin hidrolik enerjinin oluşumu dikkate alınacak olursa, güneş enerjisi deniz suyunu buharlaştırarak bulutlara taşır. Daha sonra atmosferdeki sıcaklık farkından kaynaklanan rüzgâr, bu bulutları daha yükseklere taşır ve bulutlar soğumaya başladığında yağış başlar. Bu yağmur suları kanallar vasıtasıyla toplanır ve hidrolik santraller yardımıyla elektrik üretilir.

Bütün enerji kaynakları maddeden meydana gelmektedir ve nükleer enerjinin dışındaki bütün enerjiler güneşe bağımlıdır. Herhangi bir enerjinin birincil veya ikincil enerji kaynağı mı olduğu o enerjinin depolanabilme süresiyle de tanımlanabilir.



Şekil 1.2. Birincil ve ikincil enerji kaynaklarının oluşumu(Kettani, 1970).

Fosil yakıtlar kullanıldığı sürece varılmaya devam edecek olan asit yağmurları, sera etkisi, hava kirliliği ve ısıl kirlilik dünyanın geleceği açısından çok büyük tehlikeler oluşturmaktadır. Bir yandan nüfus artışı ile artan enerji ihtiyacı enerji tüketimini

hızlandırmakta ve fosil yakıtların çok kısa bir süre sonra biteceği sinyali vermektedir. Bu süre, petrol rezervleri için 2050 yılı, doğalgaz rezervleri için 2070 yılı ve kömür rezervleri için 2150 yılı olarak tahmin edilmektedir(Yılmaz, 1995).

Ayrıca fosil yakıt kaynaklarının çoğu sanayileşmiş ülkeler tarafından kullanılmaktadır. Bu ülkeler sahip oldukları kaynaklar ve nüfusları daha az olmasına rağmen kullandıkları enerji miktarı çok fazladır. Örneğin ; ABD dünya fosil yakıtlarının yaklaşık %35' ini kullanmakta olup, ABD' deki fosil yakıt kaynaklarının dünya fosil yakıt kaynaklarına oranı % 20 ve A.B.D'nin nüfusu dünya nüfusunun yaklaşık % 6'sını oluşturmaktadır (Uyarel ve diğerleri, 1987).

Temel enerji kaynakları olarak adlandırılan fosil yakıtların tükenmesi ile, insanlık daha uzun ömürlü enerji kaynaklarına dönmek zorunda kalacaktır. Bunlardan en yaygın olanları hidrolik, nükleer ve güneş enerjisidir. Hidrolik enerji potansiyelinin her yerde bulunmaması, nükleer enerjinin yüksek teknoloji ve maliyetinin yanında insan sağlığı açısından güvenilirliğini henüz tam olarak ispatlamış olmaması bu iki enerjinin kullanılabilirliğini azaltmaktadır.

Güneş enerjisinin önem kazanması, daha çok 1973'deki petrol krizi ile başlamış ve 1990 körfez krizi ile hızlanmıştır. Sınırsız olan güneş enerjisinden faydalanma alanı ve miktarı günümüzde de büyük bir hızla artmaktadır.

## ***1.1 GÜNEŞ RADYASYONU ÇEŞİTLERİ***

### ***1.1.1 Kısa Dalga Boylu Radyasyon***

#### ***1.1.1.1 Direkt radyasyon***

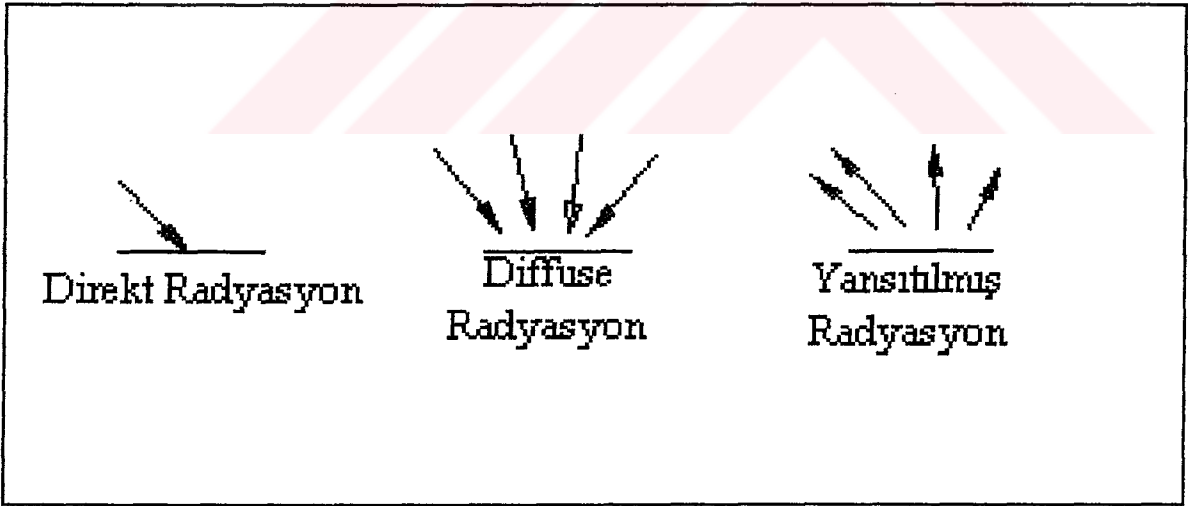
Güneşten direkt olarak gelen ve güneşten çok uzakta olduğumuzdan bunları paralel ışınlar olarak kabul edebileceğimiz radyasyondur. Bu radyasyonun dalga boyu 0.3-3.0  $\mu\text{m}$  arasındadır (Duffie et al, 1974).

### 1.1.1.2 Difüz radyasyon

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

### 1.1.1.3 Yansıtılmış radyasyon

Difüz radyasyonla yansıtılmış radyasyon arasındaki temel fark, difüz radyasyonun atmosferdeki gazlardan, yansıtılmış radyasyonun ise yeryüzündeki ağaç, kar, ayna gibi cisimlerden yansiyarak gelmesidir. Meteoroloji istasyonlarının hazırladıkları çizelgelerde, radyasyon değerleri direkt ve difüz radyasyonun toplamı olarak yer almaktadır. Yansıtılmış radyasyon ise tamamen bölgenin çevre şartlarına bağlıdır. Tablo 1.1' de bazı karakteristik yüzeylerin % yansıtıcılığı ve Şekil 1.3'de ise direkt, difüz ve yansıtılmış radyasyon şematik olarak görülmektedir.



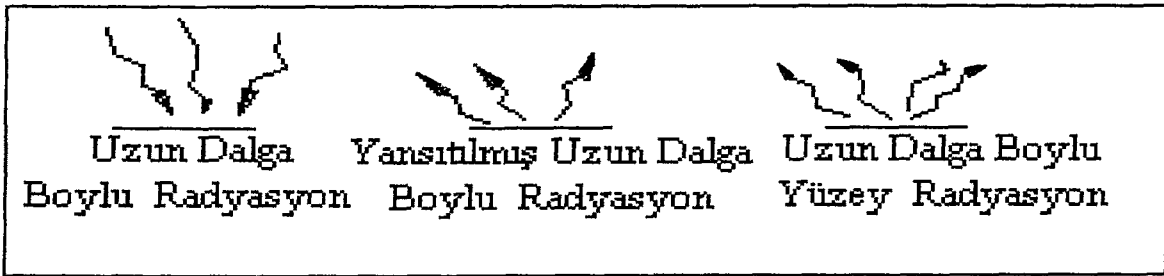
Şekil 1.3. Direkt, difüz ve yansıtılmış radyasyonun şematik olarak ifadesi.

**Tablo 1.1 Bazı Karakteristik Yüzeylerin % Yansıtıcılığı (Uyarel ve diğerleri, 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

### 1.1.2 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 boyundadır. Şekil 1.4'de uzun dalga boylu radyasyon şematik olarak ifade edilmektedir.



Şekil 1.4. Uzun dalga boylu radyasyonun şematik olarak ifadesi.

## 1.2 STEFAN - BOLTZMANN KANUNU

Yüzey sıcaklığı yaklaşık 6000 °C olan güneş, Stefan-Boltzmann kanununa göre çok yüksek değerlerde radyasyon enerjisi yaymaktadır. Stefan - Boltzmann kanunu ;

$$E = \sigma \cdot T^4 \quad (1.1)$$

formülü ile ifade edilmektedir. Burada ;

$E$  = Enerji miktarı( $W/m^2$ )

$\sigma$  = Stefan-Boltzmann sabiti(  $5.77 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$  )

$T$  = Sıcak cismin mutlak sıcaklığını(  $T(K) = t + 273 \text{ } ^\circ C$  ) ifade etmektedir.

Buna göre, bir ismin 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 ;

$$\lambda_{\max} = \frac{a}{T} \quad (1.2)$$

formülü ile ifade edilmektedir. Burada ;

$\lambda_{\max}$  = Dalga boyu (  $\mu m$  )

$a$  = Sabit

$T$  = Mutlak sıcaklık(  $K$  )

## 1.3 TÜRKİYE' NİN GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

Ekvatorun 45° kuzey ve 45° güney enlemleri arasında yer alan bölgeye “Güneş Kemerı” adı verilir. Ülkemiz 36° - 42° kuzey meridyenleri arasında bulunduğu için dünyanın güneş

kuşığı 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  $1344.6 \text{ kWh/m}^2$  yıl'dır. Tablo 1.2'de 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).

**Tablo 1.2 Güneş enerjisi yoğunluğunun bölgelerimize göre dağılımı(Yılmaz, 1995)**

<i>Bölge</i>	<i>Yıllık toplam güneş enerjisi(kWh/m<sup>2</sup>-yıl)</i>	<i>Yıllık top. güneşlenme süresi (saat/yıl)</i>	<i>Yıllık ort.güneşlenme süresi(saat/gün)</i>
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. Doğu	1460	2993	8,2
<b>Türkiye Ort.</b>	<b>1311</b>	<b>2640</b>	<b>7,23</b>

Tablo 1.3'de Türkiye yıllık ortalama güneşlenme süresinin oransal ve alansal dağılımı, Tablo 1.4'de Türkiye'de birim yüzeye gelen güneş enerjisinin oransal ve alansal dağılımı verilmiştir.



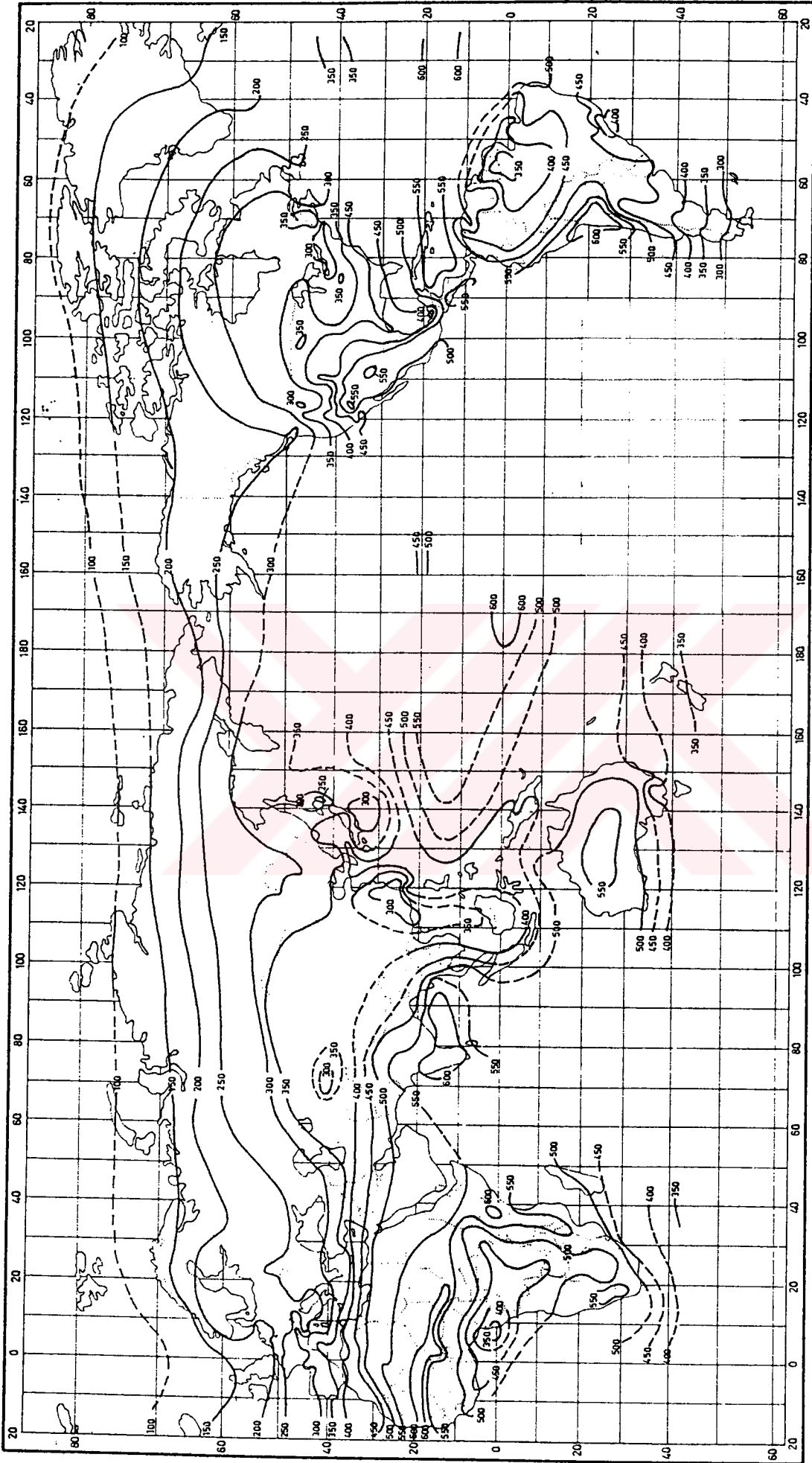


**Tablo1.3 Türkiye yıllık ortalama güneşlenme süresinin oransal ve alansal dağılımı**

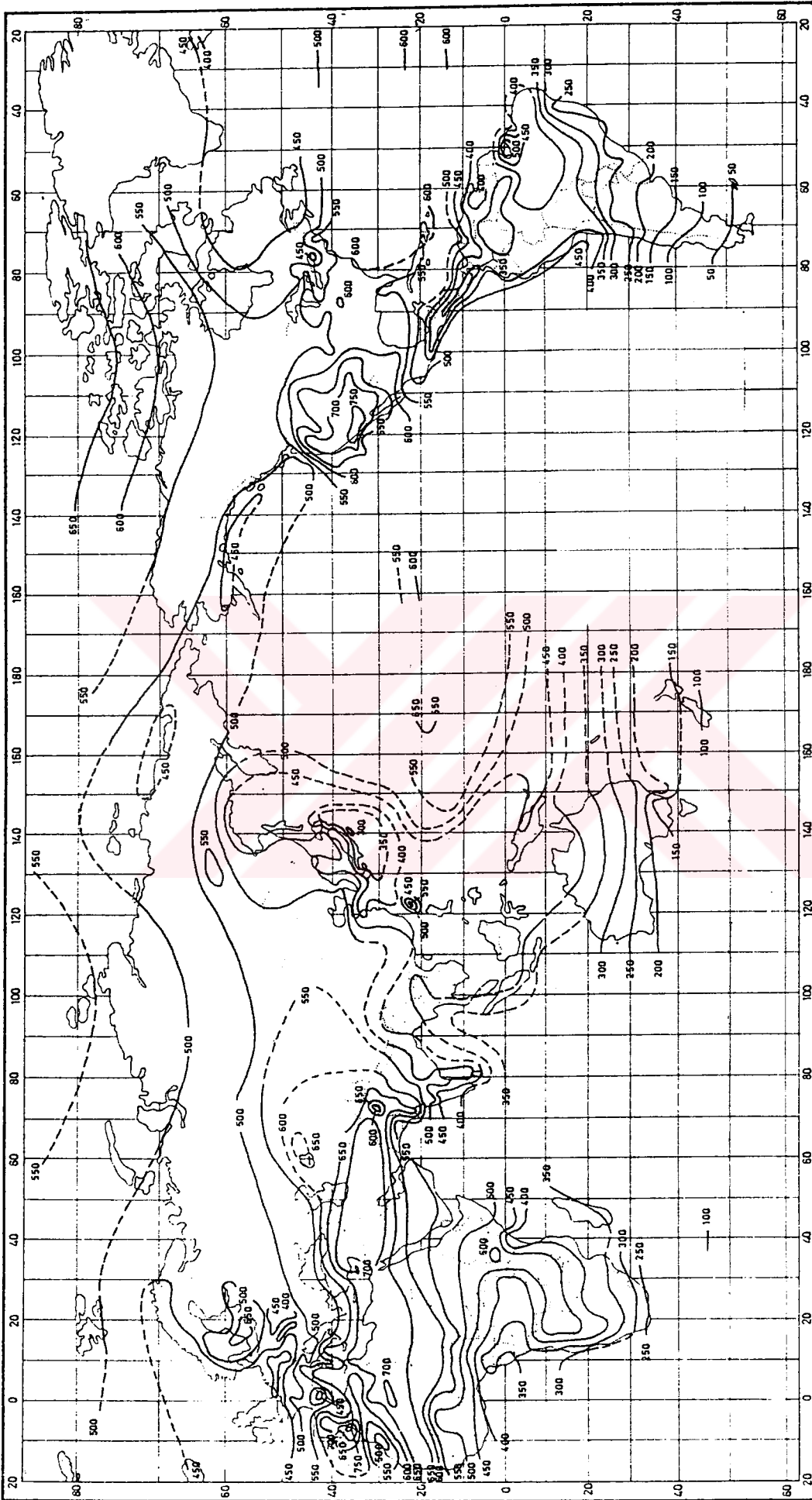
<b>Güneşlenme süresi ( saat )</b>	<b>%</b>	<b>Güneşlenen alan ( km<sup>2</sup> )</b>
4.5 >	-	1640
4.5 - 5.0	1	9280
5.0 - 5.5	2	18880
5.5 - 6.0	6	47080
6.0 - 6.5	9	67160
6.5 - 7.0	16	122000
7.0 - 7.5	24	188080
7.5 - 8.0	26	197880
8.0 - 8.5	14	104240
8.5 <	2	18280

**Tablo 1.4 Türkiye’de birim yüzeye gelen güneş enerjisinin oransal ve alansal dağılımı**

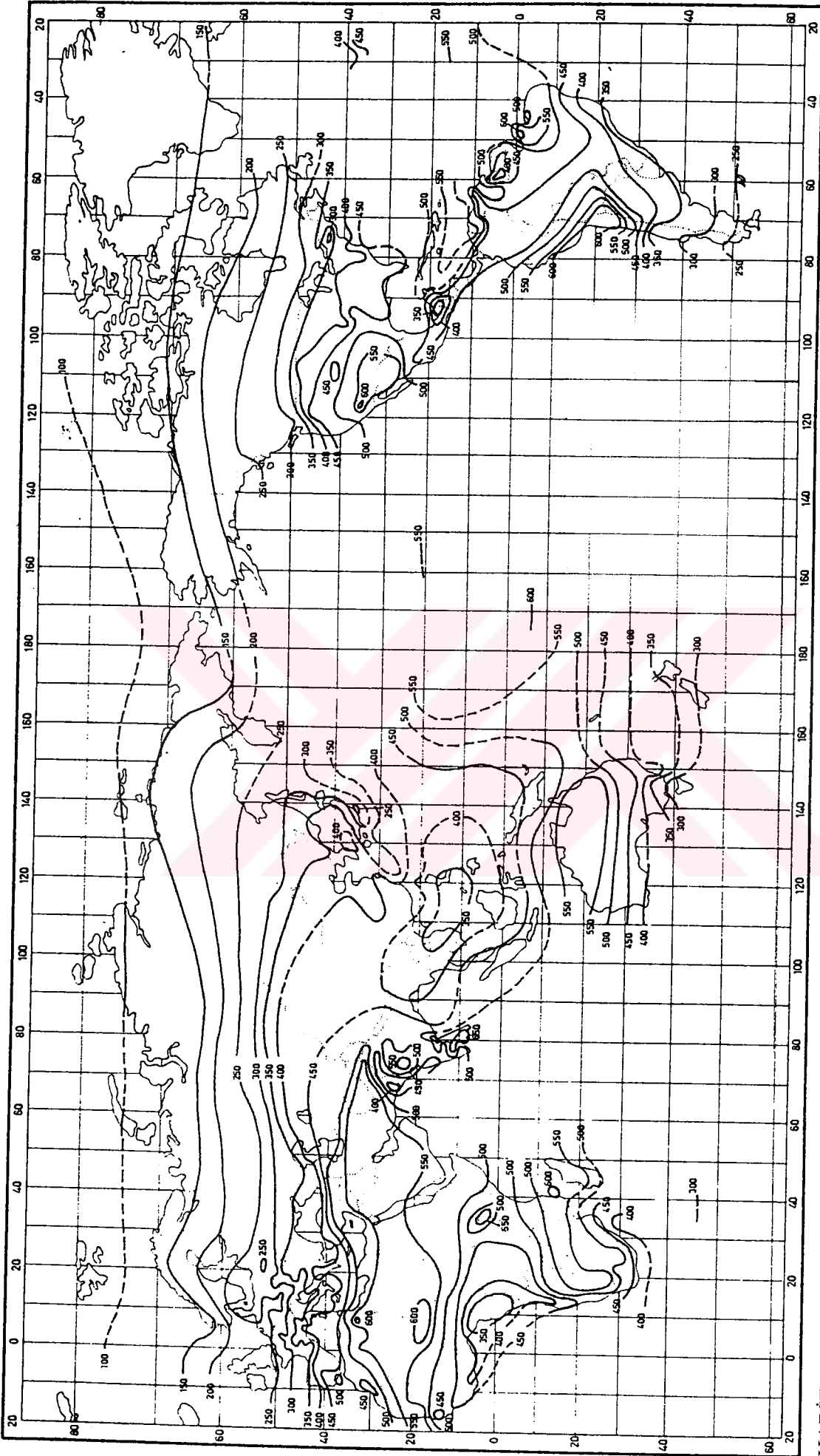
<b>Işınım Şiddeti( cal/cm<sup>2</sup> .gün)</b>	<b>%</b>	<b>Güneşlenen alan ( km<sup>2</sup> )</b>
220 - 240	-	1200
240 - 260	2	19126
260 - 280	13	96640
280 - 300	17	130280
300 - 320	33	258760
320 - 340	26	202640
340 - 360	9	68560
360 - 380	-	2240



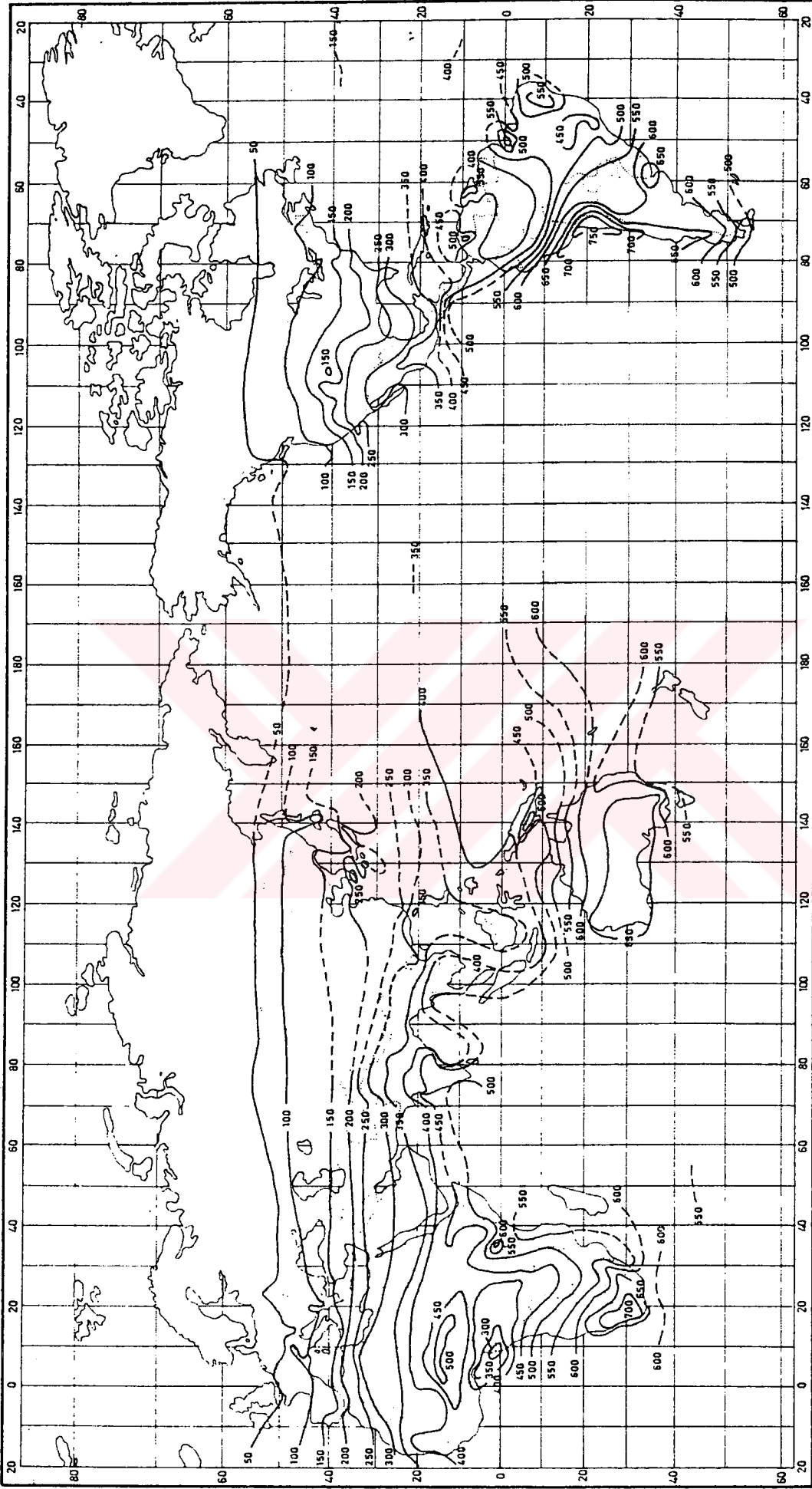
HARİTA 3. Mart ayı için günlük toplam ( direkt + difüz ) güneş enerjisi miktarı (  $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{gün}$  ).



