

# İÇİNDEKİLER

<b>BÖLÜM 1</b>	
<b>GÜNEŞ ENERJİSİ .....</b>	<b>1</b>
1.1. GİRİŞ.....	1
1.2. GÜNEŞ VE GÜNEŞ ENERJİSİ.....	7
1.3. GÜNEŞ ENERJİSİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ .....	11
1.4. GÜNEŞ ENERJİSİ UYGULAMA ALANLARININ SINIFLANDIRILMASI .....	12
1.5. GÜNEŞ ENERJİSİ UYGULAMALARI .....	13
<b>BÖLÜM 2</b>	
<b>GÜNEŞ GEOMETRİSİ VE ATMOSFER DIŞI</b>	
<b>GÜNEŞ IŞINIMI .....</b>	<b>21</b>
2.1. GÜNEŞ SABİTİ (THE SOLAR CONSTANT) VE ATMOSFER DIŞI	
IŞINIMIN DEĞİŞİMİ .....	21
2.2. GÜNEŞ AÇILARI .....	22
2.3. ATMOSFER DIŞINDA YATAY DÜZLEME GELEN GÜNEŞ IŞINIMI.....	27
<b>BÖLÜM 3</b>	
<b>YERYÜZÜNE GELEN GÜNEŞ IŞINIMI .....</b>	<b>31</b>
3.1. YERYÜZÜNE GELEN GÜNEŞ IŞINIMI .....	31
3.2. GÜNEŞ IŞINIMI ÖLÇÜMLERİ .....	33
3.3. YERYÜZÜNE ULAŞAN GÜNEŞ IŞINIMININ HESABI.....	34
3.3.1. Yatay Düzleme Düşen Güneş Işınımı.....	34
3.3.1.1. Günlük Işınım Hesabı .....	34
3.3.1.2. Anlık Işınım Hesabı.....	38
3.3.2. Eğik Düzleme Düşen Güneş Işınımı .....	40
3.3.2.1. Anlık Işınım Hesabı.....	40
3.3.2.2. Günlük Işınım Hesabı .....	42

## BÖLÜM 4

### GÜNEŞ ENERJİSİ TOPLAYICILARI ----- 53

<b>4.1. DÜZLEMSEL GÜNEŞ TOPLAYICILARI</b> .....	<b>54</b>
4.1.1. Saydam Örtü .....	57
4.1.2. Yutucu Levha .....	58
4.1.3. Isı Yalıtım .....	62
4.1.4. Toplayıcı Kasası .....	63
4.1.5. Düzlemsel Güneş Toplayıcı Çeşitleri .....	63
4.1.6. Düzlemsel Güneş Toplayıcıları Testleri .....	64
<b>4.2. VAKUMLU GÜNEŞ TOPLAYICILARI</b> .....	<b>65</b>
4.2.1. Cam Tüp .....	66
4.2.2. Yutucu Yüzey .....	67
4.2.3. Isı Transfer Akışkanı .....	67
4.2.4. Isı Boruları .....	68
4.2.5. Sıcak ve Soğuk Su Manifold Sistemi .....	69
4.2.6. Vakumlu Güneş Toplayıcı Çeşitleri ve Çalışma Prensipleri .....	69
<b>4.3. YOĞUNLAŞTIRICI SİSTEMLER</b> .....	<b>71</b>
4.3.1. Parabolik Oluk Toplayıcılar .....	72
4.3.2. Parabolik Çanak Toplayıcılar .....	74
4.3.3. Merkezi Alıcı Güç Santralleri .....	75
<b>4.4. DÜZ TOPLAYICININ ISIL ANALİZİ</b> .....	<b>77</b>
4.4.1. Toplam Isı Transfer Katsayısı .....	77
4.4.2. Toplayıcı Sıcaklık, Verim ve Isı Kazanç Faktörleri .....	80
4.4.3. Toplayıcı Verimi .....	85

## BÖLÜM 5

### ENERJİ DEPOLAMA ----- 87

<b>5.1. ISI ENERJİSİ DEPOLAMA SİSTEMLERİ</b> .....	<b>87</b>
5.1.1. Duyulur Isı Depolama .....	89
5.1.1.1. Sıvı Ortamda Duyulur Isı Depolama .....	91
5.1.1.2. Katı Ortamda Duyulur Isı Depolama .....	93
5.1.1.3. İkili Ortamda Duyulur Isı Depolama .....	97
5.1.2. Gizli Isı Depolama .....	97
5.1.2.1. Faz Değişim Maddeleri .....	101
5.1.2.2. Isı Depolama Üniteleri .....	106
5.1.3. Termokimyasal Depolama .....	106
<b>5.2. ELEKTRİK ENERJİSİ DEPOLAMA</b> .....	<b>110</b>

**BÖLÜM 6**  
**GÜNEŞ ENERJİLİ SICAK SU SİSTEMLERİ----- 115**

<b>6.1. DOĞAL DOLAŞIMLI SİSTEMLER .....</b>	<b>117</b>
6.1.1. Açık devreli Sistemler .....	117
6.1.2. Kapalı Devreli Sistemler.....	118
<b>6.2. POMPALI SİSTEMLER .....</b>	<b>122</b>
6.2.1. Açık Devreli Sistemler.....	122
6.2.2. Kapalı Devreli Sistemler.....	124
<b>6.3. GÜNEŞ ENERJİLİ SICAK SU SİSTEMLERİNİN PROJELENDİRİLMESİ .....</b>	<b>128</b>
6.3.1. Otomatik Kontrol .....	129
6.3.2. Sistem Dizaynı .....	129
<b>6.4. PROJELENDİRME HESAP YÖNTEMLERİ .....</b>	<b>131</b>
6.4.1. f – Chart Metodu .....	131
6.4.2. Basitleştirilmiş Metot .....	138

**BÖLÜM 7**  
**GÜNEŞ PİLLERİ----- 143**

<b>7.1. GÜNEŞ PİLLERİNİN YAPISI VE ELEKTRİK ÜRETİMİ .....</b>	<b>144</b>
<b>7.2. GÜNEŞ PİLLERİNİN YAPIMINDA KULLANILAN MALZEMELER .....</b>	<b>147</b>
<b>7.3. GÜNEŞ PİLLERİ VE GÜÇ SİSTEMLERİ .....</b>	<b>151</b>
<b>7.4. PV SİSTEMLERİ YARDIMCI EKİPMANLARI .....</b>	<b>155</b>

**BÖLÜM 8**  
**GÜNEŞ ENERJİSİNİN DİĞER UYGULAMALARI ----- 157**

<b>8.1. GÜNEŞ ENERJİSİYLE SOĞUTMA.....</b>	<b>157</b>
<b>8.2. GÜNEŞ ENERJİSİ İLE SU DAMITMA SİSTEMLERİ .....</b>	<b>163</b>
<b>8.3. GÜNEŞ ENERJİSİ İLE KURUTMA SİSTEMLERİ.....</b>	<b>167</b>
<b>8.4. SERALARIN ISITILMASINDA GÜNEŞ ENERJİSİ.....</b>	<b>170</b>
<b>8.5. GÜNEŞ FIRINLARI VE PIŞİRİCİLERİ.....</b>	<b>173</b>
<b>8.6. GÜNEŞ ENERJİSİ İLE BUHAR VE ELEKTRİK ÜRETİMİ .....</b>	<b>177</b>
<b>8.7. GÜNEŞ ENERJİSİ İLE HACİM ISITMA.....</b>	<b>181</b>