HARİTA 4. Haziran ayı için günlük toplam( direkt + difüz) güneş enerjisi miktarı (cal / cm<sup>2</sup> .gün).



HARİTA 5. Eylül ayı için günlük toplam ( direkt + difüz ) güneş enerjisi miktarı ( cal / cm<sup>2</sup> .gün ).



HARİTA 6. Aralık ayı için günlük toplam(direkt + difüz) güneş enerjisi miktarı ( cal / cm<sup>2</sup>.gün ).

Türkiye geneline gelen  $1344.56 \text{ kWh/m}^2$  yıllık ortalama güneş enerjisinden aylık ortalama alındığında  $112.04 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{ay}$  değeri bulunmaktadır. Tablo 1.4'de Türkiye'de aylar itibariyle güneş enerjisi potansiyelinin gösterdiği değişkenlikler verilmiştir.

**Tablo 1.4. Aylar İtibariyle Güneş Enerjisi Potansiyeli**

<i>Aylar</i>	<i>Güneş ışınlarının toplam enerjisi ( kWh/m<sup>2</sup> )</i>	<i>Güneşlenme süresi (saat/ay)</i>
Ocak	54.08	150.01
Şubat	61.55	189.01
Mart	95.63	265.30
Nisan	125.13	358.93
Mayıs	154.13	428.57
Haziran	169.30	485.57
Temmuz	181.40	503.14
Ağustos	164.82	457.16
Eylül	130.93	357.26
Ekim	97.02	269.09
Kasım	62.47	179.06
Aralık	47.60	132.04
<b>Yıllık Toplam</b>	<b>1344.56</b>	<b>2608.80</b>

Tablo 1.4'den anlaşıldığı gibi, en düşük güneş ışınlarının toplam enerjisi ve en düşük güneşlenme süresi sırasıyla  $47.60 \text{ kWh/m}^2$  ve  $132.04 \text{ saat/ay}$  değerlerini aralık ayında vermektedir. En yüksek değerler ise  $181.40 \text{ kWh/m}^2$  ve  $503.13 \text{ saat/ay}$  değerleri ile temmuz ayında olmaktadır.

Her sene dünyanın yüzeyine gelen güneş enerjisi, fosil ve uranyum yakıt kaynaklarının 10 katına ve yıllık enerji tüketiminin 15000 katından fazlasına eşittir(Güleryüz, 1989).

Güneş enerjisinden yüksek oranda yararlanmaya elverişli bir coğrafi konuma sahip ülkemizde, güneşten en az yararlanabilen bölgemiz olan Doğu Karadeniz Bölgesi bile, birçok Avrupa ülkesine göre daha şanslı durumdadır.



## 2. GÜNEŞ ENERJİSİNDEN YARARLANMA YÖNTEMLERİ

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

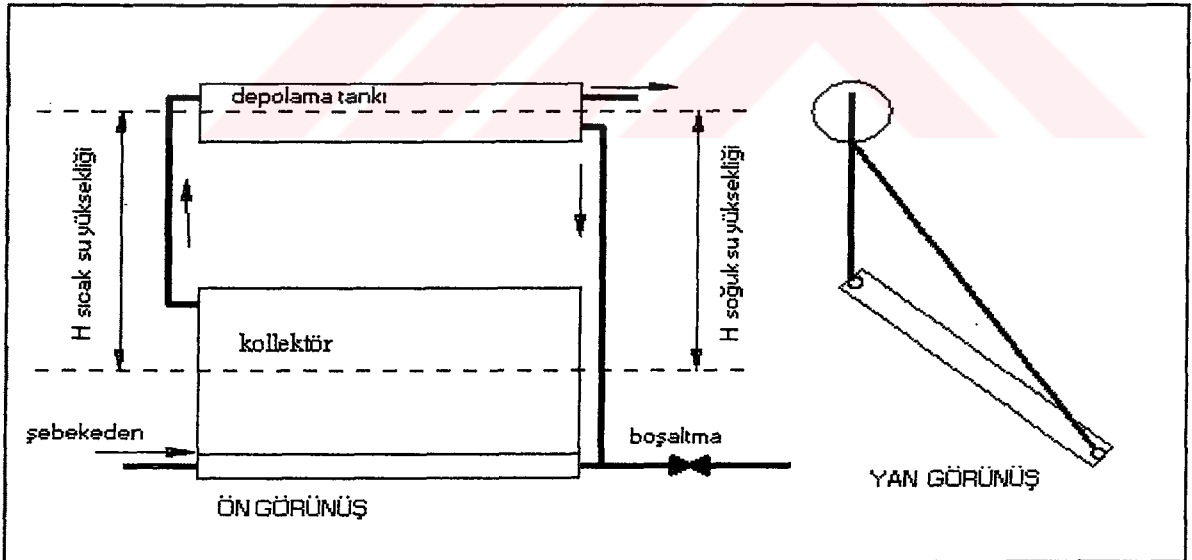
- Düşük Sıcaklık Uygulamaları (Düz Kollektörlü Sistemler)
- Orta Sıcaklık Uygulamaları (Odaklı Kollektörlü Sistemler)
- Yüksek Sıcaklık Uygulamaları (Güneş Santralleri)

### 2.1. DÜŞÜK SICAKLIK UYGULAMALARI (Düz Kollektörlü Sistemler)

#### 2.1.1. Güneş enerjisinden yararlanarak sıcak su elde etme yöntemleri

##### 2.1.1.1. Tabii dolaşimli su ısıtma sistemleri

Tabii dolaşimli su ısıtma sistemleri ile sıcak su eldesi, güneş enerjisinin ilk kullanım alanlarından birisidir. Sıcak su ihtiyacının çok olmadığı durumlarda, özellikle konutlarda kullanılmaktadır. Şekil 2.1’de tabii dolaşimli bir su ısıtma sisteminin temel elemanları ve çalışma şekli görülmektedir.



Şekil 2.1. Tabii dolaşimli bir su ısıtma sisteminin temel elemanları

Tabii dolaşımın 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 olmaktadır ve depodaki su ısındıkça, gidiş ve dönüş borularındaki suyun yoğunlukları farkı azaldığından dolaşımı sağlayan etken basınç ( $P_e$ ) azalacaktır.

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

$$P_e = H ( \rho_{soğ} - \rho_{sic} ) \quad (2.1)$$

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 ( $kg/m^3$ )

$\rho_{sic}$  = 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.

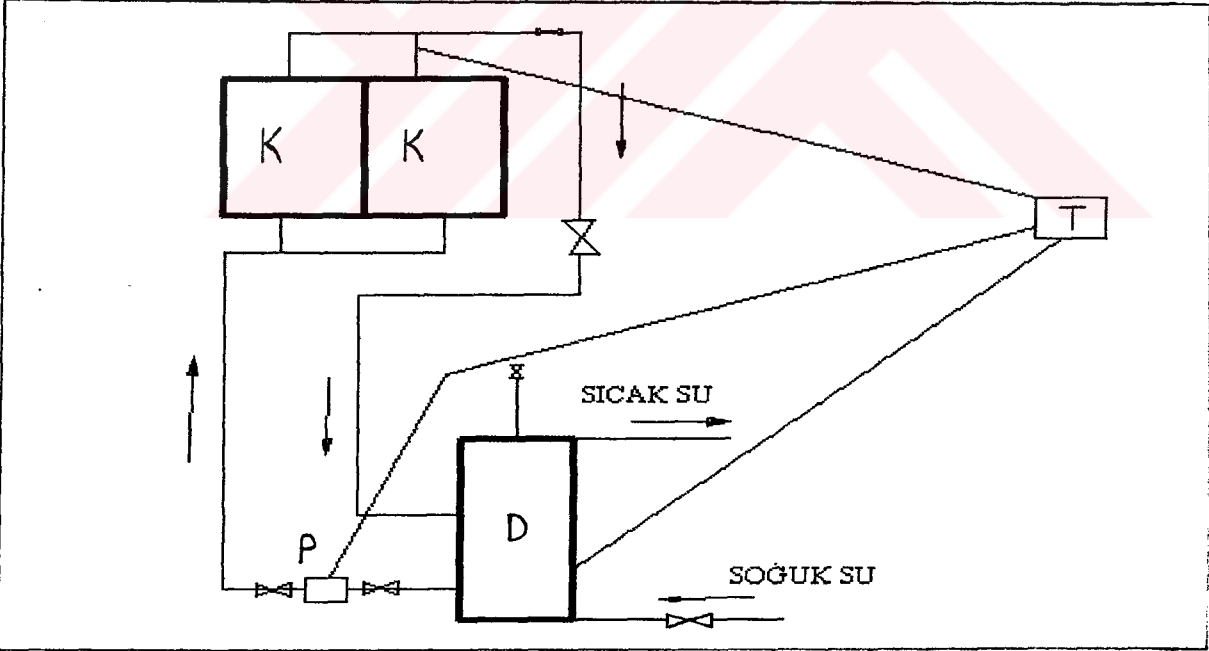
Güneşsiz günlerde sistemden sürekli sıcak su alınması isteniyorsa, sıcak su çıkışı üzerine bir ek ısıtıcı konabilir. Sistemin soğuk kış günlerinde donmasını önlemek için

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 ısıtımli 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 değiştiricide, kullanım suyuna geçer.

### 2.1.1.2. Pompalı su ısıtma sistemleri

Pompalı su ısıtma sistemleri de, direkt ısıtımli ve endirekt ısıtımli olarak iki şekilde yapılabilir. Direkt ısıtımli sistemin, ılıman iklimlerde, yıldaki donma günü sayısı (hava sıcaklığının  $0^{\circ}\text{C}$ ' nin altında olduğu gün sayısı)  $45'$  in altında olan yerlerde kullanımı daha verimli ve uygun olmaktadır. Şekilde direkt ısıtımli pompalı su ısıtma sistemi görülmektedir.



Şekil 2.2. Direkt ısıtımli 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.

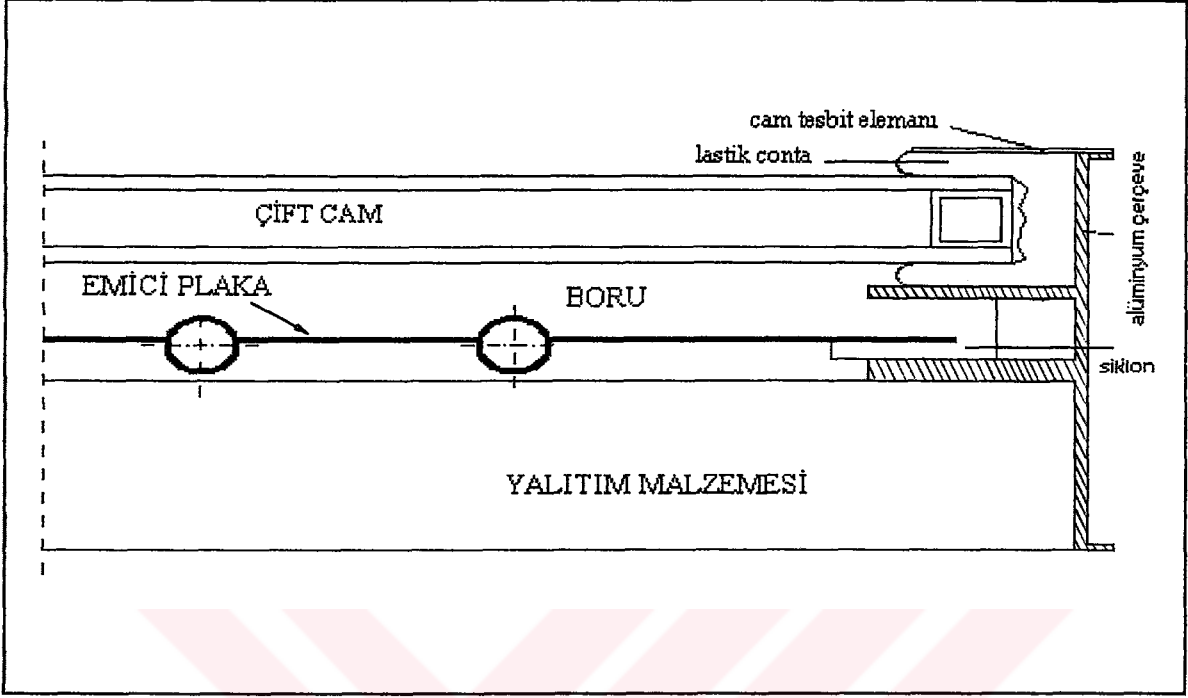
Endirekt ısıtım sistemlerinde depolama tankı içinde bir ısı değiştirici vardır. Kollektörde ısıtılan su, depolama tankındaki bu ısı değiştiricisinden geçerken depodaki suyu ısıtır ve soğumuş olarak tekrar kollektöre gider. Isı değiştirici, tankın içinde bir serpantin veya su cebi şeklinde konstrükte 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 takdirde, antifirizli suyun depolama tankı içindeki kullanım suyuna karışması ciddi sağlık problemlerine yolaçabilir.

### ***2.1.1.3 Düz yüzeyli güneş kollektörleri***

Bütün güneş kollektörleri (düz, odaklayıcı v.s.) güneş radyasyonunu alıp 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 2.3'de düz yüzeyli güneş kollektörünün elemanları görülmektedir.

Düz yüzeyli güneş kollektörlerinde kollektör kasetleri ağaç, plastik veya metal malzemedan 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 2.3. Düz yüzeyli güneş kolektörlerinin temel elemanları

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

Tablo 2.1’de kolektör kafesi yapımında kullanılan bazı malzemelerin ısıl genleşme yüzdeleri (Sıcaklığın 150 °C yükselmesinde malzemenin boyca uzama yüzdesi) verilmektedir. Tablo 2.1’de alüminyumun camdan yaklaşık 3 kat, plastiğin ise camdan ortalama 10 kat daha fazla genleştiği görülmektedir.

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

**Tablo 2.1 Kollektör kafesi yapımında kullanılan bazı malzemelerin ısı genleşme yüzdeleri (Uyarel ve diğerleri, 1987).**

<i>Kollektör kafes malzemesi</i>	<i>Boyca % uzama</i>
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

3mm kalınlığındaki cam örtü üzerine düşen güneş ışığının görülebilir kısmının %82-90'ını geçirir, yaklaşık %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. Tablo 2.2'de çeşitli cam ve diğer örtü malzemelerinin bazı özellikleri verilmiştir.

**Tablo 2.2. Çeşitli örtü malzemelerinin bazı özellikleri.**

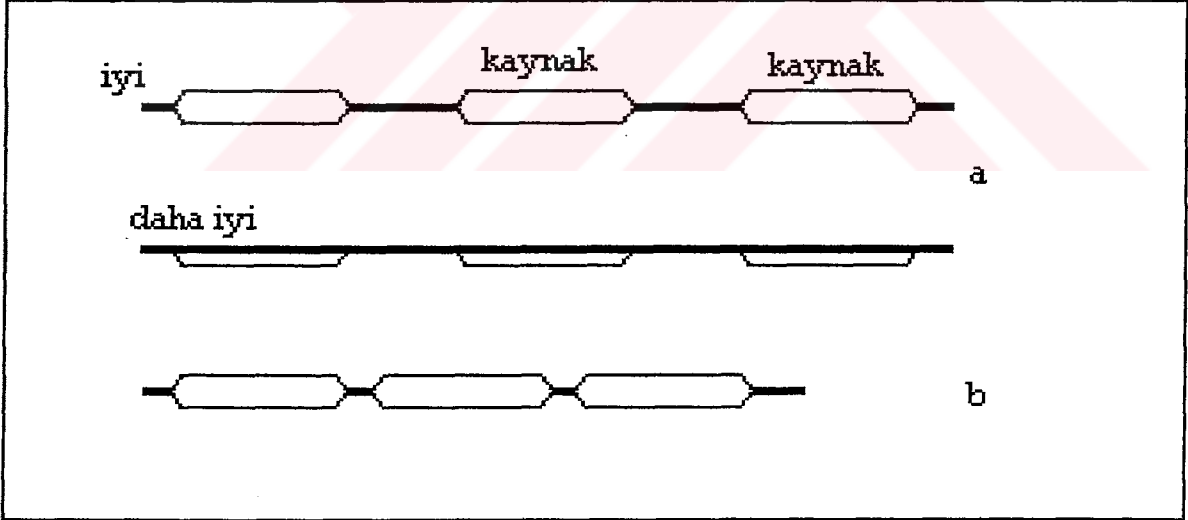
<i>Örtü malzemesi</i>	<i>Kalınlık (mm)</i>	<i>Isıl geçirgenlik(%)</i>	<i>Mak. çalışma sıcaklığı (°C)</i>	<i>Maksimum ömür (yıl)</i>
Temiz cam	3	85	400	30+
Düşük demirli cam	3	87	400	30+
Su renginde cam	3	91	400	30+
Polyester katkılı fiberglas	1	87	250	10-15
Fleksiglas(akrilik)	3	89	190	20

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 antifrizli su kullanılarak donma önlenir. Ancak bu durum, sistemde bir ısı değiştirici kullanmayı gerektireceğinden dolayı ek bir maliyet getirir. Ayrıca antifrizli 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 2.4'de çeşitli emici plaka dizaynları görülmektedir.



Şekil 2.4 Çeşitli emici plaka dizaynları (McVeigh, 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 toplayıcının 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).

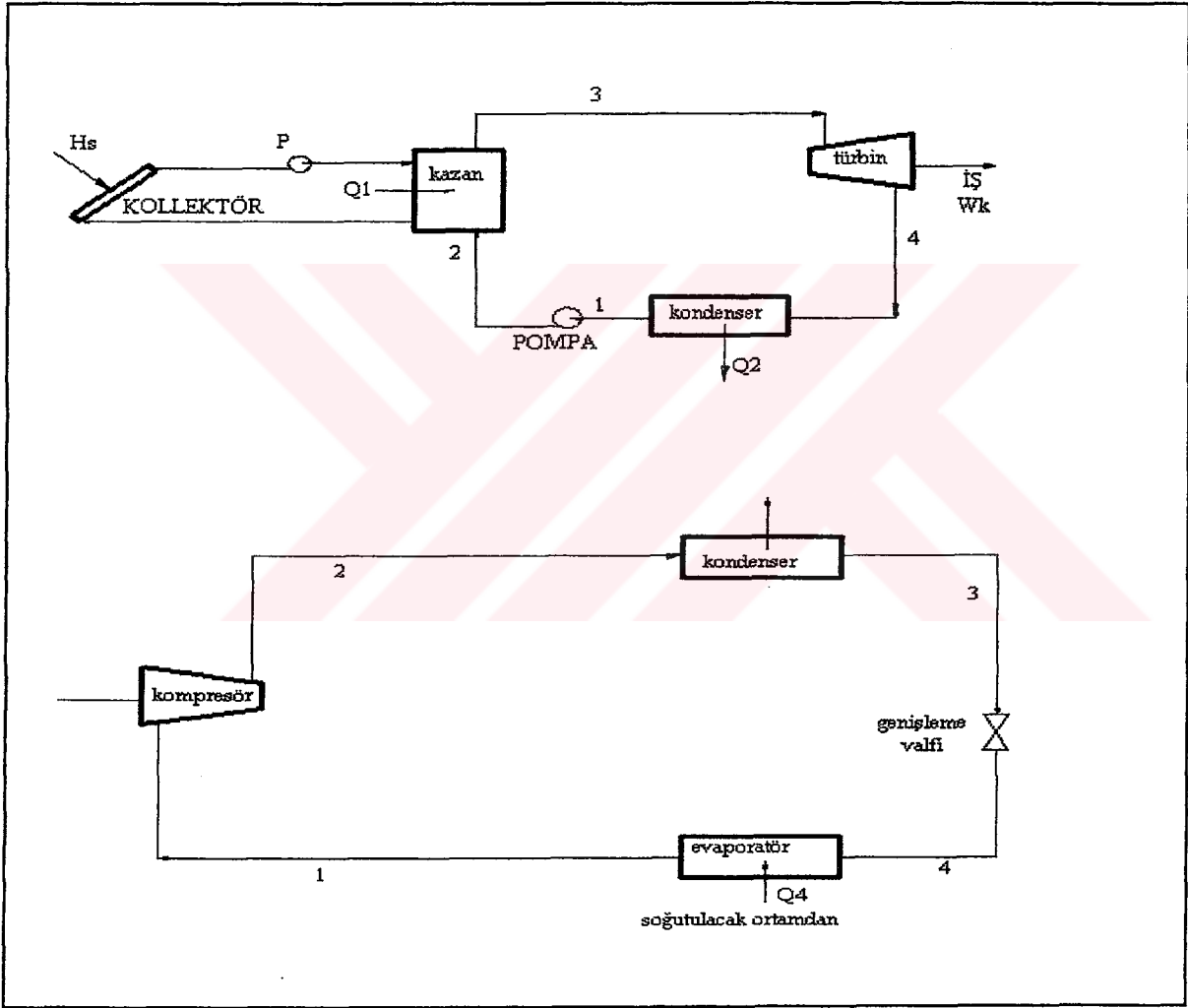
### **2.1.2. Güneş enerjisinden yararlanarak soğutma**

Bilindiği gibi gıdalar, içerdikleri yüksek orandaki su niceliği ve 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 °C'den büyük olması durumunda özellikle klima uygulamalarında, -10 °C'nin altında olması durumunda ise, gıdaların uzun süreli dondurularak depolanması uygulamalarında kullanılabilir. Güneş enerjisinden yararlanarak çalışan soğutma sistemleri iki ana gruba ayrılabilir. Bunlar; mekanik buhar sıkıştırımlı ve absorpsiyonlu soğutma sistemlerdir.

### 2.1.2.1. Mekanik sistemler (Isı pompaları)

Soğutma çevrimi için gerekli iş, güneş kolektörlerinden enerji alan bir Rankine güç çevrimiyle elde edilebilir. Bu işle, soğutma çevrimi kompresörü çalıştırılır. İki termik çevrimden oluşan bu soğutma sisteminin verimi çok düşüktür. Şekil 2.5’de Rankin güç çevrimi ve yoğuşmalı soğutma çevrimi görülmektedir.



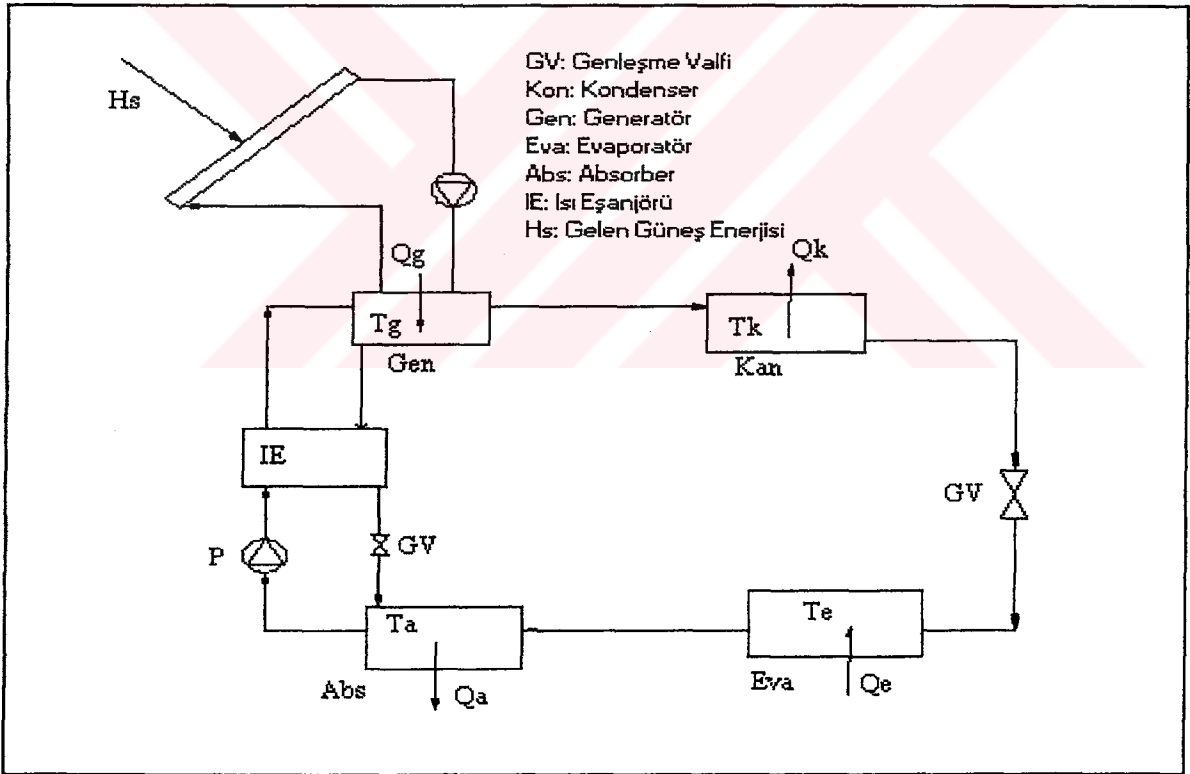
Şekil 2.5. Rankin güç ve yoğuşmalı soğutma çevrimi

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.

### 2.1.2.2. Absorbsiyonlu soğutma sistemleri

Bu sistemin soğutma çevrimi mekanik sistemdeki ile aynıdır. Farklı yanı ise, kompresörün yerini, absorber eriyik pompası ve generatör (buhar üretici) almıştır. Şekil 2.6' da absorbsiyonlu soğutma sisteminin şekli görülmektedir.



Şekil 2.6. Absorbsiyonlu soğutma sistemi

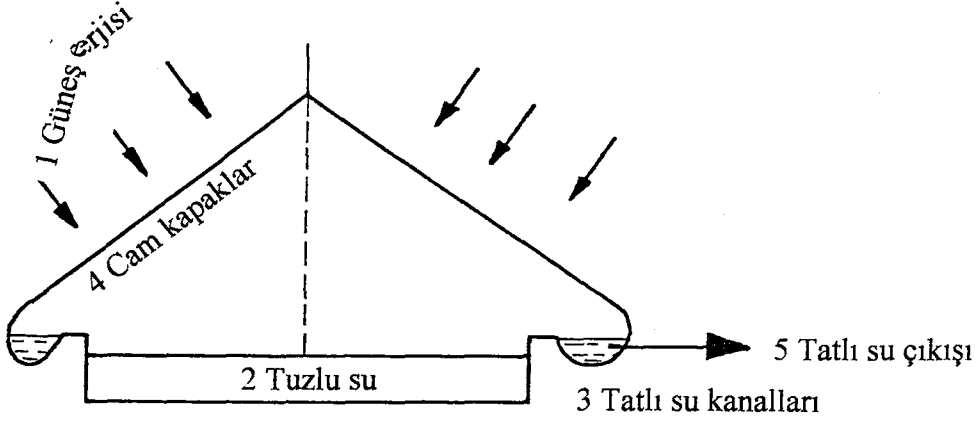
Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde ısı enerjisi, soğuk üretmek için direkt olarak kullanılmaktadır. Sistem içinde yüksek kimyasal yakınlığa sahip bir soğutkan eriyiği ile absorbent (emici madde) kullanılmaktadır. Genel olarak absorbsiyon prensibi, “karşılıklı çözünürlüğü olan maddeler yüksek sıcaklıkta daha az, düşük sıcaklıkta ise daha fazla çözünür” olmaktadır. Absorbsiyonlu soğutma sistemlerinde çeşitli soğutkan-absorbent kombinasyonları kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanılanları, Amonyak - Su, Su - Lityumhidroksit, Su-Lityumklorid, Metilklorid-Tetraeten glikol ve Metilalkol-Kalsiyumklorürdür.

Soğutkan-absorbent kombinasyonlarında aranan en önemli özellik, kimyasal çözünürlüğün yüksek olmasıdır. Yukarıdaki kombinasyonlar içinde, amonyak-su en yüksek kimyasal çözünürlüğe sahiptir. Bunun nedeni ise, amonyakın kaynama noktasının çok düşük ( $-33.4^{\circ}\text{C}$ ) ve buharlaşma ısısının yüksek ( $1368.168\text{ kJ/kg}$ ) olması, dolayısıyla soğutma etkisinin çok yüksek olmasıdır. Amonyakın toksisite ve tutuşabilirlik gibi iki dezavantajı ise, sistemin uygun şekilde tasarımı ve kontrolü ile giderilebilmektedir. Absorbent olarak suyun kullanılmasının nedeni ise, amonyaka karşı çözünürlüğünün yüksek olması ve böylece daha çok miktarlarda amonyak emebilmesidir.

### ***2.1.3. 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 bol miktarda olması güneş enerjisinin tatlı su üretiminde kullanılmasını çok cazip hale getirmektedir. Şekil 2.7’de 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 2.7. Tatlı su elde etmede kullanılan sistem

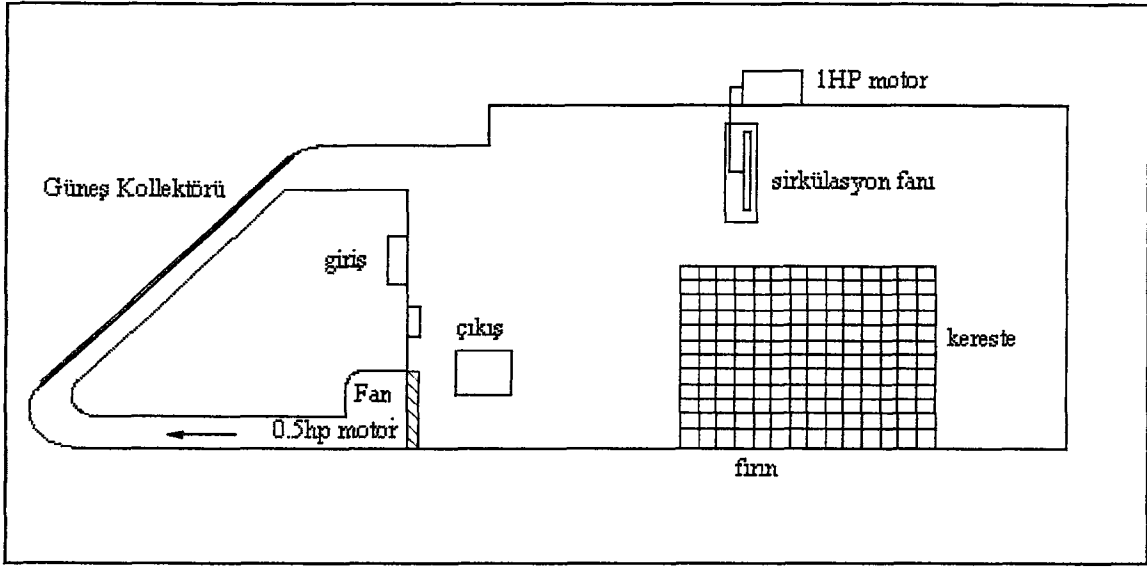
(1-Güneş ışınları, 2-Tuzlu su, 3-Tatlı su toplama kanalları, 4-Cam kapaklar, 5-Tatlı su çıkışı)

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°
Havuz alanı	= 10 m <sup>2</sup>
Günde elde edilen su miktarı	= 32.9 kg/gün
Bu suyun ederi (0.5 \$/ ton)	= 16.45 mills (1\$=1000 mills)

#### 2.1.4. 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 2.8'de kollektörlü güneşli kurutucular görülmektedir.



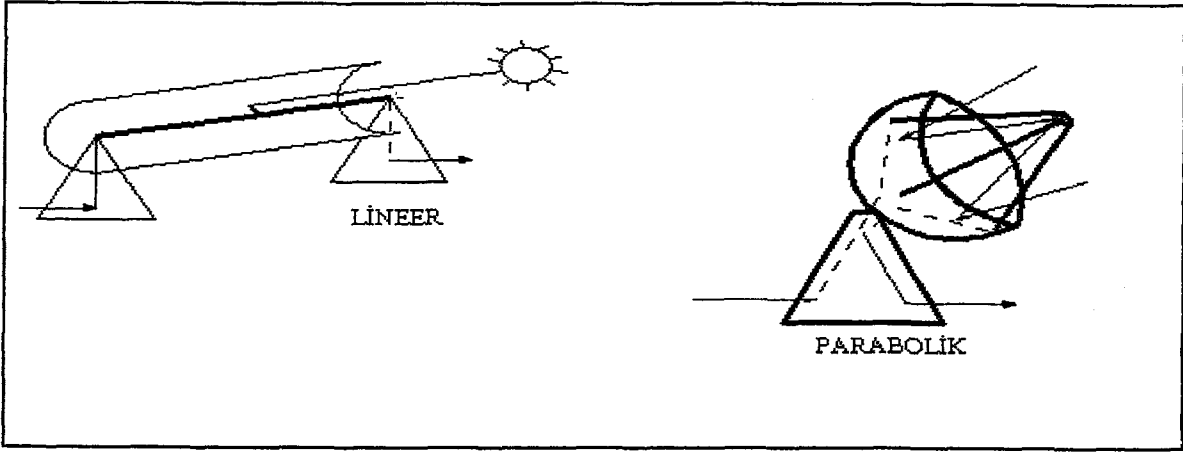
Şekil 2.8 Kollektörlü güneşli kurutucular(Uyarel ve diğerleri, 1987)

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 kolektöründe elde edilen kurutma havasının sıcaklığıdır. Kurutma havasının nemi fırına monte edilen bir higrostatla kontrol edilerek, kollektörde ısıtılan kurutucu havanın devir daim hızı ayarlanmalıdır.

## 2.2. ORTA SICAKLIK UYGULAMALARI (Odaklayıcı kollektörlü)

Orta sıcaklık uygulamalarında (100-300 °C), güneş ışınımının yansıtılarak veya kırılarak bir noktaya veya eksene yoğunlaştırıldığı odaklı toplayıcılar kullanılır. Şekil 2.9'da bu iki tip kollektör görülmektedir.

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



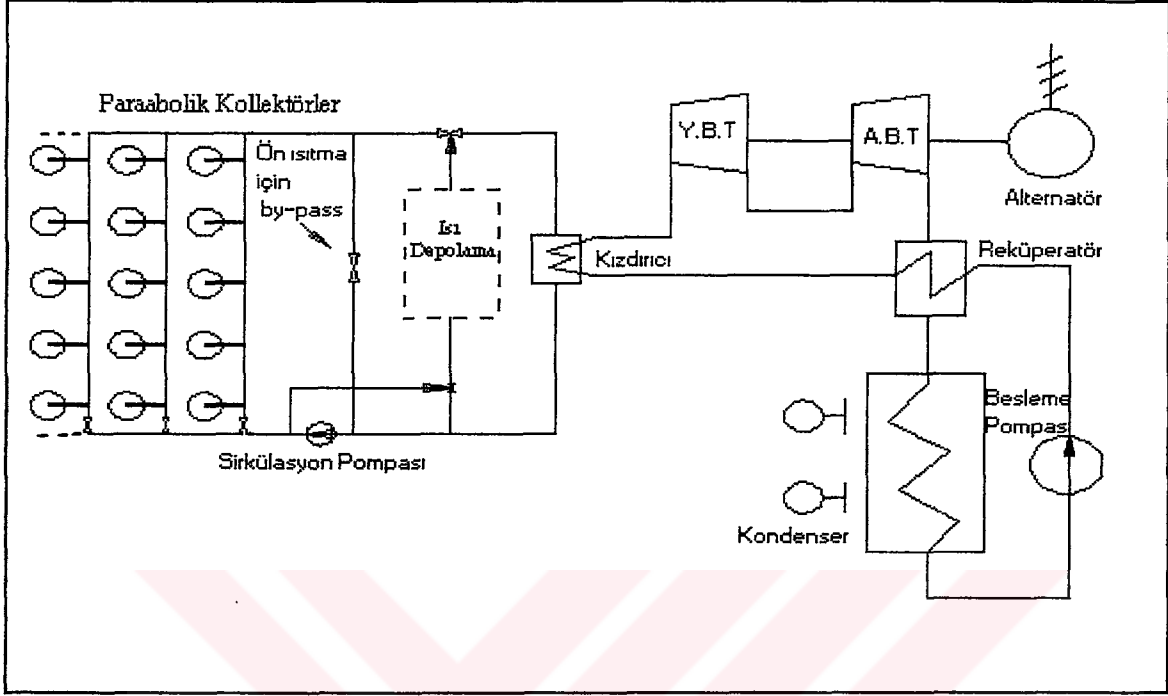
Şekil 2.9. Odaklı tip kollektörler

Gerekli enerji miktarı ve elde edilmek istenilen sıcaklığına bağlı olarak , 200-300 °C arasındaki uygulamalarda bu kollektörlerin güneşi takip etmesini sağlayan mekanizmalara gerek vardır. Özel tip lineer kollektörlerle 350 °C ve parabolik kollektörlerle 800 °C çalışma sıcaklıklarına çıkılabilmektedir(Mancini et al, 1994).

### 2.3. YÜKSEK SICAKLIK UYGULAMALARI

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 çıkılabilmektedir. 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 2.10'da Elektrik üreten bir güneş çiftliğinin çalışma prensibi ve Tablo 2.3'de elektrik üreten çeşitli güneş çiftliklerine ait karakteristik bilgiler verilmiştir.

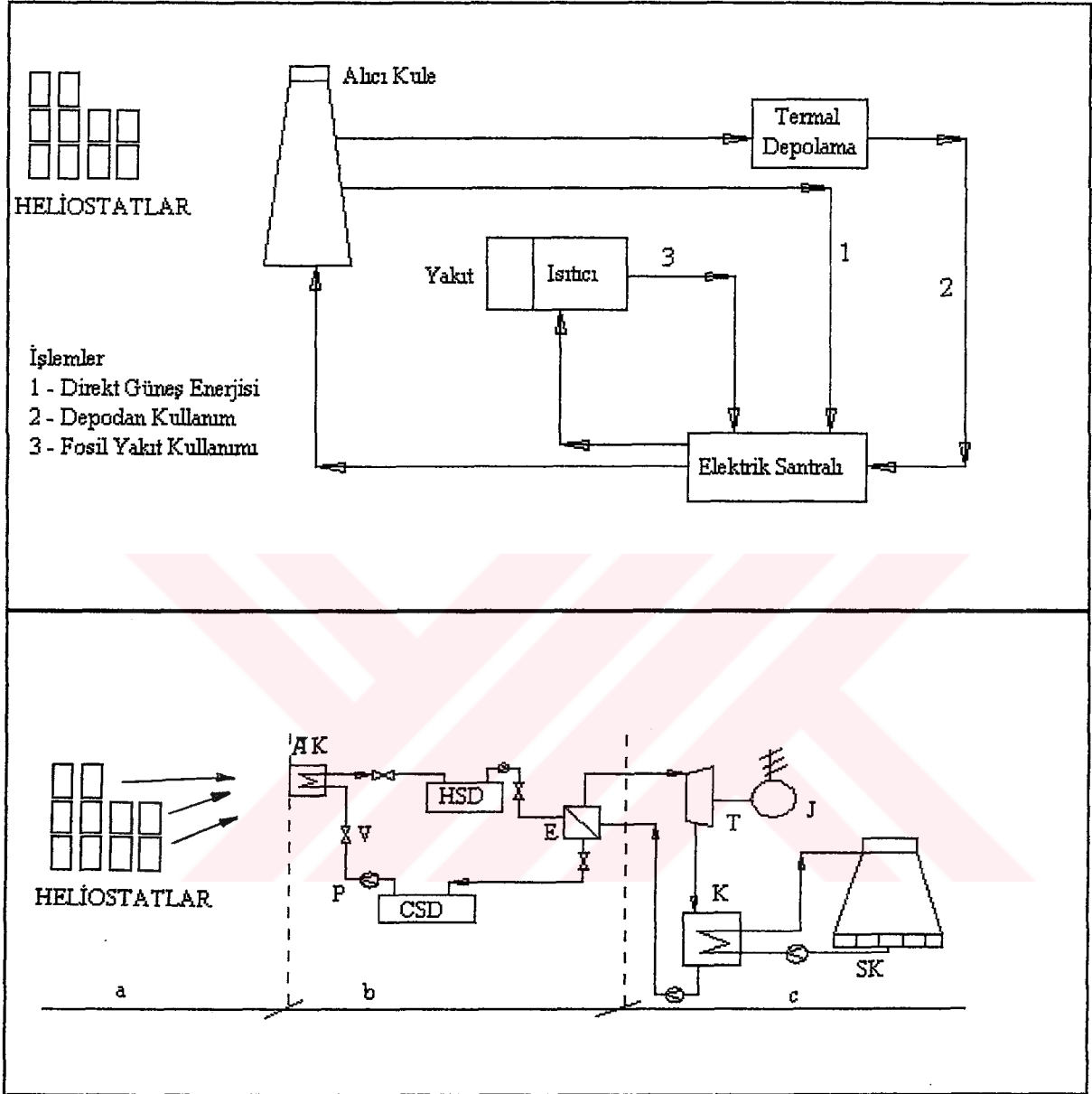


Şekil 2.10 Elektrik üreten bir güneş çiftliğinin çalışma prensibi

Tablo 2.3 Elektrik üreten çeşitli güneş çiftliklerine ait bilgiler (Warfield, 1984)

Proje adı / Bulunduğu ülke	Güneş çiftliğinin gücü	Maliyeti (milyon \$)
Sicily (İtalya)	1 MW	12
Targosanne (Fransa)	2 MW	18
Almeria II (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	-

Güneş kuleli bir sistemde bulunan 3 alt sistem Şekil 2.11'de görülmektedir.



Şekil 2.11. 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  $2400 \$/m^2$  iken bugün  $600 \$/m^2$  civarındadır. Sürekli gelişen malzeme

teknolojisi sayesinde, bu fiyatların çok daha aşağılara çekilmesiyle üretilen elektriğin maliyeti ucuzlayacaktır(Warfield, 1984). Tablo 2.4’de çeşitli kuleli güneş santrallerine ait karakteristik bilgiler verilmiştir.

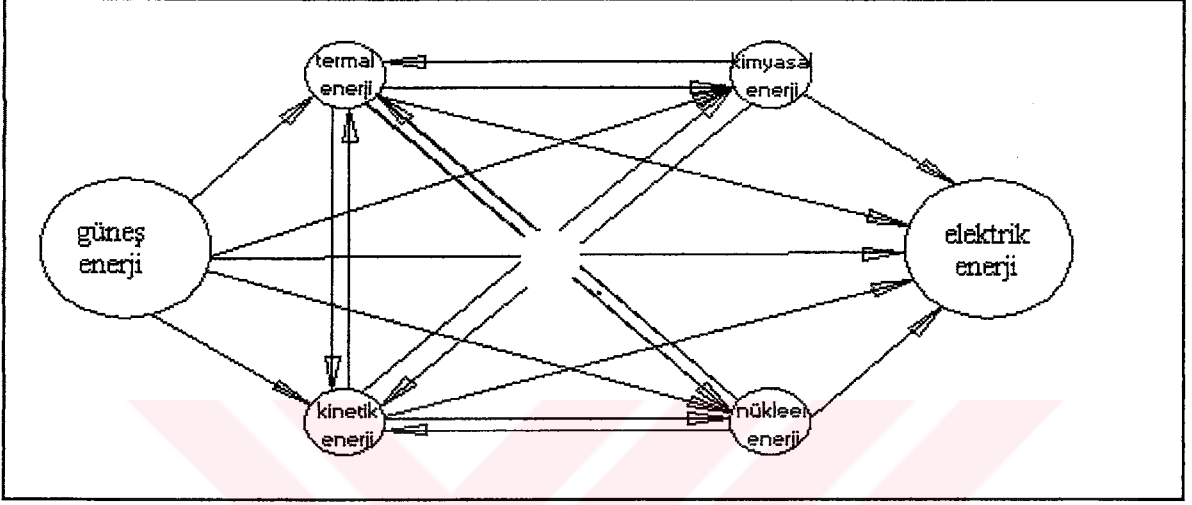
**Tablo 2.4. Çeşitli kuleli güneş santrallerine ait karakteristik bilgiler(Warfield, 1984)**

<i>Proje Adı</i>	<i>Güç</i>	<i>Heliostat sayısı</i>	<i>Heliostat alanı(m<sup>2</sup>)</i>	<i>Kule yüksekliği (m)</i>
Almeria I	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).

### 3. GÜNEŞ ENERJİSİNİN ELEKTRİK ENERJİSİNE DÖNÜŞTÜRÜLMESİ

Bu bölümde güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi ve bunun için gerekli aşamalar incelenecektir. Şekil 3.1’ de güneş enerjisinden doğrudan veya dolaylı olarak hangi aşamalardan sonra elektrik enerjisinin elde edilebileceği görülmektedir.



Şekil 3.1. Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürme aşamaları.

Şekilden de anlaşıldığı gibi, güneş enerjisi birkaç aşamadan sonra da elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Fakat verimin oldukça yüksek olması ne kadar az aşamanın kullanıldığına bağlıdır. Diğer taraftan, güneş enerjisi, doğrudan fotovoltaik yolla elektrik enerjisine dönüştürülebilir (Kettani, 1970).

#### 3.1. Güneş Enerjisinden Doğrudan Elektrik Üretimi

Güneş enerjisinin doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmesi birçok ara aşamayı ortadan kaldırmakta ve böylece verimin yüksek olması sağlanabilmektedir. Bu ise elektromanyetik enerjiyi elektrik formuna doğrudan dönüştüren fiziksel proseslerin kullanılması anlamına gelmektedir. Böyle bir proses Carnot çevriminin limitlerine bağlı değil

ve potansiyel olarak daha verimlidir. Güneş enerjisinin doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmesinde dört temel yöntem kullanılmaktadır. Bunlar;

- Fotovoltaik yöntem (Güneş Pili)
- Fotoemitik yöntem
- Fotogalvanik yöntem
- Fotomanyetik yöntemdir.