**KAYNAKLAR ----- 187**

**EKLER----- 189**

# BÖLÜM 1

## GÜNEŞ ENERJİSİ

### 1.1. GİRİŞ

Hava, su ve enerji insan ve hayat için ön önemli üç unsurdur. Önem sırasına göre bu üç unsur hayatın vazgeçilmezleri arasındadır. İnsanın yaşaması ve faaliyetlerini devam ettirebilmesi için enerjiye ihtiyacı olduğu gibi, insanlığın ve medeniyetin devamı da enerjiye bağlıdır. Beynin çalışması için enerji gerektiği gibi, kasların hareketi için enerji gerekir. Enerji günümüzde tüm çeşitleriyle hayatın her yerinde kullanılmaktadır. Aydınlanma için elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Elektrik enerjisini birçok elektrikli ve elektronik cihazların çalıştırılması için de kullanılmaktadır. Enerjinin bir diğer çeşidi olan ısı enerjisi ile taşıtlar hareket ettiği gibi, ısınma ve sıcak su gibi temel birtakım ihtiyaçlarımızı da ısı enerjisi ile karşılamaktayız. Bu kadar önemli olan enerjinin önemi insanlar tarafından ilk çağlardan itibaren kavranmış ve enerjiyi etkin kullanan ve enerji kaynaklarına sahip olan devletler hep hükmedenler olmuştur. Kömürün bulunmasıyla Avrupa sanayi devrimini başlatmıştır. Elde ettiği bu muazzam güç ile dünyaya hükmetmiştir. Daha sonraları bulunan petrol ise dünya savaşlarının sebebi olmuştur. Günümüzde birçok çatışmanın temelinde hep aynı neden bulunmaktadır. Körfez savaşı, Irak işgali ve Filistin sorununun altında hep enerji yataklarını kontrol etme sebebi yatmaktadır. Enerji yataklarının sınırlı olması, rezervlerin onlu yıllarla ifade edilmesi enerjinin önemini gün geçtikçe artırmaktadır. Azalan petrol, doğal gaz ve kömür rezervleri insanlık önünde önemli bir problem olarak dururken buna ilave olarak küresel ısınma sorunu da ortaya çıkmıştır. Küresel ısınma neticesinde dünya iklimi-

minde beklenen değişimlere bağlı olarak, bazı önemli problemler ortaya çıkacağı tahmin edilmektedir. Eriyecek olan buzulların doğuracağı problemlerin yanı sıra, çölleşme bir diğer önemli sorun olarak görülmektedir. Küresel ısınmaya ise atmosfere atılan bazı gazların sera etkisi oluşturması neden olmaktadır. Bu gazların da önemli bir kısmı fosil yakıtların yanması sonucu oluşan gazlardır. Fosil kaynaklı tüm yakıtların yanması sonucu oluşan Karbondioksit ve su buharı atmosfer tabakaları arasında birikmektedir. Her yıl atmosfere milyon tonlar mertebesinde atılan bu gazlar atmosferde önemli bir tabaka oluşturmaktadır. Bu gazlar atmosferde aynen seralardaki şeffaf örtünün yaptığı işi yaparak, güneşten gelen kısa dalga boylu ışınımı geçirmekte buna karşın, dünya yüzeyinin yaptığı uzun dalga boylu ışınımı önemli miktarda yutmakta veya geri yansıtılmaktadır. Böylece yeryüzünün soğuması engellendiğinden, dünyanın atmosferi ile beraber sıcaklığı artmaktadır. Bu nedenle ekolojik dengenin bozulması sonucu, dünya üzerindeki hayatın devamı zorlaşmaktadır.

Bütün yukarıda sayılan sebepler, insanlığı yeni enerji arayışlarına yöneltmiştir. Bulunan atom enerjisi ilk anlarda yaygın olarak kullanılmış fakat nükleer atıklar ve nükleer kazalar, bu enerjinin de kullanılmasını sınırlandırmıştır. Enerjiye olan ihtiyaç artarak devam ettiği için de fosil kaynaklı ve nükleer enerjiden vazgeçmek, yakın bir tarihe kadar, pek mümkün görülmemektedir. Dünya nüfusunun %4 gibi az bir kısmını oluşturan ABD, sera etkisi yapan gazların %25 gibi önemli bir bölümünü atmosfere atmaktadır. Dünya atmosferini en çok kirleten ülke olarak ABD, Kyoto protokolünü ise tanımamaktadır. ABD'yi Çin, Rusya Federasyonu, Japonya, Hindistan, Almanya ve İngiltere izlemektedir.

İkincil veya yenilenebilir enerji adı verilen enerji kaynaklarına dönük çalışmalar ise 1973 enerji krizinden sonra artmış, daha sonra bir azalma eğilimine girmiş ve günümüzde ise özellikle küresel ısınma probleminin ortaya çıkmasıyla tekrar hız kazanmıştır. Bu enerji türlerinden en önemlisi güneş enerjisidir. Rüzgar ve jeotermal enerji de önemli kaynaklar arasında görülmektedir. Rüzgar enerjisi de dolaylı bir güneş enerjisidir.