### **3.1.1. Fotovoltaik Yöntem(Güneş Pilleri)**

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 katkılандırılmış 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 çok önemli bir yer tutan Silikon (Si), Galyumarsenik (GaAs), Kadmiyumtelürit (CdTe) ve Bakırindiyumdiselenit (CuInSe<sub>2</sub>, "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.

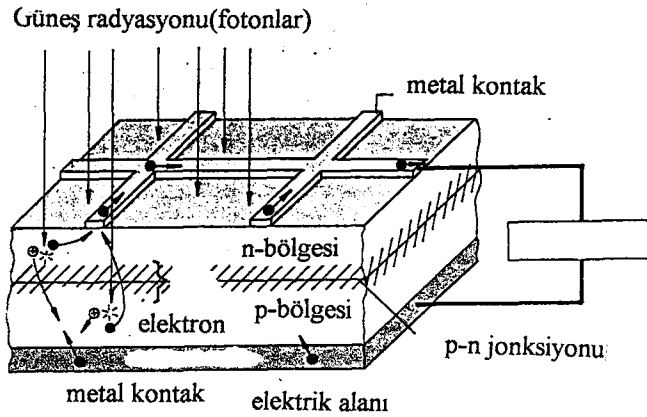
#### **3.1.1.1. Güneş pillerinin çalışma prensibi**

Güneş pili, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren bir yarı iletken kristaldir. Bugün en yaygın biçimde kullanılan güneş pili, silikon kristallerinden elde edilmektedir. Üzerine ışık gelen Si kristalin 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.

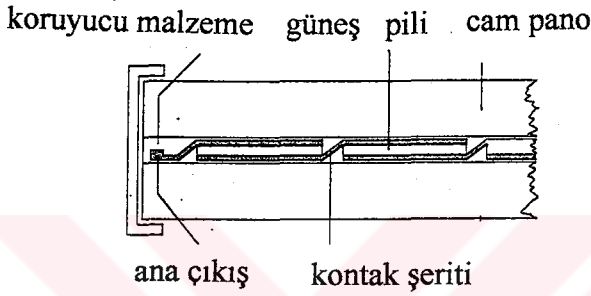
Fotovoltaik etki (güneş pili) bir yarı iletkendeki p-n dokunma yüzeyi (jonksiyonu) için kolayca tanımlanabilir. Silisyum gibi tipik bir yarıiletken, silisyum atomunun dört valans elektronunun herbiri kimyasal bir bağla bir diğerine bağlıdır ve mutlak sıfır durumunda hiç serbest elektron yoktur. Eğer 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) katkılandırılırsa bu kısmında elektron eksikliği oluşur. Bu durumda p-tipi yarıiletken oluşmuş olur. 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 yarıiletken 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 3.2'de bir güneş pilinin çalışma prensibi verilmiştir.



Şekil 3.2. Bir güneş pilinin çalışma prensibi.

Standart ölçülerde ( $10 \times 10 \text{ mm}^2$ ) bir güneş pili,  $1000 \text{ W/m}^2$  yoğunluğunda gelen güneş ışınımı altında (Bir yaz günü öğle saatlerinde alınan güneş ışınımını civarında bir değer), 0,5-0,6 V doğru gerilim ve 2-3 A doğru akım(DC) üretir. Diğer bir deyişle, güneş pilleri güneş enerjisini yaklaşık %15-22 verimle elektrik enerjisine dönüştürürler. Uygun sayıda güneş pilleri 14-17 V gerilim üretmek üzere seri bağlanarak “solar modül” ler oluşturulur. Bu solar modüller ise seri ve/veya paralel bağlanarak istenilen güç elde edilebilir. Şekil 3.3’de solar modüllerin oluşturulması prensibi verilmiştir.



Şekil 3.3 Solar modüllerin yapım prensibi

### 3.1.1.2. 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 ederler.

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; 80-120W/m<sup>2</sup> güç yoğunluğuna sahip olan düz güneş pilleri (flat plate solar cells) ve optik sistemin verimine bağlı olarak 250 W/m<sup>2</sup>'den daha fazla güç yoğunluğuna sahip olan toplayıcısı 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.

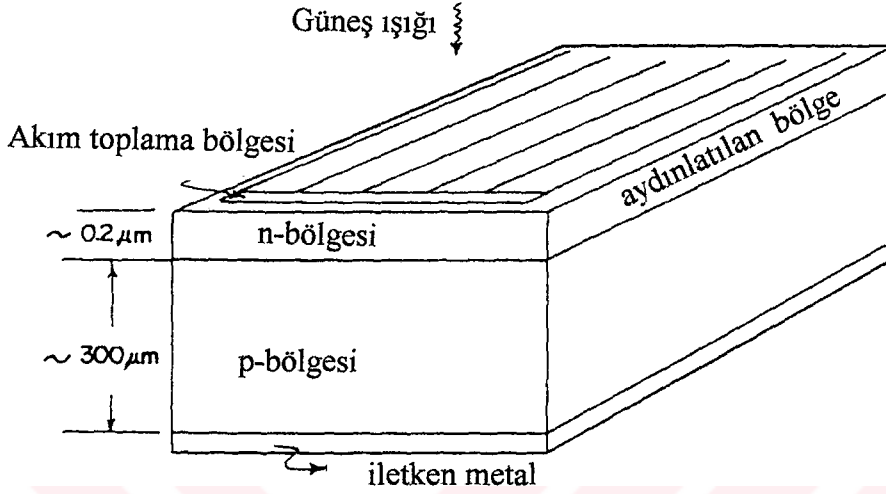
### ***3.1.1.2.1 Tek kristalli (mono crystalline) güneş pilleri***

#### **A) 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 band 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 3.4 'de tipik bir p-n jonsiyonlu pil görülmektedir.



Şekil 3.4. Tipik bir p-n jonsiyonlu pil(Backus, 1977).

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

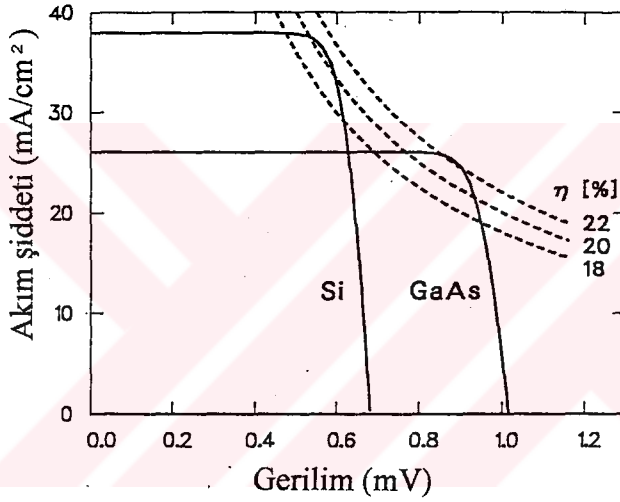
#### B) Tek kristalli Galyum -Arsenik (GaAs) piller

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 band boşluğu (yaklaşık 1.4 eV), silisyumdan (yaklaşık 1.1eV) daha yüksektir. Aynı şekilde, GaAs pillerin verimlerinde (%22), silikon pillerin verimlerinden (%19) daha yüksektir. GaAs pillerin silikon pillerden bir diğer avantajı ise, verimin sıcaklığın artmasıyla çok fazla

değişmemesidir. Tablo 3.1 ve Şekil 3.5' de GaAs ve silikon pillerin performansları karşılaştırılmaktadır.

**Tablo 3.1. GaAs ve Si güneş pillerin performanslarının karşılaştırılması (Pytlinski,1985).**

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



Şekil 3.5. GaAs ve silikon pillerin performansları (Reisenhuben, 1992)

### 3.1.1.2.2. Çok kristalli(multicrystalline) ve amorf(amorphous) güneş pilleri

#### A) Çok kristalli (multicrystalline) silikon piller

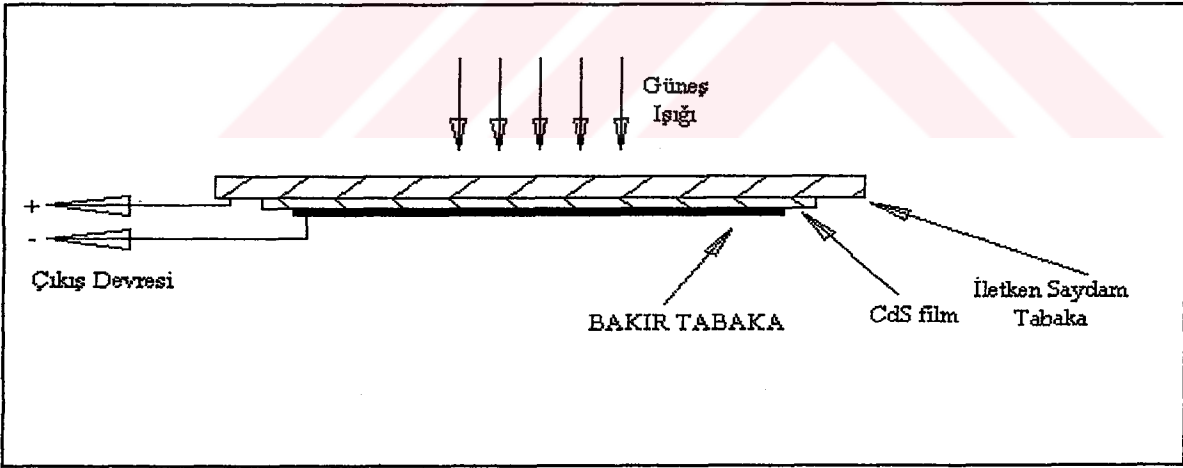
Yüksek performanslı piller için, çok kristalli film hazırlanması sırasında kontrol altında tutulması gereken birçok değişken vardır. Bunlardan bazıları şu şekilde sıralanabilir: Film

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.

### B) Çok kristalli Kadmiyum Sülfid / Bakır Sülfid piller

Kadmiyum sülfid güneş pilleri,  $\text{Cu}_2\text{S}$  ve  $\text{CdS}$ 'den oluşan heterojonsiyon bir yapıdır. Şekil 3.6'da Kadmiyumsülfid / Bakırsülfid bir güneş pilinin şeması yer almaktadır. Bu pillerin aktif bölgesi, biraz daha kalın olan kadmiyum sülfid ( $\text{CdS}$ ) filmin üzerine 100-300 nm kalınlığında bir bakır sülfid ( $\text{Cu}_2\text{S}$ )'in yerleştirilmesiyle oluşturulur. Işık  $\text{Cu}_2\text{S}$  tabakasınınca absorbe edilir.  $\text{Cu}_2\text{S}$ '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  $\text{CdS}$  ince bir  $\text{Cu}$  tabaka üzerinde buharlaştırılır ve  $\text{Cu}_2\text{S}$  tabakası yüksek sıcaklıkta bir iyon çözeltisi içine daldırılarak oluşturulur. Ek işlemler olmaksızın, buharlaşan tabakalar, kadmiyum fazlalığı sebebiyle oldukça iletkenir.



Şekil 3.6. Kadmiyum sülfid bir güneş pilinin şeması

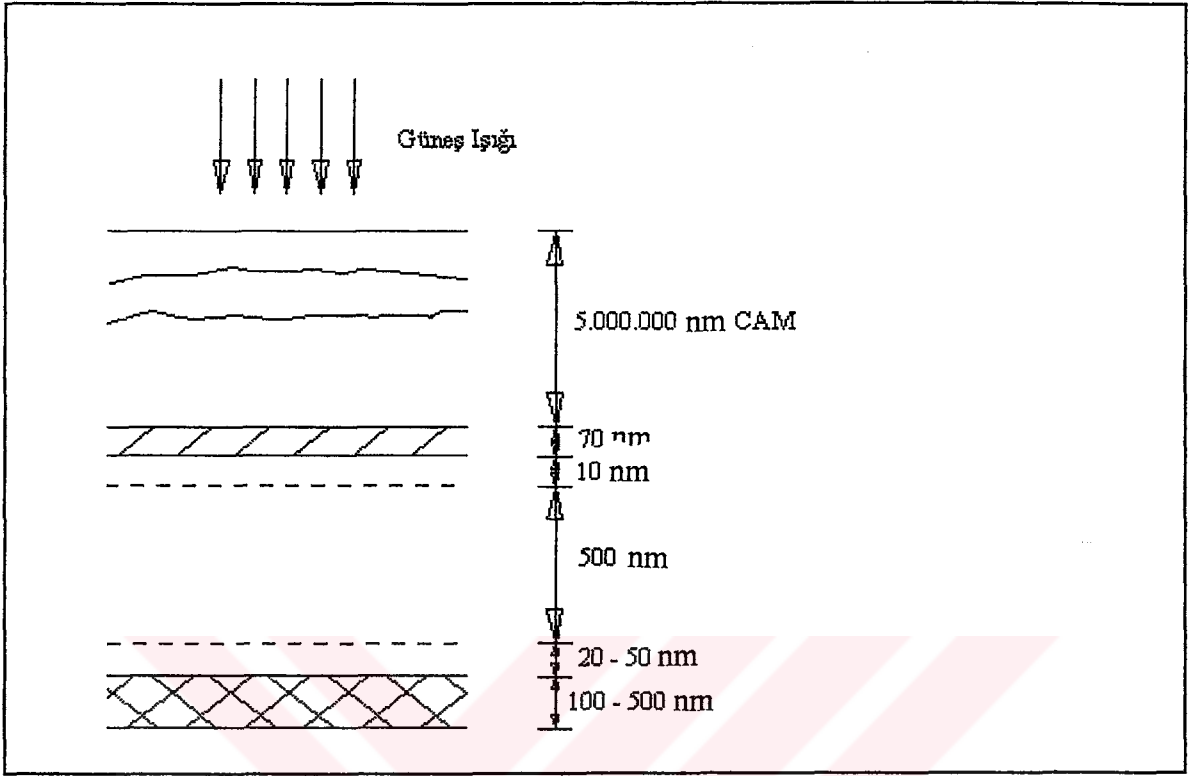
$\text{Cu}_2\text{S}$  piller, oksijene ve su buharına karşı çok iyi korunmalıdır, ancak yansımayı önleyici bir tabakaya ihtiyacının olmaması büyük bir avantajdır. Çünkü pil yüzeyi pürüzlüdür. Laboratuvar şartlarında bir  $\text{Cu}_2\text{S}/\text{CdS}$  güneş piliyle yaklaşık %8,6'lık verim elde edilmiştir. Ayrıca, 1.2-1.4 eV arası bir enerji boşluğuna sahip olan Kadmiyum Telürit ( $\text{CdTe}$ ) güneş pilleri, %26 teorik dönüşüm verimi ile son yıllarda oldukça ilgi çekmektedir.

### C) Amorf (Amorphous) silikon piller

Şekil 3.7' de tipik bir amorf silikon güneş pilinin yapısı görülmektedir. Bu piller cam üzerine yerleştirilmiş 3 ince tabakadan oluşmaktadır. Birinci tabaka, yaklaşık olarak 70 nm kalınlığındaki saydam iletkendir. İkincisi, fotovoltaik aktif olan amorf silikon tabakadır. Bu ikinci tabakada 3 alt tabakaya ayrılabilir: (1) 10 nm kalınlığındaki p tipi kontak tabakası, (2) 500 nm kalınlığındaki gerçek tabaka ve (3) 20-50 nm kalınlığındaki n-tipi kontak tabakasıdır. En son tabaka ise 100-500 nm kalınlığında alüminyum veya yansıtma özelliği olan diğer bir tabakadır.

1  $\text{cm}^2$  alanlı amorf silikon güneş pilleri için elde edilebilen 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  $\text{cm}^2$  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, her yıl %5 verim kaybı oluşması ve ömürlerinin belirsiz olmasıdır (Çolak, 1991).



### 3.1.1.3. Güneş pillerinin verimi

Güneş ışığının fotonları aşağıdaki şekilde ifade edilen bir enerjiye sahiptir ;

$$E = h \cdot f > E_g \quad (3.1)$$

Bu formülde ;

$E$  = Fotonun enerjisi

$f$  = Işığın frekansı

$h$  = Plank sabiti

$E_g$  = Yarı iletken malzemenin enerji band boşluğu-genişliği

Işığın fotovoltaiik pil yüzeyine çarpmasıyla pil malzemesindeki elektronlar kovalent bağlarından koparlar.Farklı yarıiletken malzemeleri için, elektronların koptukları enerji band genişlikleri de farklı olmaktadır. Silisyum için enerji band genişliği değeri,  $E_g=1,1eV$ 'dur ( $T=300^\circ K$ ). Bu yüzden  $1,13 \mu m$ 'den daha küçük dalga boylu olan ışık, bu malzemedeki elektronları kovalent bağlarından koparabilmektedir. Galyumarsenik için  $E_g = 1,4 eV$ , diğer fotovoltaiik malzemeler için ise, bu değer  $0,6-2,6 eV$  arasında değişmektedir.

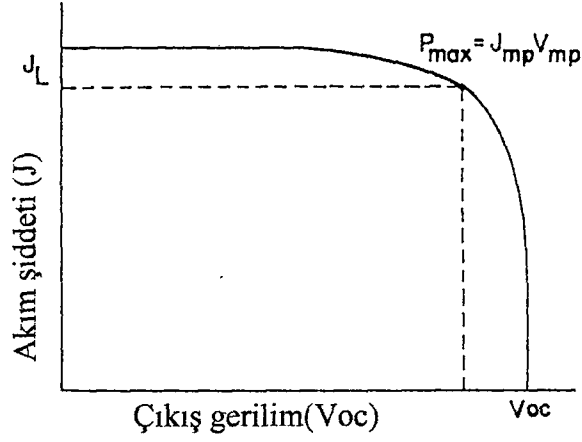
Bir elektron uyarıldığında, elektronun bulunduğu valans bandında oyuk(hole) adı verilen bir boşluk oluşur. Oyuğun yakınında bulunan bir elektron, bu oyuğu doldurur ve bu elektronun koptuğu valans bağında yine bir oyuk oluşur. Bu oyukta başka bir elektron tarafından doldurulur ve bu proses böylece sürer. Fotovoltaiik 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.

Fotovoltaiik pil kısadevre 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 fotovoltaiik 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, ışığın ürettiği akım( $J_L$ ) ile pilin karanlık sürüklenme akımı( $J_D$ ) arasındaki fark olur. Bu durum aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$J = J_L - J_D \quad (3.2)$$

Şekil 3.8'de değişik yük durumları için bir fotovoltaiik pilin J-V karakteristiği görülmektedir.



Şekil 3.8. Değişik yük durumları için fotovoltaiik pilin Akım-Gerilim(J-V) karakteristiği.

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

$$J = J_L - J_D \left( \exp \frac{q \cdot V_L}{k \cdot T} - 1 \right) \quad (3.3)$$

Bu formülde ;

$J$  = Net akım

$J_L$  = Işık altındaki akım

$J_D$  = Karanlıktaki akım

$V_L$  = Yüke uygulanan gerim

$k$  = sabit ve  $T$  = Sıcaklık.

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

$$V_{oc} = \left( \frac{k \cdot T}{q} \right) \left( \frac{J}{J_D} + 1 \right) \quad (3.4)$$

olur. Çıkış gücü ise, şu şekilde ifade edilebilir;

$$P_L = J^2 \cdot R_L \quad (3.5)$$

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

$$\frac{dP_L}{dR_L} = 0 \quad (3.6)$$

Fotovoltaik pilin maksimum gücü ise, şu şekilde ifade edilebilir;

$$P_{\max} = J_{mp} \cdot V_{mp} \quad (3.7)$$

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

$$\exp\left(\frac{q \cdot V_{mp}}{k \cdot T}\right) \left(\frac{q \cdot V_{mp}}{k \cdot J} + 1\right) = \exp\left(\frac{q \cdot V_{oc}}{k \cdot T}\right) \quad (3.8)$$

$$R_{Lmp} = \left(\frac{k \cdot T}{q \cdot J_D \cdot T_A}\right) \cdot \exp\left(\frac{-q \cdot V_{mp}}{k \cdot T}\right) \quad (3.9)$$

Burada;

A = Fotovoltaik pilin yüzey alanı( $m^2$ )

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

Herhangi bir fotovoltaik pilden elde edilebilecek maksimum güç, pilin aydınlatılma durumundaki akım-gerilim eğrisininden elde edilebilen en büyük dikdörtgenle belirlenir (Şekil 3.8). Bu dikdörtgen yardımıyla belirlenen  $V_{mp}$  gerilimi ve  $J_{mp}$  akımı, fill faktörü (FF) olarak adlandırılan başka bir faktörü tanımlar;

$$FF = \left( \frac{V_{mp} \cdot J_{mp}}{V_{oc} \cdot J_L} \right) \quad (3.10)$$

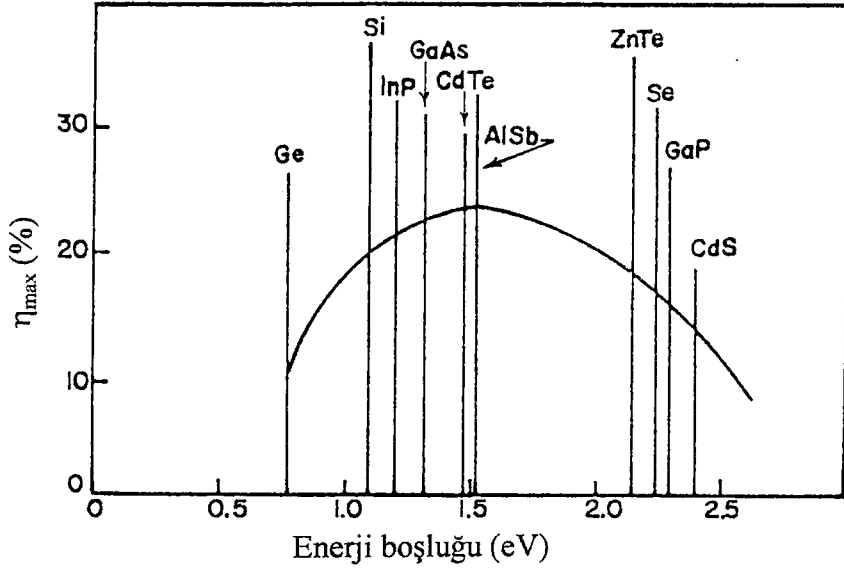
Burada,  $J_L \cong J_{sc}$ 'dir.

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 verim aşağıdaki gibi tanımlanır ;

$$\eta = \frac{V_{mp} \cdot J_{mp}}{\text{Giriş enerjisi}(P_g)} \quad (3.11)$$

$$\eta = \frac{E_g \cdot VF \cdot FF \cdot J}{P_g} \quad (3.12)$$

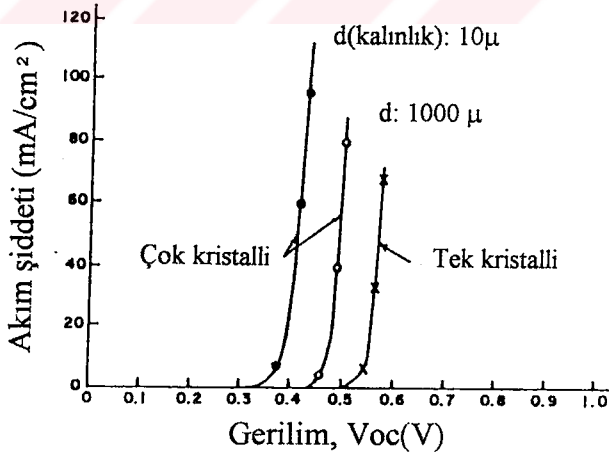
Güneş ışığı yoğunluğunun düşüklüğü ve sınırlı dönüşüm verimi sebebiyle, günümüzün fotovoltaik pilleri, metrekare başına sadece 250W'a kadar güç üretebilmektedir. Şekil 3.9'da çeşitli güneş pilleri için enerji boşluk değerleri ve maksimum teorik verimler görülmektedir.



Şekil 3.9.Çeşitli fotovoltaik piller için enerji boşluk ve maksimum teorik verim değerleri(Backus, 1977).

Kayıplarında gözönüne alırsak, bir fotovoltaik pilin verimini etkileyen parametreleri şu şekilde sıralayabiliriz;

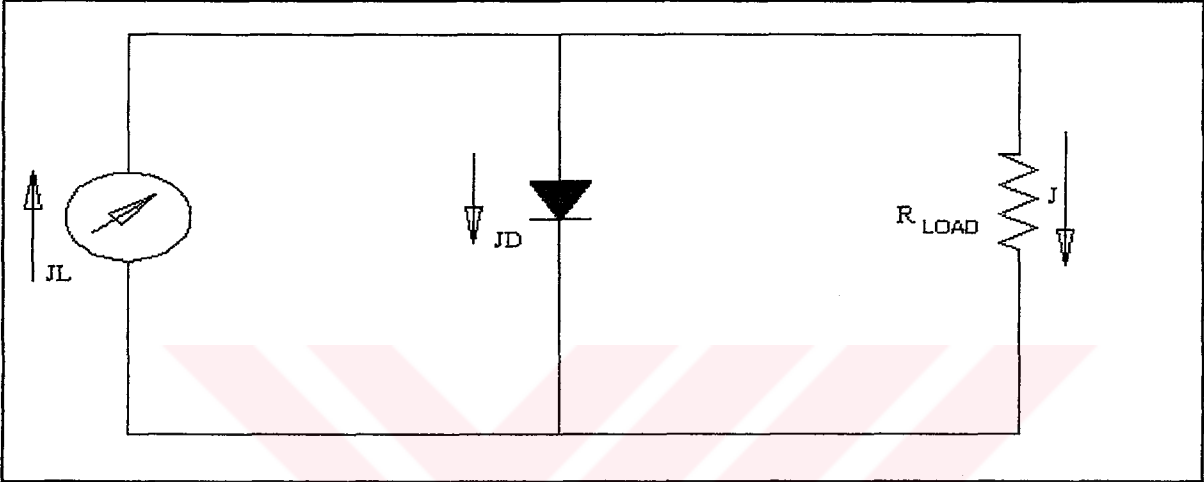
A) Açık devre gerilimi: Enerji band boşluğunun genişlemesiyle  $V_{oc}$ 'de büyümektedir. Ayrıca Şekil 3.10'da görüldüğü gibi, kalınlığın artmasıyla  $V_{oc}$  artmaktadır.



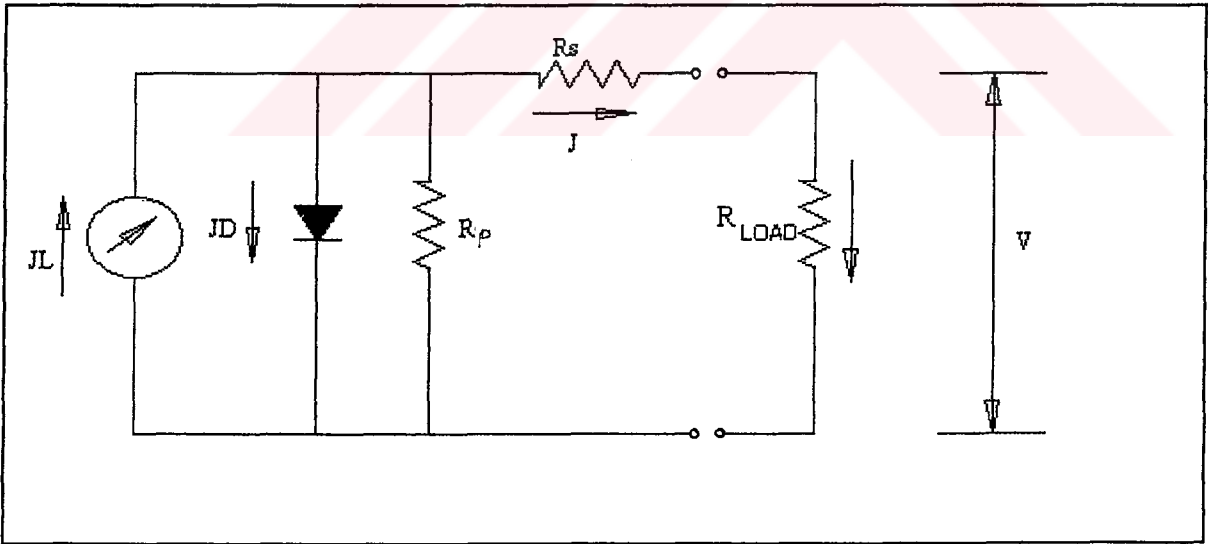
Şekil 3.10.Çok ve tek kristalli piller için gerilim( $V_{oc}$ ) ve akım(J) arasındaki ilişki.

B) Kısa devre akımı :

C) Seri( $R_s$ ) ve paralel( $R_p$ ) dirençler : Şekil 3.11'de p-n jonksiyonlu bir fotovoltaiik pil için seri ve paralel dirençsiz bir devre, Şekil 3.12'de ise seri ve paralel dirençli bir devre yer almaktadır(Veziroğlu, 1987).



Şekil 3.11. p-n jonksiyonlu bir fotovoltaiik pil için seri ve paralel dirençsiz bir devre



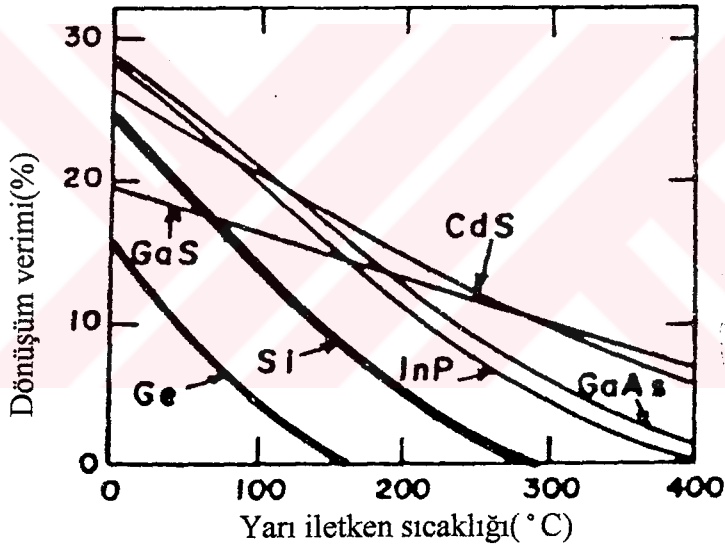
Şekil 3.12. p-n jonksiyonlu bir fotovoltaiik pil için seri ve paralel dirençli bir devre

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.

#### D) Akım ve Gerilim kayıpları

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

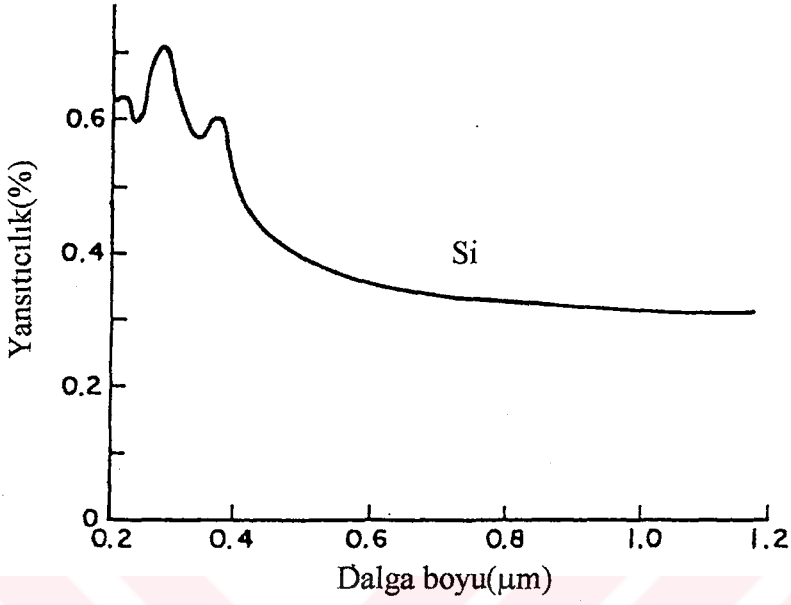
b) Düşük ve yüksek sıcaklık kayıpları: Güneş pili sıcaklığının düşük olmasının pil verimini olumsuz yönde etkilemesinin yanında, Şekil 3.13'den anlaşıldığı gibi yarıiletken malzeme sıcaklığının artmasında verimi azaltmaktadır.



Şekil 3.13. Yarıiletken sıcaklığının güneş pili verimine etkisi

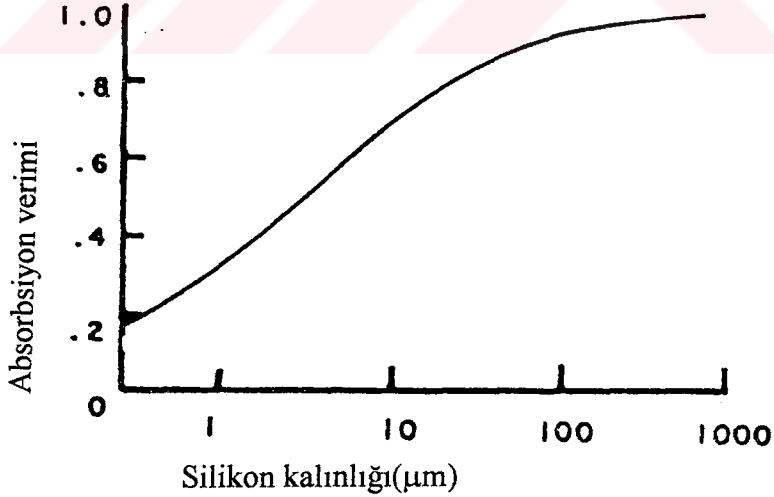
c) Yansımaya kayıpları: Fotovoltaik pillerin yansıtıcılığı, üzerine düşen güneş ışığının dalga boyu ile değişmektedir. Şekil 3.14'de görüldüğü gibi, güneş ışığının dalga boyunun değişmesiyle silikonun yansıtıcılığı %36-70 arasında değişmektedir. Bu değer, yüzeyin

yansıtmayan tabaka (antireflective coating) ile kaplanmasıyla ancak % 5 oranında azaltılabilmektedir.



Şekil 3.14. Güneş ışığı dalga boyunun silikonun yansıtıcılığına etkisi.

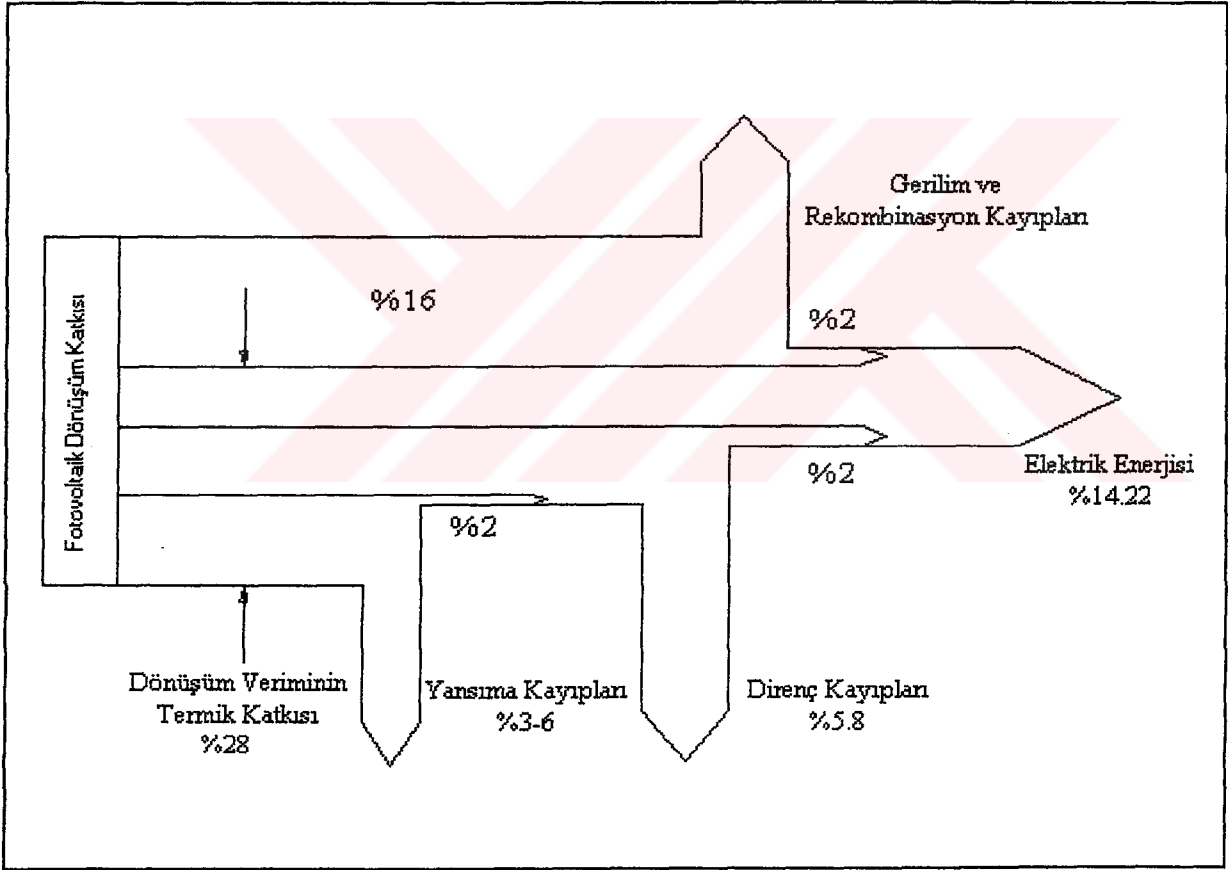
d) Fotonların absorpsiyonu sırasında oluşan kayıplar: Güneş pili kalınlığının artması, absorbe edilen güneş ışınımı miktarını arttıracığından verimi düşürecektir. Şekil 3.15'de bu kalınlığın, absorbe edilen ışığı ne şekilde etkilediği görülmektedir.



Şekil 3.15. 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 3.16'da 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.

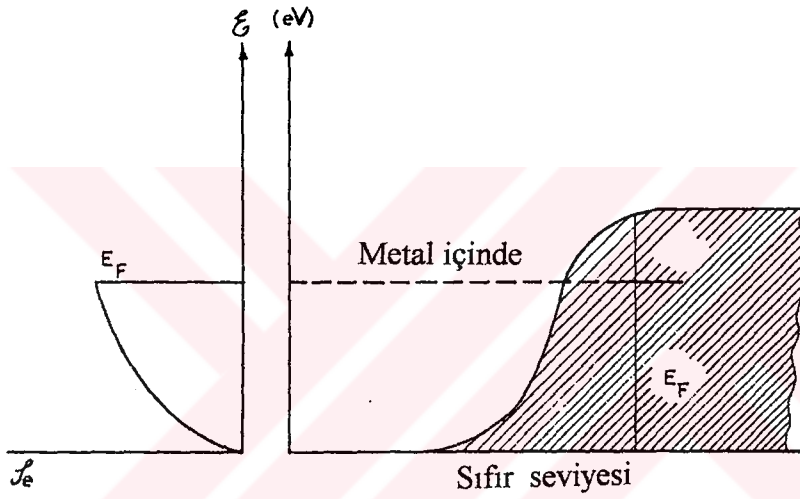
İnce film pilleri çok az miktarda aktif fotovoltaik malzemeye ihtiyaç duyduklarından, üretim maliyetleri tek kristalli silikon pillerinden çok daha düşüktür.



Şekil 3.16 Fotovoltaik enerji dönüşüm verimi ve kayıpları(Çolak, 1991).

### 3.1.2. Fotoemitik Yöntem (Fotoemissive conversion)

Elektronik radyasyon yoluyla, katı veya sıvıların yüzeyinden elektronların kopmasıyla (ayrılmasıyla) fotoemitik etki oluşur (Jensen ve Limensky,1960). Şekil 3.17, mutlak sıfır sıcaklığında bir metaldeki serbest elektronlar için enerji-seviye diyagramını ve metalin yüzeyindeki potansiyel enerjiyi göstermektedir. Yani metaldeki elektronlar Fermi ( $\xi_F$ ) seviyesine kadar olan enerji seviyelerinde bulunabilirler. Bu en yüksek enerji seviyesinin üzerinde elektronlar yoktur.



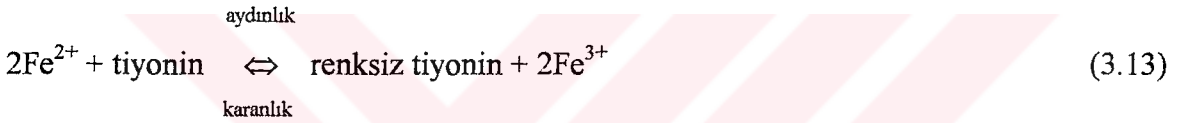
Şekil 3.17 Mutlak sıfır sıcaklığında, fotoemitik etki için enerji-seviye diyagramını

$h\nu$  enerjisindeki bir foton, metalin yüzeyine çarptığında, en yüksek enerjiye sahip elektron tarafından absorbe edilir ve neticede  $(h\nu - \xi_w)$ 'ye eşit veya daha düşük bir kinetik enerjiyle yüzeyden ayrılır. Burada,  $\xi_w$ , metalin çalışma fonksiyonudur (work function). Bu durumda kopan elektronun maksimum enerjisi, radyasyonun frekansı ile doğru orantılı olarak değişir ve ışığın yoğunluğuna bağımlı değildir. Ancak ışığın yoğunluğundaki artış, absorbe edilen fotonların sayısında bir artış anlamına gelmektedir. Bu ise, birim zamanda kopan elektron sayısında orantısız bir artış anlamına gelmektedir.

### 3.1.3. Fotogalvanik Yöntem (Photogalvanic conversion)

Uygun indirgen madde ile katkılandırılmış bazı boyaların sulu çözeltileri aydınlatıldığında(güneş ışığına maruz bırakma v.b), bu indirgen madde boyaya bir elektron transfer ederek bu boyayı indirger. Aydınlatma kesildiği an reaksiyon ters döner. Bu reaksiyon tekrar tekrar sonsuz kere tekrarlanır (Saucer, 1958).

Böyle bir reaksiyonda boya olarak tiyonin(thionine) ve indirgen madde olarak da  $Fe^{2+}$  iyonu kullanılabilir. Tiyonin mor(ergüvani) rengindedir, fakat aydınlatıldığında  $Fe^{2+}$  iyonları tiyonini indirgeyerek renksiz(leukothionine) yapar. Burada, her demiriki iyonu( $Fe^{2+}$ ) bir elektron kaybeder ve demirüç iyonu ( $Fe^{3+}$ ) meydana gelir. Karanlıkta, bu reaksiyon birkaç dakikada kendi kendine tersine çalışmaya başlar. Bu olay şöyle ifade edilir;



Renksiz çözeltilerin gerilimi renkli çözeltilinkinden 0.4 V daha düşük (negatif) değerdedir.

Bir fotogalvanik pil, boya ve indirgen maddelerin sulandırılmış çözeltilisine daldırılmış iki inert elektrottan oluşur. Elektrotlardan biri güneş ışığına maruz bırakılırken, diğeri karanlıkta bırakılır. Güneş ışığı etkisi altında, aydınlatılan (güneş enerjisine maruz bırakılan) elektrotta elektronlar açığa çıkar ve iki elektrot arasında gerilim farkı görülür. Karanlık ve aydınlık elektrotlar arasında bir dış yük bağlandığında, karanlık elektrota doğru elektronların hareket etmesi nedeniyle bu dış devrede bir akım oluşur.

Aydılatılmış elektrottan karanlıktaki elektrodta doğru olan bu elektron transferinin bir sonucu olarak, sulandırılmış çözeltilinin aydınlatılmış kısmında yüksek değerli iyonlar ( $Fe^{2+}$  gibi) birikir. Bu olay, boyanın indirgenmesi sebebiyle oluşan potansiyeli azaltacak veya ortadan kaldıracak yönde bir gerilim yaratacaktır. Bu büyüklükteki bir polarizasyonu yok etmek için birçok yaklaşım vardır. Bunlardan birisi, her dönüşümde (reaksiyonda)

elektrodların rollerinin değiştirilmesiyle, eklektrodların sırayla aydınlatılmasıdır. Bu durumda alternatif akım üretilmiş olur.

#### **3.1.4. Fotomanyetik Yöntem (*Photomagnetic conversion*)**

Fotomanyetik etki güneş ışığına doğrudan elektrik enerjisine dönüştürebilir. Çok düşük sıcaklıklardaki (dondurucu sıcaklıklar) bakıroksit plakası, eğik bir manyetik alan içine yerleştirilir ve aksenal yönde aydınlatılırsa, hem ışık hem de manyetik alana doğru dikey yönde bir potansiyel farkı yaratılmış olur (Kikion et al, 1934).



#### 4. GÜNEŞ ENERJİSİNDEN YARARLANARAK HİDROJEN ÜRETİMİ

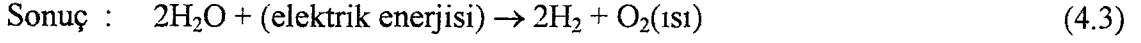
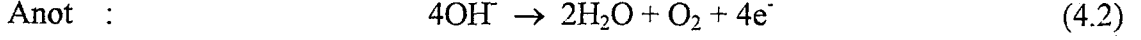
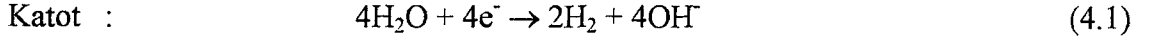
Güneş enerjisiyle, bugün ihtiyaç duyulan enerjinin ancak bir miktarı elde edilebilmektedir. Güneş enerjisinden sadece gündüzleri yararlanılabilme dezavantajına karşılık, temiz ve tükenmez bir kaynak olması, taşınmasının ve depolanmasının mümkün olması büyük avantajlardır. Taşınabilirlik ve depolanabilirlik açısından, güneş enerjisiyle hidrojen üretimi önemle üzerinde durulması gereken bir yöntemdir. Çünkü, hidrojen doğrudan yakıt olarak kullanılabilir, elektrik üretilebilir ve ekonomik olarak taşınabilir.

Günümüzde, güneş enerjisinden faydalanarak hidrojen üretiminde 4 ana yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler, termokimyasal, elektrolitik, termal ve fotolitik yöntemlerdir.

Şekil 4.1’de güneş enerjisinden doğrudan veya dolaylı olarak nasıl yararlanılabileceği görülmektedir. Şekilden de anlaşıldığı gibi, güneş enerjisinin belirli bir miktarı herhangi bir yöntemle (örneğin; fotovoltaiik yöntem-güneş pili) elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Güneş enerjisinin büyük bir miktarı ise, “su” dan hidrojen üretiminde kullanılabilir. Elde edilen hidrojen, gaz fazında boru hatlarıyla, sıvı fazında tankerler yardımıyla enerjinin kullanılacağı yerlere sevk edilebilir. Daha sonra ise, bu hidrojen evlerde, taşıtlarda veya elektrik üretiminde kullanılabilir. Hidrojen üretimi esnasında oksijen de elde edilerek, göl ve ırmaklardaki oksijen miktarının artırılması ve doğal hayatın canlandırılması sağlanabilir. Hidrojen kullanıldıktan sonra, (oksijenle birleşerek) su buharı veya su haline gelir. Buradan da anlaşıldığı gibi, güneş enerjisinden hidrojen üretimi tamamen temiz ve tükenmez bir enerji üretim tekniğidir.

Bugün, hidrojen üretimi  $1,26 \times 10^7$  cal/yıl’ dır ve Dünya’da ihtiyaç duyulan toplam enerjinin %75’inin hidrojen ile karşılanabilmesi için, 2050 yılına kadar bu miktarın  $5,9 \times 10^{20}$  cal/yıl değerine ulaşması gerekmektedir. Bu enerjinin elde edilebilmesi için ise, (kullanılan yöntemle bağlı olarak) toplam dünya yüzeyinin %0,5-1’inin güneş kolektörleri ile kaplanması gerekmektedir (Veziroğlu et al, 1977).