Dünya ve Türkiye için enerji tüketim ve enerji projeksiyonlarına baktığımızda enerjinin ne kadar önem kazanacağını görmek mümkün olacaktır. Dünyada yılda yaklaşık 9 milyar ton petrol eşdeğeri (TEP) enerji kullanılmaktadır. Dünya yıllık enerji tüketiminin %30' u katı yakıtlardan, %37'si sıvı yakıtlardan, %24'ü gaz yakıtlardan ve geriye kalan %9' u diğer kaynaklardan karşılanmaktadır. Gelişmiş ülkelerde kişi başına yıllık enerji tüketimi ortalama 4.720 TEP iken, dünya ortalaması 1.4 TEP civarındadır.

Dünya devletlerine baktığımızda özellikle Almanya'da yenilenebilir enerji kaynakları yatırımlarının önemli ölçüde arttığını görmekteyiz. Almanya, şu anda dünyada rüzgar enerjisi kurulu güç açısından lider durumdadır ve enerji projeksiyonlarında bunun artarak devam edeceğini görmekteyiz. 2000 yılı itibari ile yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam elektrik üretimindeki yüzdesi %7 iken, 2010 da %16, 2020 de %27 ve 2050 de %64 e çıkarmayı planlamaktadır. Toplam enerji tüketimi içinde yenilenebilir enerjinin payı ise % 3.1 civarındadır.

Türkiye'de genel enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı 2005 yılı itibari ile şu şekildedir:

Petrol	%38
Doğal Gaz	%22
Kömür	%27
Yenilenebilir	%13

Burada yenilenebilir enerji içinde hidroelektrik santraller de yer almaktadır.

Türkiye'de; tüketilen tüm enerjinin sektörlere ve kullanım yerlerine göre dağılımı da aşağıdaki gibidir;

Konut;	% 23.9
Sanayi;	% 32.7
Ulaştırma;	% 15.7
Tarım;	% 3.8
Diğer;	% 2.5
E. Santralleri	% 21.8

Toplam enerji talebinin yerli üretimle karşılama oranı ülkemizde oldukça düşüktür ve önümüzdeki yıllarda daha da azalacağı tahmin edilmektedir. Bu oran 2005 yılında %26 iken 2020 yılında ise %24 olacağı enerji projeksiyonlarında tahmin edilmektedir. Jeotermal enerji 2020 yılında 6269 TEP, rüzgar enerjisi 23 TEP ve güneş enerjisi 828 TEP olarak görülmektedir. Yenilenebilir enerjinin toplam değeri 7120 TEP olmakta ve üretimin sadece %10 u yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanacaktır.

Güneş enerjisinin en ekonomik ve en yaygın kullanılan türü güneş enerjisi ile sıcak su ısıtma sistemleridir. Sadece iki adet kaliteli düzlemsel güneş kolektörüne sahip bir güneş enerjisi sisteminin ürettiği sıcak su ile, bir yılda yaklaşık olarak:

3 000 kg odunun,  
765 kg fuel-oil (kalorifer yakıtı) in,  
1 088 kWh elektrik enerjisinin,  
720 kg LPG nin,  
960 m<sup>3</sup> Doğal gazın,  
2 200 kg yerli-Soma kömürünün,  
1 480 kg ithal taş kömürünün,

yakıt olarak yakılmasının ve bunlardan ortaya çıkacak CO<sub>2</sub> gazının önüne geçilmiş olacaktır. Bir kg taş kömürü yakıldığında yaklaşık 3-4 m<sup>3</sup> duman ortaya çıkmakta ve bunun yarıya yakını da CO<sub>2</sub> den oluşmaktadır. Bu sonuçlardan hareketle iki kollektörlü bir güneş enerjisi sistemi ile, bir yılda yaklaşık 1600-1800 m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> gazının atmosfere verilmesi engellenmektedir. Bunun yanında, SO<sub>2</sub> , NO<sub>x</sub> , toz ve partiküllerinde atmosfere verilmesi de engellenmiş olmaktadır. Bu gazlardan CO<sub>2</sub> sera gazıdır ve küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Bu da dünyanın ekolojik dengesini bozmaktadır. Diğer bileşenler ise hava kirliliği yapan gazlardır.