Bu yöntemle hidrojen (+oksijen) üretimi, güneş enerjisinin depolanması ve taşınmasını daha verimli kılmaktadır. Ancak bu yöntemde, güneş enerjisi önce elektrik enerjisine(DC) dönüştürülmeli ve daha sonra elektroliz yoluyla hidrojen üretilmelidir.

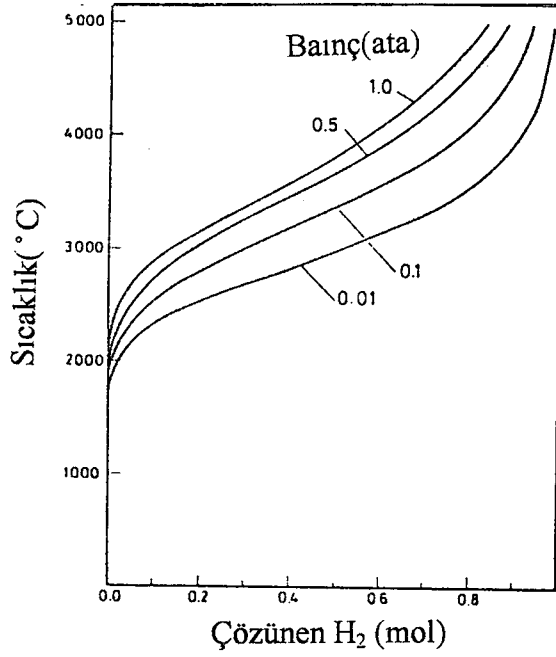
Günümüzde, elektroliz malzemelerinin verimleri %60-70 arasındadır. Bu ise, termal verimin (güneş enerjisinin hidrojene dönüşüm verimi) %25-30 olmasına imkan vermektedir. Yüksek sıcaklık ve basınçta elektroliz yapılabilmesi gibi teknolojik gelişmelerle, bu verim %40-42'ye ulaşabilmektedir.

#### 4.2 Termal yöntem

Su(buhar) 3000 °K veya daha yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılırsa, hidrojen ve oksijen çözünmeye başlar. Bu çözünme reaksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir;



Denklemden,  $n_1$ ,  $n_2$  ve  $n_3$  mol katsayılarıdır ve ürünler gaz fazındadır. Şekil 4.2'den de görüldüğü gibi, sabit sıcaklıkta ve düşük basınçlarda çözünen  $\text{H}_2$  miktarı daha fazla olmaktadır.



Şekil 4.2 Suyun çözünme sıcaklığının ve basıncının çözünen H<sub>2</sub> miktarına etkisi (Veziroğlu, 1977).

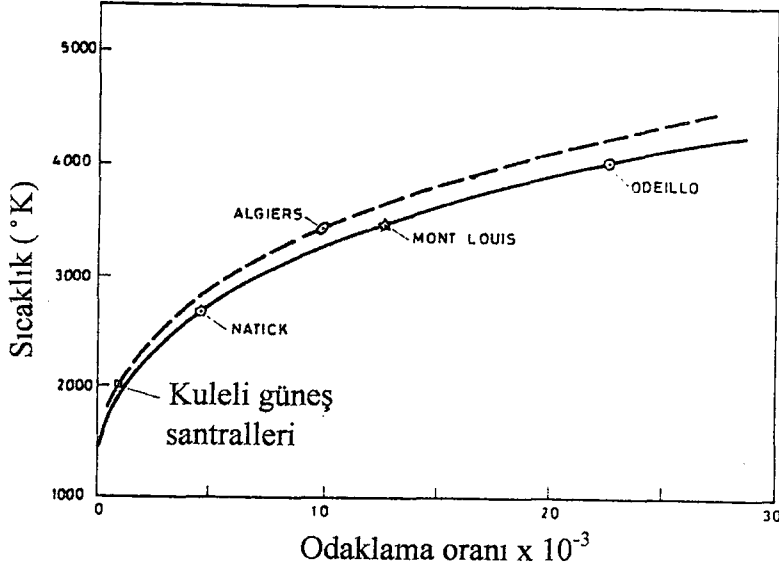
Hidrojenin çözünmesi için gerekli yüksek sıcaklıklar, ancak güneş enerjisini toplayan ve küçük bir bölgeye odaklayan optik sistemlerin kullanılmasıyla mümkün olmaktadır.

Optik sistemin odaklama oranı(C), elde edilmek istenen sıcaklığa bağlıdır ve parabolik aynalar için  $\alpha$  kenar açısı olmak üzere aşağıdaki şekilde bulunabilir (Duwez, 1963);

$$C = 46200 \sin^2 \alpha \quad (4.5)$$

Verimli bir hidrojen üretimi için, 3000 °K ve üzerindeki sıcaklıklar gereklidir. Bu yöntemle hidrojen üretiminde, 10000 ve daha büyük odaklama oranına ihtiyaç vardır. Şekil 4.3'da çeşitli odaklama sistemleri ve elde edilebilecek sıcaklıklar görülmektedir.

Termal yolla hidrojen üretiminin avantajları; yüksek termal verim, ara kimyasal maddelerin kullanılmaması ve hemen hemen hiç çevre kirliliği yaratmamasıdır. Diğer taraftan, bu yöntemin gerçek anlamda kullanılabilmesi, gerekli sıcaklık ihtiyaçlarına cevap verebilecek bir malzeme teknolojisinin gerçekleştirilebilmesi ile mümkündür.



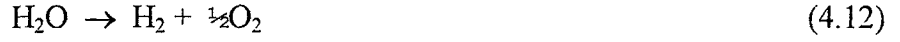
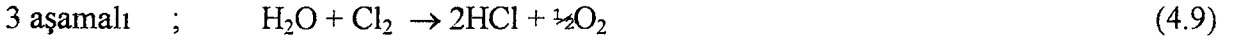
Şekil 4.3 Çeşitli odaklama sistemleri ve bu sistemlerde elde edilebilen sıcaklıklar (Güneş enerjisi: 1000 W/m<sup>2</sup>, — çift odaklamalı sistem, - - - tek odaklamalı sistem)

#### 4.3 Termokimyasal yöntem

Termal yolla hidrojen üretiminin çok yüksek sıcaklıklar gerektirmesi, termokimyasal yöntemin önem kazanmasını sağlamıştır. Bu yöntemde, su ve bir veya birkaç element veya bileşik ısıtılarak reaksiyona sokulur. Bu reaksiyon sonucunda, bileşiklerle beraber hidrojen ve/veya oksijen açığa çıkar. Bu reaksiyonda girenler ısı ve su olurken, ürünler hidrojen, oksijen ve az miktarda ısı olmaktadır.

Termokimyasal hidrojen üretimi için iki veya daha fazla kimyasal reaksiyon aşaması gereklidir. Aşağıda 2 ve 3 aşamalı hidrojen üretim örnekleri yer almaktadır.





Tablo 4.1'de çeşitli termokimyasal çevrimlerin özellikleri yer almaktadır. Tablodan da görüldüğü gibi, reaksiyonların aşama sayısı 3-5 arasında, maksimum sıcaklık 600-1673 °K arasında ve termal verim % 17,5-75,5 arasında değişmektedir .

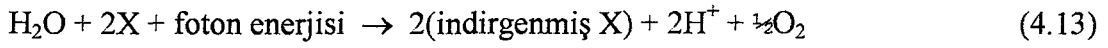
**Tablo 4.1 Çeşitli termokimyasal çevrimlerin özellikleri (Veziroğlu et al, 1977)**

<i>Referanslar</i>	<i>Çevrim tanımı</i>	<i>Reak. sayısı</i>	<i>Mak. Sıc. (° K)</i>	<i>Termal verim(%)</i>
Funk(1975)	Vanadyum klorit	4	1000	71,8
"	Bakır klorit	3	973	29,4
"	Karbon-buhar-demir	3	1673	75,5
"	Arsenik iodid-arsenik oksit	4	600	53,3
Pangborn&Sharer(75)	General Motors	4	1000	17,5
Chao ve Cox(1975)	Kalsiyum bromit	4	1000	59,0
"	Fe klorit oksit	5	923	53,0

#### 4.4 Fotoemitik yöntem

Güneş ışığının fotonları, belirli durumlarda su molekülleri tarafından absorbe edilir ve bu absorbe edilen enerji, belirli bir noktaya(68,3 kcal/mol su) ulaştığında, hidrojen açığa çıkar. Bu fotoliz olayı, güneş ışınlarından veya fotonlarından hidrojen elde etmede

kullanılabilir. Radyasyon spektrumunun ultraviyole bölgesindeki fotonlar, suyun fotolizi için ihtiyaç duyulan enerjiye sahiptir. Ultraviyole radyasyonun büyük bir kısmı atmosferin üst bölgelerinde genellikle su buharı tarafından absorbe edilir. Sonuç olarak, güneş spektrumunun ultraviyole bölgesinde yeryüzüne ulaşan güneş ışınlarının şiddeti çok düşüktür, ancak görünür bölgede çok yüksektir. Diğer taraftan, su görünür ışığa karşı tamamen saydamdır. Bu nedenle, suyun fotolizi için fotokatalizörler kullanılmalıdır. Böyle bir katalizörün görevi, güneş ışınlarını absorbe etmek ve bu enerjiyi suya aktararak suyun ayrışmasını sağlamaktır. Bir "X" fotokatalizörü kullanılan fotoliz reaksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır;



Tablo 4.2'de çeşitli fotokatalizörlerin gerçek ve teorik verimleri verilmiştir. Görüldüğü gibi, verimler oldukça düşük ve yarıiletken katalizörlerin verimleri diğerlerine göre daha yüksektir.

**Tablo 4.2 Çeşitli fotokatalizörlerin gerçek ve teorik verimleri (Veziroğlu et al, 1977)**

<i>Fotokatalizör tipi</i>	<i>Gerçek verim(%)</i>	<i>Teorik verim(%)</i>
Tuz bileşikleri	0,0024	3
Yarıiletkenler	0,82	28
Fotosentetik boyalar	?	7

## **5 GÜNEŞ ENERJİSİNİN DEPOLANMASI**

Güneş enerjisinin depolanmaması durumunda, güneş enerjisinin elde edildiği anda kullanılması zorunluluğu vardır. Diğer taraftan, doğa koşulları nedeniyle bu enerjinin sürekli olarak elde edilememesi de önemli bir sorundur. Dolayısıyla, herhangi bir sistemde güneş enerjisi fosil, hidrolik ve nükleer enerjiyle beraber düşünülmelidir. Çünkü, bir sistemde herhangi bir anda ihtiyaç duyulan minimum enerji, güneş enerjisi kapasitesinin maksimum değerinden daha büyük olabilir. Bu problem, yukarıdaki karma sistemler kullanılarak giderilir. Böylece güneş enerjisinin yetersiz kaldığı durumlarda diğer enerji kaynakları devreye girerek sistemin sürekliliği sağlanır.

Örnek olarak; buhar türbinleri, hem güneş enerjisi hem de fosil yakıtlardan sağlanan enerji ile ısıtılan suyla çalıştırılabilir. Bir güneş santralının bir hidroelektrik santrali ile birlikte çalıştırıldığı karma sistemde; hidrolik santraller, herhangi bir anda ihtiyaç duyulan enerji ile güneş santralleriyle karşılanan enerji arasındaki farkın kapatılması için kullanılır. Bu düzenlemeler toplam türbin verimlerini büyük ölçüde yükseltmektedir.

Güneş enerjisinden yılın ve günün sadece belli bir bölümünde verimli olarak yararlanılabiliyor olması, bu enerjinin depolanması zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır. Çünkü güneş enerjisi kendi elektromanyetik yapısında depolanamaz. Dolayısıyla, güneş enerjisi önce başka bir enerjiye dönüştürülür ve daha sonra depolama işlemi gerçekleştirilir. Bu yöntemler; elektriksel ve ısı formunda depolama veya yakıt olarak depolama olabilir.

Güneş enerjisi, bir sıvının ısıtılması yoluyla ısı şeklinde depolanabilir. Güneş enerjisini, ihtiyaç duyulduğunda kullanılabilen bir yakıtla dönüştürmek ve depolanmak da mümkündür. Bu yakıtlardan birisi olan hidrojen, otomobillerde, uçaklarda ve diğer taşıtlarda konvansiyonel yakıtların yerine kullanılabilir.

Depolama yöntemlerinin en önemli özelliklerinden birisi, enerjinin kabul edilebilir bir kayıpla saklanabilme süresinin ne kadar uzun olduğudur. Eğer güneş enerjisi, hidrojen gibi bir yakıtla dönüştürülerek depolanırsa, depolama süresinde herhangi bir limit olmaz. Ancak ısı

formunda depolanması durumunda, radyasyon, konveksiyon ve kondüksiyon yoluyla kayıplar fazla olacağından bu depolama yöntemi dezavantajlıdır.

Bir başka önemli nokta da, depolama sisteminin depolanan birim enerji başına ne kadar ufak hacim gerektirdiğidir. Sonuç olarak, en avantajlı depolama yöntemi, depolama süresi en uzun ve depolanan birim enerji başına en küçük hacim gerektirendir. Bu yöntemlerden en önemlisi elektriksel depolamadır ve sadece bu yöntem incelenecektir.

### 5.1 Elektriksel Depolama

Teorik olarak, kondansatörler büyük miktardaki elektrik enerjisini uzun bir süre depolayabilirler. Depolanan toplam enerji aşağıdaki formülle ifade edilir ;

$$\xi_{\text{cap}} = \frac{1}{2} \nu \varepsilon E^2 \quad (5.1)$$

Burada,

$\xi_{\text{cap}}$  = Depolanan toplam enerji(kWh)

$\nu$  = Dielektriğin büyüklüğü(m<sup>3</sup>)

$\varepsilon$  = Dielektrik sabiti

E = Elektrik alan şiddeti(MV/m)

Tablo 5.1’de çeşitli malzemeler için birim hacimde depolanabilen maksimum enerji miktarları görülmektedir. Günümüzde en iyi dielektrik malzeme olan mika ile yapılmış 3,4 m<sup>3</sup> lük bir kondansatörde ancak 1 kWh’lik enerji depolanabilmektedir.

Dielektrik malzemelerin iletkenliği nedeniyle, pratikte hiçbir zaman kayıplar sıfır olmaz, daima kaçak kayıplar söz konusudur. Günümüzde 12 saati geçmeyen depolamalar için kondansatörlerle yapılan depolama ekonomiktir. Ancak bu süreyi uzatabilmek daha iyi ve

ucuz dielektik malzemelerin geliştirilmesiyle mümkündür, aksi takdirde büyük çaplı kapasitif depolamalar ekonomik olarak yapılamayacaktır.

**Tablo 5.1 Çeşitli dielektrik malzemelerin enerji depolama özellikleri(Kettani, 1977)**

Dielektrik malzeme	$\epsilon$	$E(MV/m)$	$\xi_{cap}/v (kWh/m^3)$
Mika	6,0	200	0,2945
Kehribar	2,7	90	0,0269
Kuartz	5,0	40	0,00983
Teflon	2,1	60	0,00931
Kağıt(empreye edilmiş)	3,0	50	0,00922
Polietilen	2,3	50	0,00706
Cam	6,0	30	0,00664
Titanyumdioksit	100,0	6	0,00444
Bakalit	5,0	25	0,00383

Kondansatörler elektrik enerjisini, yüksek gerilim ve düşük akımla depolarken, bobinler(endüktör) alçak gerilim ve yüksek akımla depolarlar. Bir bobinde depolanan enerji aşağıdaki formülle ifade edilir ;

$$\xi_{ind} = \frac{1}{2} v \mu H_m^2 \quad (5.2)$$

Burada,

$\xi_{ind}$  = Bobinde depolanan enerji

$v$  = Dielektriğin büyüklüğü

$\mu$  = malzemenin geçirgenliği

$H_m$  = manyetik akı yoğunluğudur.

Bobinde depolanan enerjinin ( $\xi_{ind}$ ) büyük olabilmesi için, malzemenin hem geçirgenliği ( $\mu$ ) hem de manyetik akı yoğunluğu ( $H_m$ ) büyük olmalıdır. Bu nedenle, yüksek elektrik alanına ihtiyaç duyulur.

Her ne kadar bobindeki enerji yoğunluğu, kapasitördeki enerji yoğunluğunun 100 katı olabilse de, pratikte bobinlerde büyük çaplı enerji depolanması zordur. Sadece küçük çaplı ve özel uygulamalar için depolama yapılması uygundur. Geçirgenlikleri yüksek malzemelerin, aynı zamanda büyük elektrik direncine sahip olması ve yüksek akımlarla enerji depolanması sebebiyle, Joulean kayıpları oldukça yüksek olacaktır. Süperiletken malzeme teknolojisindeki gelişmelerle bu problem aşılabilir ve büyük çaplı elektrik enerjisinin uzun bir süre için depolanması sağlanabilir. Aşağıdaki tabloda bazı özel manyetik alaşımların maksimum geçirgenlik ve direnç değerleri verilmiştir.

**Tablo 5.2 Çeşitli manyetik malzemelerin maksimum geçirgenlik ve direnç değerleri (Kettani, 1977)**

<i>Manyetik malzeme</i>	<i>Maksimum relatif geçirgenlik</i>	<i>Özdirenç (<math>10^{-6} \Omega.cm</math>)</i>
Süpermalloy	800000	60
Mumetal	110000	42
78 Permalloy	100000	16
1040 Alloy	100000	56
4-79 Permalloy	80000	57
Hipernik	80000	35
4750 Alloy	32000	45
45 Permalloy	25000	50
Permendur	5000	7

Elektrik enerjisi, kimyasal formda yani pillerle dopolanabilir. Hiçbir hareketli eleman içermeyen, verimi yüksek bu depolama sisteminin çıkış enerjisi de elektrik formundadır. Pil, iki elektrot (anot ve katot) ve bir elektrolitten oluşur.

Pillerde depolanabilen enerji miktarı, bu pillerin hacmine oranla oldukça düşük ve depolama maliyeti oldukça yüksektir. Günümüzde araştırmalar, bu pillerin depolayabileceği enerji-ağırlık oranının iyileştirilmesi, bu pillerin hacimlerinin küçültülmesi ve bakım gerektirmeyen pillerin imali üzerine yoğunlaşmaktadır. Çeşitli pillerin başlıca özellikleri Tablo 5.3'de gösterilmektedir.

**Tablo 5.3 Çeşitli pillerin başlıca özellikleri (Kettani, 1977)**

<i>Pil tipi</i>	<i>Pil sistemi</i>	<i>Açık devre gerilimi (V)</i>	<i>Amper.saat</i>	<i>(Wh/kg)</i>	<i>(kWh/m<sup>3</sup>)</i>
Civa	Zn-KOH-HgO	1,35	14	100	360
Gümüş-Çinko	Zn-KOH-AgO	1,86	11	170	360
Manganez	Zn-KOH-MnO <sub>2</sub>	1,50	8	76	210
Civa-Karbon	Zn-ZnSO <sub>4</sub> -Hg	1,36	8	76	200
Mg kuru pil	Mg-MgBr <sub>2</sub> -MnO <sub>2</sub>	2,05	4,5	66	130

## 6 GÜNEŞ ENERJİSİYLE ÇALIŞAN TAŞITLAR

Geride bıraktığımız yıllar, gelişmiş ve gelişmekte olan bütün ülkelerin çevre kirlenmesi gibi büyük ve gelecek için çok önemli ortak bir sorunla karşılaştığı yıllar olmuştur. Bu güne kadar, ekonomik gelişmişliğin bir göstergesi olan fabrika bacaları ve taşıt hızları ile övünen insanoğlu, çevreye verdiği zararı maalesef gözardı etmiştir.

Hava kirliliği, çeşitli nedenlerle havanın doğal karışımının bozulması olarak tanımlanabilir. Teknolojik alandaki başarılarla paralel olarak, çevre kirliliği önemli bir sorun olarak tırmanışa geçmiştir. Bu sorun ise, ekolojik dengenin bozulması olarak kendini göstermektedir. Ekolojik dengenin bozulmasına, karbonmonoksit (CO) %52, kükürtdioksit (SO<sub>2</sub>) %18, hidrokarbonlar (HC) %12, partiküler maddeler %10, azotdioksit (NO<sub>2</sub>) %6 ve diğerleri %2 oranında katkıda bulunurlar. Bu kirleticilerin %90'ını oluşturan 5 büyük kaynağın ise %55'ini taşımacılık, %17'sini endüstriyel kökenli faaliyetler, %14'ünü ısıtma merkezleri, %11'ini termik santraller ve %3'ünü artık çöpler oluşturur (Traş ve diğerleri, 1992).

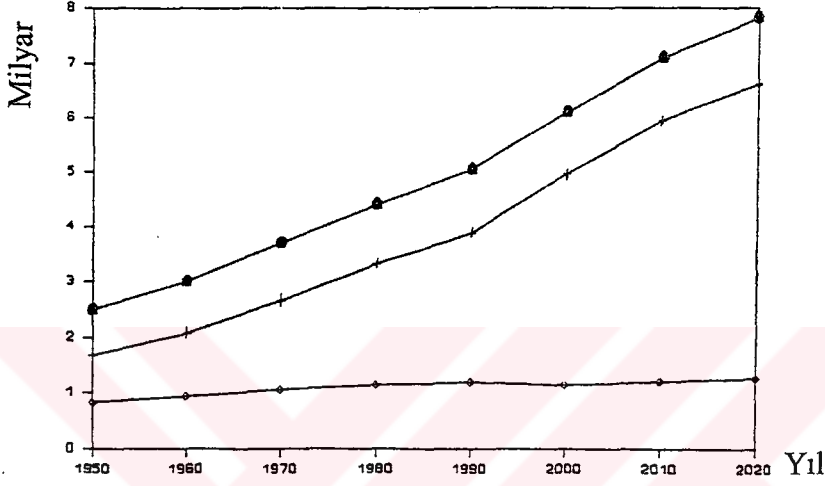
Egzost emisyonları bileşimindeki en önemli kirleticiler ise, karbondioksit, karbon monoksit, yanmamış veya kısmen yanmış hidrokarbonlar, azotoksitler, kükürtoksitler, kurşun ve is partikülleridir. Zararlı egzost emisyonları, insan sağlığına birçok olumsuz etkilerinin yanısıra, ekolojik dengeyi de bozarak sera etkisi, ozon tabakasının incelmeye ve asit yağmurları gibi iklim bozukluklarına neden olmaktadır.

Ortalama olarak, her insanın günde 22 kg (20m<sup>3</sup>) havaya ihtiyacı bulunmakta ve bir taşıt bu 20m<sup>3</sup> havayı 10 dakikada solunamaz hale getirmektedir (Gürpınar,1990). Tablo 4.1'de insanların çalışma şartlarına göre hava ihtiyaçları verilmiştir.

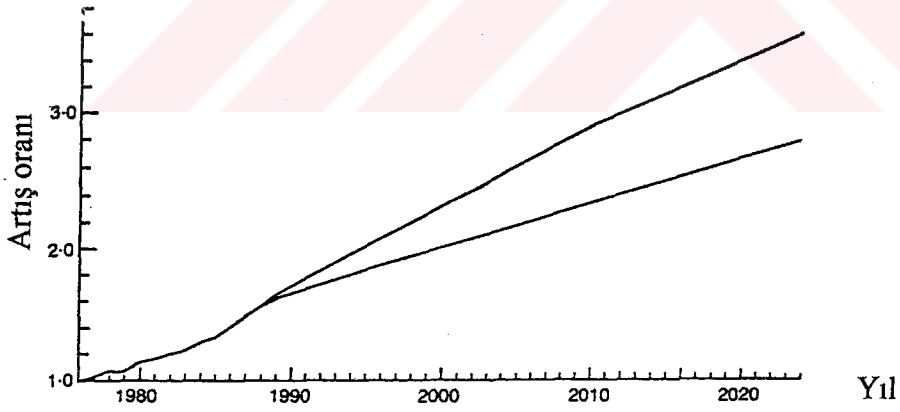
Şekil 6.1'de verilen dünya nüfus artışı ve Şekil 6.2'de verilen maksimum ve minimum otomobil artış oranı dikkate alındığında, tehlikenin çok büyük olduğu anlaşılmaktadır (Telford, 1990).

**Tablo 6.1. İnsanların çalışma koşullarına göre temiz hava ihtiyacı(Başer, 1993).**

Çalışma koşulları	lt/dak	lt/gün	kg/gün
Dinlenme	7,4	10600	12
Normal çalışma	28,06	40400	45
Ağır çalışma	43,06	62000	69
Ortalama	13,9	20000	22



Şekil 6.1. Dünya nüfusu ( • Toplam, + Gelişmekte olan ülkeler, o Gelişmiş ülkeler)



Şekil 6.2. Yıllar itibariyle beklenen maksimum ve minimum otomobil artış oranı.

Ayrıca 1978 ve 1987 yılları itibariyle, İngiltere’de atmosfere atılan önemli kirleticilerin açılımı ve toplam içindeki yüzdesi aşağıda verilmiştir.

Tablo 6.2. Önemli hava kirleticilerinin açılımı ve toplam içindeki yeri(Telford, 1990).

<i>Kirletici Kaynak</i>	<i>Azotoksitler (1000 ton)</i>			<i>Karbonmonoksit (1000 ton)</i>		
	<i>1978</i>	<i>1987</i>	<i>%(87)</i>	<i>1978</i>	<i>1987</i>	<i>%(87)</i>
Yerel kirleticiler	66	74	3,2	599	421	8,0
Ticari ve kamu sektörü	62	61	2,7	13	10	0,2
Santraller	813	809	35,1	55	49	0,9
Rafineriler	50	43	1,9	4	4	0,1
Diğer endüstriler	327	236	10,3	100	77	1,5
Demiryolları	43	35	1,5	17	13	0,2
<b><i>Karayolları</i></b>	<b><i>886</i></b>	<b><i>1031</i></b>	<b><i>44,8</i></b>	<b><i>3919</i></b>	<b><i>4470</i></b>	<b><i>84,9</i></b>
Yangınlar	12	12	0,5	220	220	4,2
TOPLAM	2259	2301	100	4927	5264	100

<i>Kirletici Kaynak</i>	<i>Karbondioksit (1000 ton)</i>			<i>Hidrokarbonlar (1000 ton)</i>		
	<i>1978</i>	<i>1987</i>	<i>%(87)</i>	<i>1978</i>	<i>1987</i>	<i>%(87)</i>
Yerel kirleticiler	85	92	14,5	95	65	2,9
Ticari ve kamu sektörü	34	32	5,1	1	1	-
Santraller	241	241	38,1	13	13	0,60
Rafineriler	25	21	3,3	1	1	-
Tarım sektörü	4	3	0,5	-	-	-
Diğer endüstriler	166	132	20,9	4	3	0,13
Demiryolları	3	2	0,3	11	9	0,4
<b><i>Karayolları</i></b>	<b><i>77</i></b>	<b><i>104</i></b>	<b><i>16,4</i></b>	<b><i>593</i></b>	<b><i>664</i></b>	<b><i>29,2</i></b>
Yangınlar	6	6	0,9	38	38	1,70
Gaz kaçakları	-	-	-	307	408	17,93
End. solvent buharlaşmalar	-	-	-	1051	1072	47,14
TOPLAM	641	633	100	2114	2274	100

**Tablo 6.3 Önemli hava kirleticilerinin, 1980 yılı itibariyle ülkeler bazında dağılımı (Telford, 1990).**

<i>Ülke</i>	<i>Nüfus (milyon)</i>	<i>SO<sub>x</sub> (10<sup>3</sup> t)</i>	<i>Partikül (10<sup>3</sup> t)</i>	<i>NO<sub>x</sub> (10<sup>3</sup> t)</i>	<i>CO (10<sup>3</sup> t)</i>	<i>HC (10<sup>3</sup> t)</i>
A.B.D.	244	23900	8500	20300	76100	23000
Japonya	122	1259	133	1340	-	-
Almanya	61	3187	696	2935	11708	2490
İngiltere	57	4836	290	2264	4999	2241
İtalya	57	3211	386	1585	5487	1566
Fransa	56	3512	483	1861	6620	1972
<b>Türkiye</b>	<b>53</b>	<b>714</b>	<b>138</b>	<b>380</b>	<b>3707</b>	<b>201</b>
İspanya	39	2543	1521	937	3780	843
Kanada	27	4650	1907	1972	9928	2100
Avustralya	16	1479	271	915	3707	423
Hollanda	15	462	162	553	1450	493
Yunanistan	10	546	40	217	695	130
Belçika	10	856	267	317	839	339
Portekiz	10	266	119	166	533	159
İsveç	8,4	502	170	318	1250	410
Avusturya	7,6	325	50	201	1126	251
İsviçre	6,6	126	28	196	711	311
Danimarka	5	452	47	245	577	197
Finlandiya	5	584	97	284	660	163
Norveç	4	150	28	203	608	159
İrlanda	3,5	217	94	71	497	62
OECD toplamı	820	540000	15500	37500	14100	38500
<b>Dünya toplamı</b>	<b>5024</b>	<b>110000</b>	<b>59000</b>	<b>69000</b>	<b>193000</b>	<b>57000</b>

Bütün bu ekolojik sorunlara ek olarak, petrol rezervlerinin 2050 yılına kadar biteceğinin tahmin edilmesi, özellikle otomobil sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarıyla çalışan taşıtların üretilmesi konusunda araştırmalar yapılmasına hız verilmesini sağlamıştır (Yılmaz, 1995). Ayrıca fotovoltaik pil uygulamalarındaki gelişmeler sayesinde, güneş enerjisinin doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmesi ve bu elektrik enerjisinin taşıtlarda elektrik motorunu çalıştırması, verimli olarak gerçekleştirilebilmektedir.

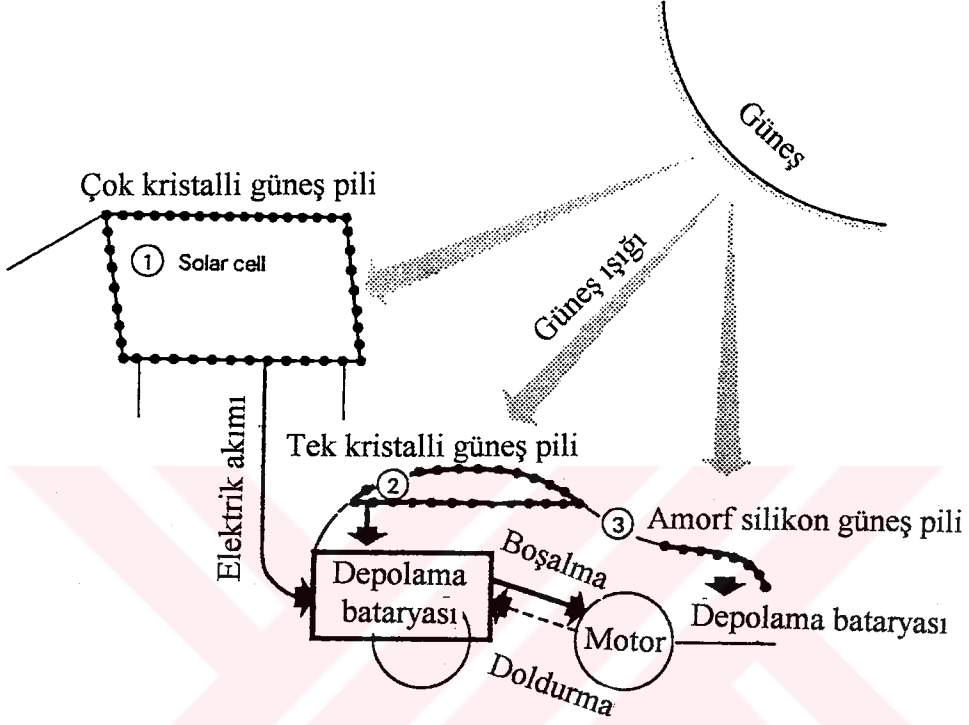
Güneş enerjisiyle çalışan taşıtlarda, güneş enerjisinden elde edilebilen elektrik enerjisi sınırlı olduğundan, taşıtların hafif olması çok önemli bir noktadır. Bu amaçla, mukavemet/ağırlık oranı yüksek olan fiberglas katkılı veya alüminyum malzemeler kullanılmalıdır. Bu otomobillerde piston, silindir, silindir kapağı, yağ pompası, marş motoru ve eksantrik kam mili gibi motor parçalarının kullanılmaması sistemin hafifletilmesine yardımcı olmaktadır.

Diğer tüm otomobiller gibi, güneş enerjisiyle çalışan otomobillerin de, uluslararası yollara çıkma izni alabilmesi için gerekli bazı kurallar vardır. Bu otomobilleri, elektronik hız kontrol devresi, farlar, fren lambaları, gösterge tablosu, emniyet kemer sistemi, korna, silecek, motor soğutma fanı ve kabin içi havalandırma fanı gibi elemanlarla donatma zorunluluğu vardır. Ayrıca, otomobil boyutlarının 6m x 2m x 1,6m ölçülerini aşmaması ve otomobilde yapısal sağlamlığın temin edilmesi gereklidir. Güneş enerjisinden faydalanarak taşıtların çalıştırılması çok yeni ve hala üzerinde çalışmalar yapılan bir konudur. Dolayısıyla, yukarıda verilen temel konstrüksiyon ve bilgilerin dışında kalan konular için kesin ifadeler kullanmak doğru değildir. Bu nedenle, tezin bundan sonraki bölümünde, fotovoltaik pillerle çalışan ve literatüre geçmiş otomobiller hakkında bilgiler verilecektir.

### **6.1 Masaharu Fujinaka tarafından geliştirilen güneş otomobili(Fujinaka, 1992)**

Şekil 6.3'de güneş enerjisiyle çalışan ilgili otomobilin taslağı görülmektedir. Bu sistemde, herhangi bir evin çatısına monte edilen çok kristalli silikon güneş pili(1) ile

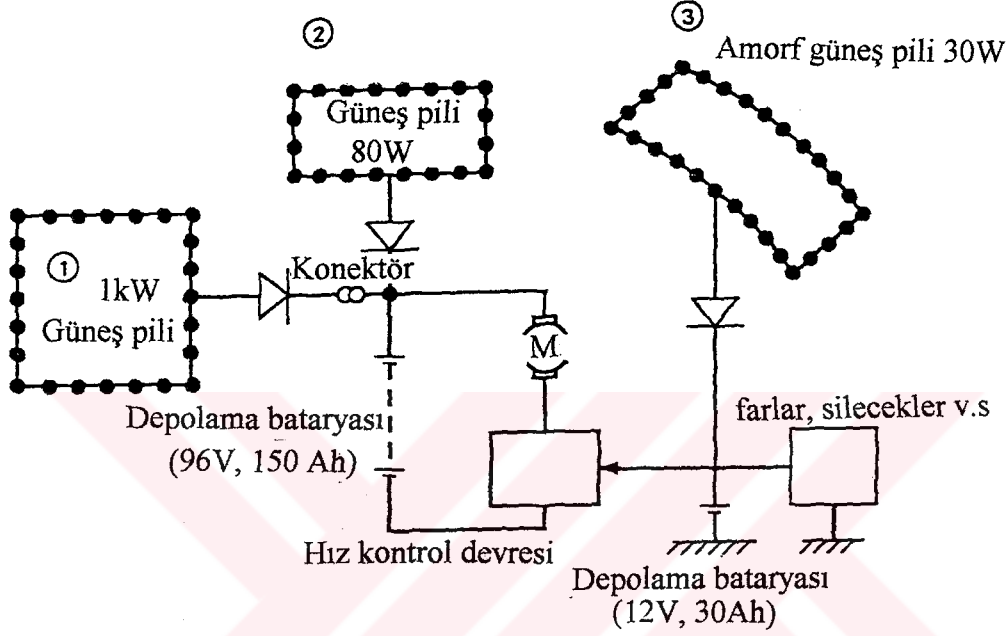
1kW güç elde edilmektedir. Otomobilin üzerine yerleştirilen bir tek kristalli silikon güneş pili paneli de 80 W güç üretmektedir. Bu iki güneş pilinden elde edilen elektrik enerjisi, otomobile yerleştirilen büyük bir bataryada (kurşunlu tip, 96V, 150Ah) depolanmaktadır.



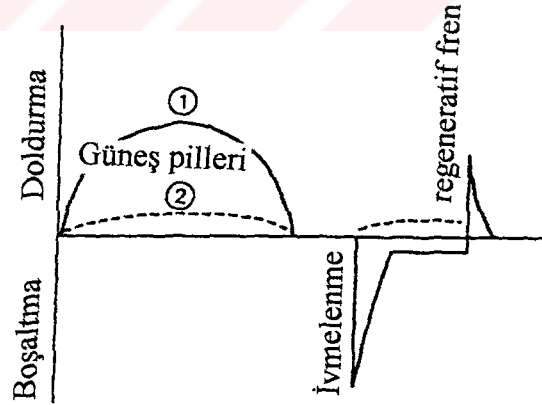
Şekil 6.3 Masaharu Fujinaka tarafından geliştirilen güneş otomobili

Bugün benzinli otomobillerde olduğu gibi, elektronik hız kontrol devresi, farlar, fren lambalar, gösterge tablosu, silecekler, motor soğutma fanı ve kabin içini havalandırma fanı gibi elemanların beslenmesinde küçük bir batarya(kurşunlu tip, 12V, 30Ah) kullanılmaktadır. Bu bataryanın şarj edilmesinde ise, kaportaya monte edilen 30W çıkışlı amorf silikon güneş pilleri kullanılmaktadır. Otomobillerin seyir halinde karşılaştıkları rüzgâr direncini azaltmanın en önemli yolu, otomobillerde eğimli ve kavisli yüzeylerin kullanılmasıdır. Amorf silikon güneş pilleri, esnek ve hafif olmaları nedeniyle, özellikle otomobillerin kaput gibi kavisli bölgelerinde kullanılabilirler.

Yukarıda bahsedilen sistemin toplam elektrik tesisat şeması Şekil 6.4'de, bataryaların doldurulması ve boşalması sırasındaki temel karakteristikler Şekil 6.5'de görülmektedir. Temel karakteristikler, güneş pili ile bataryanın iyi havalarda doldurulmasını [(1) numaralı güneş pili doğru çizgilerle, (2) numaralı güneş pili kesikli çizgilerle gösterilmiştir], hızlanma ve sabit hız sırasındaki güç çekimini ve yavaşlama sırasındaki durumu içermektedir.

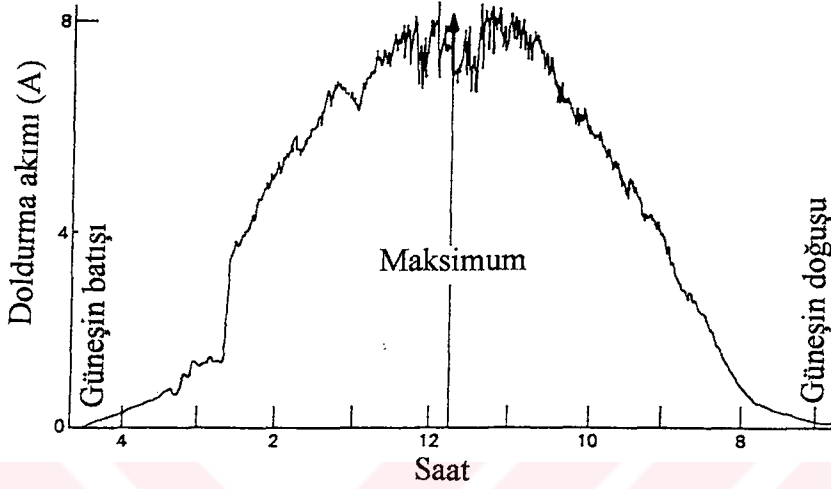


Şekil 6.4 Sistemin toplam elektrik tesisat şeması



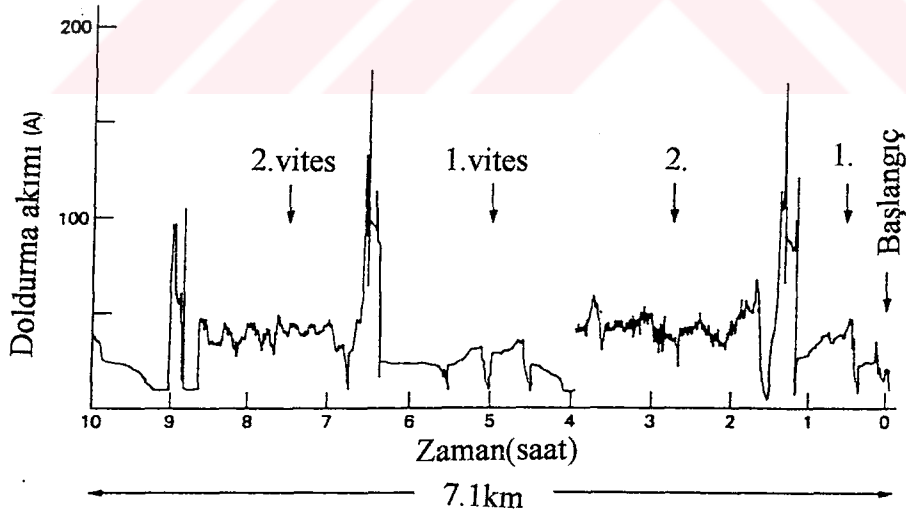
Şekil 6.5 Bataryaların doldurulması ve boşalması sırasındaki temel karakteristikler

1kW güç çıkışlı güneş pili(1) panelinin bataryayı doldurma karakteristikleri Şekil 6.6'da verilmiştir. Tokyo'da iyi bir havada yapılan ölçüm sonuçlarına göre, bu güneş pili ile güneşin doğmasıyla batması arasında, 96V'luk bir bataryada 50Ah güç depolanabilmektedir. Bu değer, bulutlu bir günde %50-65, yağmurlu bir günde ise, %80-90 azalmaktadır.



Şekil 6.6 1kW güç çıkışlı güneş pili(1) panelinin bataryayı doldurma karakteristikleri

Şekil 6.7'de bu otomobilde ki batarya için, 1. vitesden 2.vitese geçerkenki boşalma karakteristikleri verilmiştir.



Şekil 6.7 Otomobildeki batarya için, 1. vitesden 2. vitese geçerkenki boşalma karakteristikleri

Şekil 6.7'den de anlaşıldığı gibi, bu otomobilin enerji tüketimi, yaklaşık 96V ve 0.8Ah'dir. Tokyo'nun trafik yoğunluğuna ve hava durumuna bağlı olarak, iyi havalarda 30km mesafelik bir gece sürüşü için yeterli enerji depolanabilmektedir. Fakat bu değer, bulutlu ve yağmurlu günlerde sırasıyla 15km ve 3km'ye düşmektedir. Burada tanımlanan güneş otomobilinin bazı özellikleri Tablo 6. 4'de verilmiştir.

**Tablo 6.4. Güneş otomobilinin diğer teknik özellikleri**

Otomobilin koltuk/yolcu kapasitesi	2 kişi
Otomobilin yolcusuz ağırlığı	960 kg
Tek şarjda gidilebilen maksimum mesafe (45km/h sabit hızda)	150 km
Maksimum hız	105 km/h

Bu güneş otomobilinde kullanılan (1) numaralı fotovoltaiik pilin, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüşürme verimi %10, (2) için %13 ve (3) için %6'dır.

Güneş otomobillerinin maliyetini yükselten en büyük faktör, fotovoltaiik pillerin yapımı için gerekli enerjinin çok fazla olmasıdır. Fotovoltaiik pillerin, yapımlarında harcanan enerjiyi üretmesi için gerekli süre "geri ödeme zamanı-energy payback time (EPT)" olarak tanımlanır. Fotovoltaiik pillerin verimlerini %15 ve yılda ürettikleri enerji miktarını 10MW kabul ederek yapılan hesaplamalarda EPT değeri, 4 yıl olarak saptanmıştır (10 yıl önceki EPT değeri 14-15 yıl). Bu süre, coğrafi bölgeye bağlı olarak 6-7 yıla kadar çıkabilir.

## **6.2. Sol of Auburn(Bhavnini,1994)**

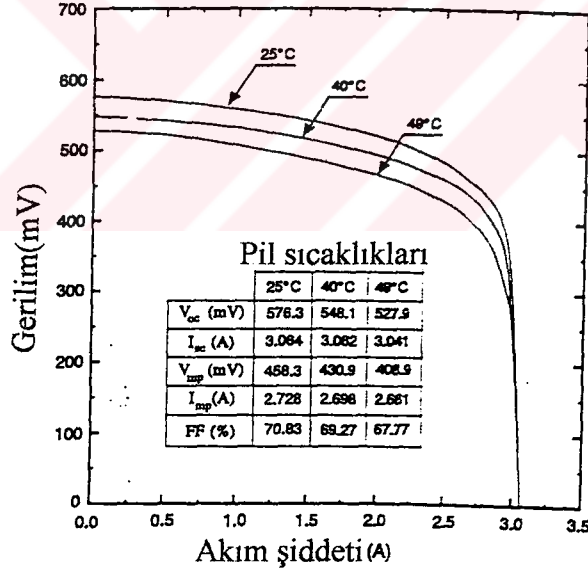
S.H. Bhanani tarafından geliştirilen bir güneş otomobilidir. Buradaki araçta, destek ünitesi olarak 5 kWh kapasitesindeki bir gümüş-çinko batarya sistemi kullanılmaktadır. Diğer karakteristik özellikler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

**Tablo 6.5. "Sol of Auburn" isimli güneş otomobilinin teknik özellikleri**

Otomobilin ağırlığı	322kg (710 pound)
Kullanılan PV pil tipi / verimi	Tekkristalli silikon / %12,5
Batarya tipi / verimi	Gümüş-Çinko / 5 kWh
Fotovoltaik pilin maksimum çıkış gücü	710 W
Maksimum / Ortalama hız	101 / 40÷50 km/h
Karöseri malzemesi	Grafit/Kevlar/Nomex(Sandiviç tipi)
Şasi malzemesi	Kaynaklı, dairesel kesitli alüminyum
Motor tipi / maksimum gücü	2HP fırçasız DC / 5HP

2 HP ve 150V'luk fırçasız bir DC motor ve bunu denetleyen 6 kHz'de çalışan bir kontrol sistemi kullanılmaktadır. 4 vitesli bu otomobilde, DC motordan alınan hareket uygun aktarma oranı ile tekerleklere iletilmektedir.

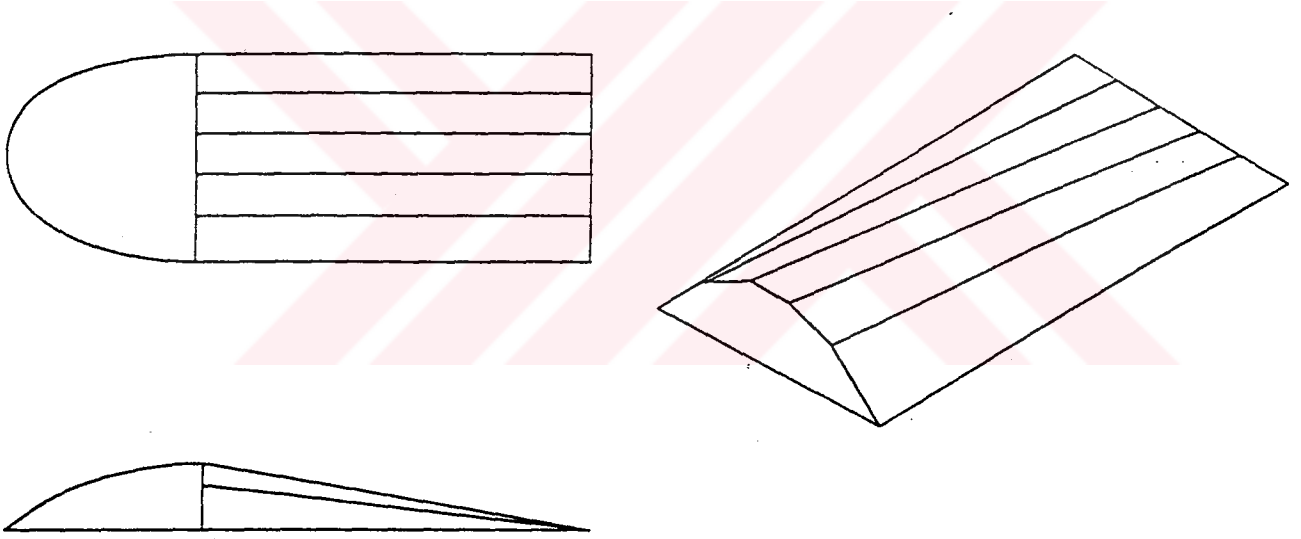
Şekil 6.8'de çeşitli fotovoltaik pil sıcaklıklarında elde edilen değerler verilmiştir.



Şekil 6.8 Fotovoltaik pil sıcaklıklarının 25°C, 40°C ve 49°C olması durumunda, gerilim ve akım değerlerinin değişimi (1000 W/m<sup>2</sup> güneş radyasyonunda).

Fotovoltaik pil boyutları, 4m x 2m x 1,6m'dir. 5 farklı fotovoltaik pil panelinden oluşan sistemde, merkezdeki panel geriye doğru 8° eğimlidir. Fotovoltaik pil malzemesi, tek kristalli silikondur. Sistemdeki bu fotovoltaik pillerin nominal çalışma verimleri %12,5'dir. Şekil 6.8'de, fill faktörü (elde edilen maksimum güç/teorik güç), 25°C'de %78,8 iken, 49°C'de %67,8'ye düşmektedir. Bu ise, fotovoltaik pil sıcaklıklarının düşük tutulmasının önemini göstermektedir. Hareket halindeki bir taşıtta, konveksiyon yoluyla ısı kaybı olacağından, fotovoltaik pil sıcaklıkları çevre sıcaklıklarına yakın olmaktadır.

Taşıt hafifliğinin temini için, şasi 31,75 mm dış çaplı ve 4,22 mm kalınlığında dairesel kesitli alüminyum borular ile konstrükte edilmiş ve bu otomobilin yapısal kontrolü, sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilmiştir. Dingil, kaster ve döşeme ayarlarını sağlamak için, birbirinden bağımsız çiftli "A-arm" süspansiyon sistemi kullanılmıştır. Üstteki A-arm alüminyumdan, alttaki ise çelik malzemeden yapılmıştır.



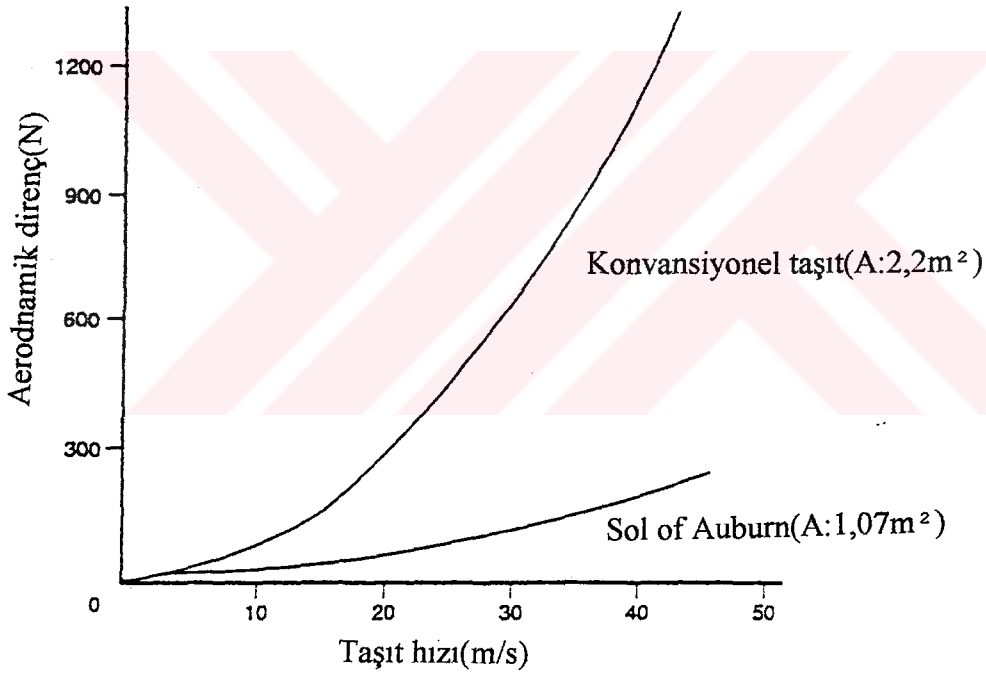
Şekil 6.9 "Sol of Auburn" isimli otomobilin aerodinamik profili

Taşıtın dizaynı sırasında dikkat edilmesi gereken 3 ana faktör vardır; Boyutlar, aerodinamik şekil ve ağırlık. Karöserinin şekli, aerodinamik açıdan maksimum avantajı

sağlayacak şekilde olmalıdır. Sürüklenme katsayısının düşürülmesi amacıyla, taşıtın mümkün olduğu kadar alçak yapılması uygundur. Buradaki taşıtın yerden yüksekliği 1,1 m'dir.

Standart olarak 0,10m x 0,10m boyutlarında imal edilen pillerinin, 0,10m x 0,025m ve 0,10m x 0,05m ölçülerine kesilerek, eğik yüzeylerde kullanımının sağlanması ve köşelerdeki atıl bölgelerin yuvarlatılarak aktif hale getirilmesi ile % 4 güç artışı sağlanmaktadır.

Yapılan deneylerde, sürüklenme katsayısı 0,14 olarak ölçülmüş ve 40 km/h'lik hızın altında önemli bir değişikliğe uğramadığı tespit edilmiştir. Şekil 6.10'da "Sol of Auburn" ile tipik bir otomobil aerodinamik yönden karşılaştırılmaktadır. Ayrıca, taşıt hızının 40 km/h değerinin üzerinde olduğu durumlarda, aerodinamik şeklin önem kazandığı, ancak taşıtın aerodinamik şeklinin geliştirilmesiyle fotovoltaik pillerin yerleştirilebileceği alanın kısıtlanması nedeniyle toplam enerji sisteminin olumsuz yönde etkilendiği tespit edilmiştir.



Şekil 6.10 "Sol of Auburn" ile tipik bir otomobilin aerodinamik yönden karşılaştırılması

Aşağıdaki test şartlarında, "Sol of Auburn" isimli otomobil için yapılan deneylerde Tablo 6.6'daki değerler bulunmuştur.

*Deneyin yapıldığı bölgede(Orlando-Detroit/A.B.D) ölçülen güneş enerjisi miktarı*

<i>Saat</i>	<i>Güneş enerjisi(W)</i>	<i>Saat</i>	<i>Güneş enerjisi(W)</i>
7.00	150	14.00	670
8.00	290	15.00	570
9.00	430	16.00	430
10.00	570	17.00	290
11.00	670	18.00	150
12.00	720	19.00	70
13.00	720	20.00	30

*Enlem : 28,65°*

*Deklasyon açısı : 22,37°*

*Test başlangıcı(saat): 11.00*

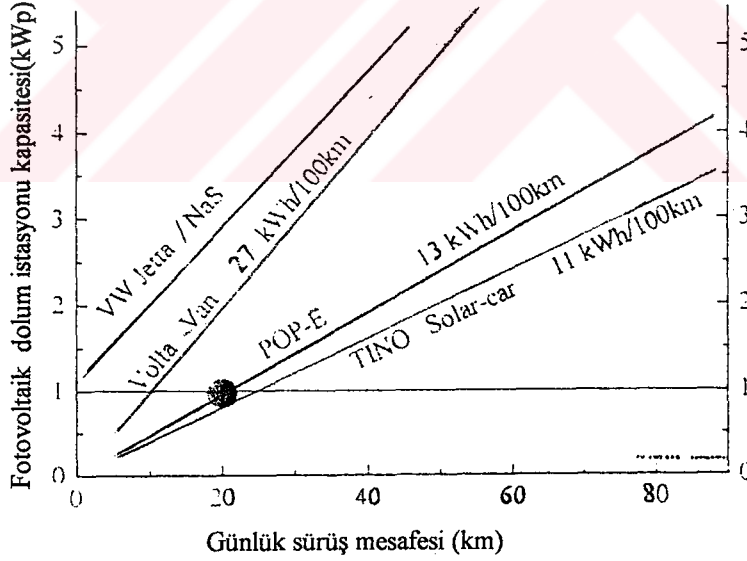
*Tablo 6.6 Yukarıdaki deney şartlarında elde edilen deney sonuçları*

<i>Mesafe (km)</i>	<i>Etaplardaki yükseklik farkı(m)</i>	<i>Yön 0° : Güney 90° : Batı</i>	<i>Ortalama hız (km/h)</i>	<i>Motor gücü (W)</i>	<i>Güneş enerjisi (W)</i>	<i>Güneş pili enerjisi (W)</i>
11,2	-1,52	0	44,8	510,3	670	596
11,2	429,77	90	54,4	3631	682	584
11,2	91,44	100	44,8	1017	693	599
11,2	106,68	135	46,8	1160	705	607
11,2	-182,88	120	64,0	0,0	717	625
11,2	-182,88	100	64,0	0,0	714	640
11,2	-45,72	120	64,0	789	705	636
11,2	-30,48	135	33,6	168,5	696	627
11,2	243,84	100	30,4	1145,4	680	633
11,2	152,40	90	28,8	755,3	711	625
11,2	-457,20	-150	64,0	0,0	692	614

<i>Toplam deney süresi</i>	<i>: 2,73 saat</i>
<i>Güneş piliyle karşılanan toplam enerji</i>	<i>: 1,691 kWh</i>
<i>Elektrik motorunun toplam enerji ihtiyacı: 2,319 kWh</i>	
<i>Batarya desteği</i>	<i>: 1.0 kWh</i>

### 6.3. "TINO" (Baumgartner et al,1991)

Dizayn edilen bu güneş otomobilinde, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek amacıyla Si yarı iletken malzemesinden yapılmış 80 W gücündeki bir güneş paneli kullanılmaktadır. Bu panelden elde edilen enerjinin bir kısmı, otomobildeki farlar, göstergeler ve radyo gibi elektrik sistemlerinin beslenmesinde, diğer kısmı ise bataryanın şarj edilmesinde kullanılmaktadır. Kullanılan kurşun tipi batarya (7,8kWh) ile 80 km yol alınabilmektedir. Bu bataryaların doldurulmasında, Konstanz üniversitesinin çatısına yerleştirilen 800 W gücündeki bir güneş pilinden de faydalanılmaktadır. Karöseri malzemesi olarak ince fiberglass plastik kullanılan bu otomobilin sürücüsüz ağırlığı 550 kg'dır. Güneş otomobilinin diğer teknik özellikleri Tablo 6.7'de verilmiştir.



Şekil 6.11 Güneş otomobillerinde, günlük sürüş mesafesi ve fotovoltaik dolum istasyonlarının kapasiteleri arasındaki ilişki (Baumgartner et al,1994).

**Tablo 6.7 Tino isimli güneş otomobilinin teknik özellikleri**

Motor tipi / gücü	DC Asenkron motor / 10 kW
Batarya tipi	Kurşunlu tip / 120V, 65Ah
Tek şarjda katedilebilen ortalama mesafe	80 km
Toplam sürücüsüz ağırlık	550 kg
Bagaj hacmi	350 lt
Koltuk / yolcu kapasitesi	2 kişi
Otomobilin boyutları	Uzunluk : 2,74 m Genişlik : 1,40 m Yükseklik: 1,45 m
Maksimum hız	80 km/h
Ortalama tüketim	11 kWh/100 km

#### 6.4 Taşıtlarda yakıt olarak hidrojen kullanımı (Kukkonen et al, 1994)

Günümüzde, otomobillerde kullanılan yakıtların yerine hidrojen kullanımı, ancak hidrojenin diğer yakıtlara göre daha avantajlı olmasıyla mümkün olacaktır. Aşağıdaki tabloda hidrojen elde etmede başvurulacak enerji kaynakları ve 1980, 1993 yılları arasındaki gelişmeler verilmiştir.

**Tablo 6.8 Hidrojen elde etmede başvurulacak enerji kaynakları ve gelişmeler**

	<i>Enerji kaynağı</i>	<i>1980'deki durum</i>	<i>1993'deki durum</i>
Günümüzde	Petrol	Sınırlı miktarda mevcut. Fiyatı sürekli artabilir.	Sınırlı miktarda mevcut. 1980'deki fiyatından ucuz
↓	Doğal gaz	Sınırlı miktarda mevcut.	Ömür, 30-60 yıl. Elektrik santralleri için en büyük kaynak.
↓	Kömür	Endüstri ve Elektrik santralleri için en ekonomik kaynak.	Sera etkisi nedeniyle gelecekte sınırlı kullanım.
↓	Nükleer fizyon	Elektrik için büyük bir kaynak olabilir.	Büyük kapasiteli bir kullanma planı yok.
Gelecekte	Güneş enerjisi	2000'li yıllarda, önem kazanabilir.	Hala araştırma ve geliştirme safhasında.

Burada ki karşılaştırmalarda kullanılacak benzinli otomobilin bazı teknik özellikleri; 4-5 yolcu kapasiteli, 1110 kg ağırlığında, motor hacmi 1,4 lt, 0-100 km/h hıza 13 saniyede ulaşan ve tüketimi 7 lt / 100 km'dir. Tablo 6.9'da, çeşitli yakıtlarla çalışan taşıtlar karşılaştırılmaktadır.

**Tablo 6.9 Çeşitli yakıtlarla çalışan taşıtların teknik özellikleri**

	<i>Benzin</i>	<i>Doğal gaz</i>	<i>Sıkıştırılmış H<sub>2</sub></i>	<i>Sıvı H<sub>2</sub></i>
Ağırlık(kg)	1110	1225	1225	1135
0-100 km/h (s)	13	14	14-17	13-15
Enerji tüketimi(kJ/km)	2480	2390	2100-2280	1980-2150

Üzerinde durulması gereken diğer bir konu da, güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisinin, doğrudan taşıt üzerindeki elektrik motorunun çalıştırılmasında mı, yoksa bu elektrik enerjisini kullanarak elektroliz yoluyla elde edilen hidrojenin, yakıt olarak kullanılmasının mı daha avantajlı olduğudur. Yapılan deneylerde, aşağıdaki tabloda görülen değerler elde edilmiştir.

**Tablo 6.10 Elektrik enerjisinden elde edilen hidrojen ile çalışan taşıtlarla, elektrikle çalışan taşıtların karşılaştırılması**

	<i>Sıkıştırılmış H<sub>2</sub></i>	<i>Sıvı H<sub>2</sub></i>	<i>Batarya</i>
Electrolyser/batarya verimi	0,80	-	0,90
Elektroliz/Sıvılaştırma verimi	0,90	0,65	-
Kullanılan toplam elektrik(kJ/km)	2910-3170	3050-3310	690

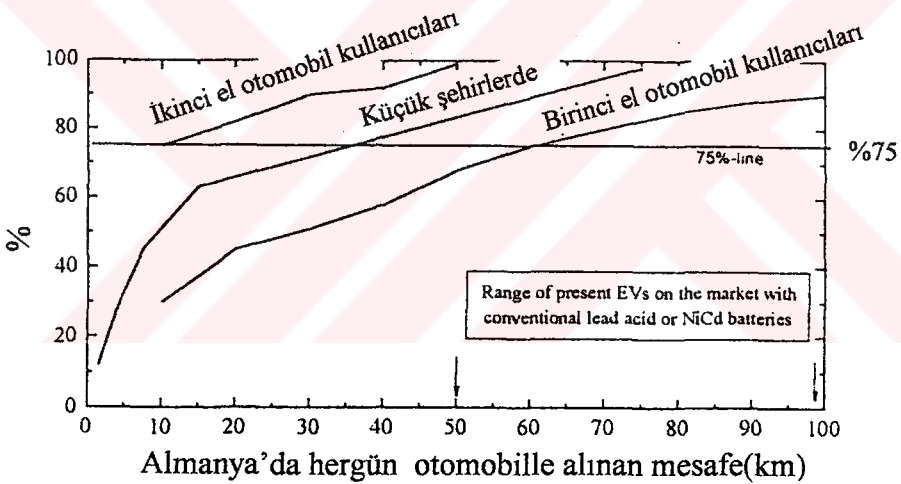
Tablo 6.10'daki değerlerden de anlaşıldığı gibi, elektrik enerjisinden elde edilen hidrojenin, taşıtlarda yakıt olarak kullanılması avantajlı değildir. Bu nedenle, fotovoltaiik pillerle elde edilen elektrik enerjisinin doğrudan kullanımı daha uygun olmaktadır.

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Güneş enerjisinden yüksek oranda yararlanmaya elverişli bir coğrafi konuma sahip ülkemizde, güneş enerjisi potansiyeli en düşük olan Doğu Karadeniz Bölgesi bile, çoğu Avrupa ülkesinden daha fazla güneş ışığı almaktadır.

Günümüzde ve dünyanın çeşitli bölgelerinde, 100kW-20MW gücündeki güneş çiftlikleri ve kuleli güneş santrallerinde güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretilmektedir. Ancak bu sistemlerin kuruluş maliyetleri çok yüksektir (10MW/48,5 milyon US\$).

Fotovoltaik pillerle çalışan taşıtların tek şarjda alabildikleri mesafe 80km'ye ulaşmaktadır. Aşağıda verilen tablo incelendiğinde, bu mesafenin bile ne kadar önemli olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanısıra, fotovoltaik pillerle çalışan ve yarış amaçlı dizayn edilen otomobillerle 150km/h hız elde edilebilmektedir.



Şekil 7.1 Almanya'da hergün otomobille alınan ortalama mesafe(Baumgartner et al, 1994)

Özellikle silikon ve GaAs pillerin çalışma verimlerinin yükseltilmesi ve bugünkü maliyetlerinin düşürülmesi ile elde edilecek elektriğin maliyeti çok ucuzlayacaktır. Konvansiyonel kaynaklarla ve fotovoltaik pillerle elde edilen elektrik enerjisinin bugünkü maliyeti, sırasıyla 0,06 US\$/kWh ve 0,30 US\$/kWh'dir (Hamakama, 1990).

Elektrik enerjisinden elektroliz yoluyla hidrojen üretimi ve bu hidrojenin otomobillerde yakıt olarak kullanımı mümkündür. Hidrojenle çalışan otomobiller, benzinle çalışan otomobillerden %10-25 daha az enerji harcamalarına rağmen, hidrojenin elde edilmesi için gerekli enerjide gözönüne alınırsa 2020 yılından önce hidrojenle çalışan otomobillerin ekonomik olması mümkün değildir(Kukkonen, 1994).

Buradaki birçok sistem labaratuvar şartlarında çalışmaktadır. Bununla beraber güneş enerjisinin fosil yakıtlı sistemlerin yerini alabilmesi için daha fazla araştırma ve geliştirme çalışmaları gerekmektedir. Güneş enerjisinin ekonomikliği, güneş enerjili sistemlerin maliyetlerinin düşürülmesi, fosil yakıtların sınırlı olmaları nedeniyle pahalılaşmaları ve bu yakıtların çevre kirliliği problemlerinin ağır basması sonucu sınırlı kullanımları ile sağlanabilecektir. Bu nedenle, ancak gelecek yüzyıl güneş enerjisinin sadece sıcak su elde etmede değil, aynı zamanda elektrik enerjisi üretiminde de ekonomik ve yaygın olarak kullanılacağı yıllar olacaktır.

## KAYNAKLAR

- 1- Backus, E.C., 1977. *Photovoltaic conversion, Academic press, Inc.*
- 2- Başer, Z., ve Kaner, T., 1993. *Kirletici egzost gazı emisyonları, iyileştirme yöntemleri ve katalizörler.*
- 3- Baumgartner, F.P., Simon, M., and Burkhardt, R., 1991. *TINO- a solar car for daily use, 10th European photovoltaic solar energy conference, Lisbon.*
- 4- Baumgartner, F.P., Bucher, E., Simon, M., and Burkhardt, R., 1994. *One kWp for each electrical vehicle, 12th European photovoltaic solar energy conference, Amsterdam.*
- 5- Bhavnini, S.H., 1994. *Design and construction of a solar-electric vehicle, transactions of the ASME, vol. 116.*
- 6- Çolak, M., 1991. *Güneş pilleri ve uygulamaları, Mühendis ve Makina, cilt 32, sayı:382*
- 7- Duffie, A.J., and Beckman, A.W., 1974. *Solar energy termal prosesesi, Wiley-Interscience publication.*
- 8- E.İ.E.(Elektrik işleri etüd idaresi genel direktörlüğü), 1984. *Güneş enerjisi tebliğleri, Ankara.*
- 9- Fujinaka, M., 1992. *Solar cars free of environmental pollution, Renewable Energy, vol 2, sayı:1*
- 10- Güler yüz, S., 1989. *Güneş enerjisinden yararlanma yöntemleri ve projelendirme esaslarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi.*
- 11- Gürpınar, E., 1990. *Çevre sorunları, Der yayınevi.*
- 12- Hamakama, Y., 1990. *Recent progress of amorphous silikon solar cells, Proc. of the 1st World renewable energy congress, vol 1, pp.39-48.*
- 13- Karabacak, R., 1990. *Güneş toplayıcılarında fototermal tüy elyaf kullanılarak verimin artırılması, Mühendis ve Makina, cilt 31, sayı:367.*

- 14- *Kettani, M.A., 1970. Conversion of solar energy into electricity*
- 15- *Kettani, M.A., 1977, Storage of solar energy*
- 16- *Kukkonen, A.C., and Shelef, M., 1994. Hydrogen as an alternative automotive fuel, Automotive Engineering, Oct. 1994.*
- 17- *Külünk, H., ve Eyice, S., 1983. Yeni enerji kaynakları*
- 18- *Mancini, R.T., Chavez, M.J., and Kolb, J.G., 1994. Solar termal power today and tomorrow, Mechanical Engineering, Aug. 1994.*
- 19- *McVeigh, J.C., 1982. Sun power, Pergamon press*
- 20- *Meinel, B.A., Meinel, P.M., 1980. Applied solar energy, Addison-Wesley Publishing Comp.*
- 21- *Pytlinski, J.T., 1985. Photovoltaic cell technologies*
- 22- *Reisenhuber, H., 1992. Renewable energy published by The Federal Minister for Research and Technology (BMFT).*
- 23- *Telford, T., 1990. Pollution and its containment, by The Instution of Civil Engineers*
- 24- *Traş, B., Baş, L.A., 1992. Hava kirliliği, Bilim ve Teknik, sayı 263.*
- 25- *Uyarel, A.Y., ve Öz, E.S., 1987. Güneş enerjisi ve uygulamaları, Birsen yayınevi.*
- 26- *Valenti, M., 1995. Storing solar energy in salt, Mechanical Engineering, June.*
- 27- *Veziroğlu, T.N., Kakaç, S., 1977. Solar production of hydrogen*
- 28- *Veziroğlu, T.N., 1987. Alternative energy sources VII, vol 2, Solar energy 2, Hemisphere Publishing Corp.*
- 29- *Warfield, G., 1984. Solar electric systems, Hemisphere Publishing Corp.*
- 30- *Yılmaz, A., 1995. Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları ve potansiyelinin değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi.*

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

*Adı Soyadı* Cumhuriyet Aydınöz  
*Doğum Tarihi* 31 Ekim 1972  
*Doğum Yeri* İstanbul

### EĞİTİM VE ÖĞRENİM

*İlkokul* Aydınlı Ayazma İlkokulu 1979 - 1984  
*Ortaokul* Gülizar-Zeki Obdan Ortaokulu 1984 - 1987  
*Lise* Kartal Endüstri Meslek Lisesi 1987 - 1989  
*Üniversite* Yıldız Üniversitesi 1989 - 1993