Türkiye'nin sanayi, konut, ısıtma, soğutma, ulaşım, tarım gibi değişik alanlarda kullandığı her türlü enerjinin toplam maliyeti, özellikle petrol fiyatlarına bağlı olarak değişmekle birlikte; yıllık toplam olarak 15 - 20 Milyar \$ arasında değişmektedir. Türkiye'nin tüm enerji ihtiyacının % 65 - 68 arasındaki bir oranı ithalat yolu ile yurt dışından karşılandığı için, Türkiye enerji ihtiyacını karşılamak için yurt dışına yılda, 11-17 Milyar\$ para ödenmektedir.

Konutlarda kullanılan enerjinin tahminen % 3-5'i ve sanayide kullanılan enerjinin % 3-4'ü sıcak su ihtiyaçları için harcanmaktadır. Buna göre, Türkiye de kullanılan enerjinin yaklaşık % 6-9'u sıcak su için harcanıldığı anlaşılmaktadır. Toplam 15-20 Milyar \$ lık enerji harcamasının içinde sıcak su için harcanan enerji kaynaklarının parasal değeri; yılda toplam olarak; 1.2-2.2 Milyar \$ arasında değiştiği söylenebilir. Bu miktar içerisinde Türkiye de güneş enerjisi ile karşılanan sıcak suyun parasal karşılığı yılda 120 Milyon \$ civarındadır. Belirtilen büyük miktarlarda para sıcak su üretimi için her yıl harcanmakta ve bu paranın % 60 lik kısmı dışarıya döviz olarak çıkmaktadır.

Yeryüzünün herhangi bir noktasına gelen güneş enerjisi şafak sökerken düşmeye başlar, öğle vakti maksimum seviyeye ulaşır ve daha sonra azalarak gün batışında sıfıra iner. Tropikal kuşakta yeryüzünde birim

alana günlük gelen güneş enerjisi miktarı 5 kWh civarındadır. Havanın çok açık olduğu yerlerde (örnek olarak Namibya) 7 kWh değerine kadar çıkabilir. Ülkemizde bu değer ortalama 3.6 kWh civarındadır.

Halen ülkemizde kurulu olan güneş kolektörü miktarı yaklaşık 12 milyon m<sup>2</sup> olup, yıllık üretim hacmi 750 bin m<sup>2</sup>'dir ve bu üretimin bir miktarı da ihraç edilmektedir. Güneş enerjisinden ısı enerjisi yıllık üretimi 420 bin TEP civarındadır. Bu haliyle ülkemiz dünyada kayda değer bir güneş kolektörü üreticisi ve kullanıcısı durumundadır.

Ülkemiz, güneş kuşağı adı verilen ve güneş enerjisince zengin bir bölgede yer almasına rağmen, güneş enerjisinden yeteri kadar faydalanamamaktadır. Ülkemizde ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.640 saat, yıllık güneş enerjisi ışınım şiddeti 1.311 kWh/m<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Bölgelerimize göre güneş enerjisi potansiyelinin dağılımını incelersek yıllık ortalama güneş ışınım şiddetinin;

Güney Doğu Anadolu Bölgesi'nde	1491.2 kWh/m <sup>2</sup> ,
Akdeniz Bölgesi'nde	1452.7 kWh/m <sup>2</sup> ,
İç Anadolu Bölgesi'nde	1432.6 kWh/m <sup>2</sup> ,
Ege Bölgesi'nde	1406.6 kWh/m <sup>2</sup> ,
Doğu Anadolu Bölgesi'nde	1398.4 kWh/m <sup>2</sup> ,
Marmara Bölgesi'nde	1144.2 kWh/m <sup>2</sup> ,
Karadeniz Bölgesi'nde	1086.3 kWh/m <sup>2</sup> olduğu ölçülmüştür.

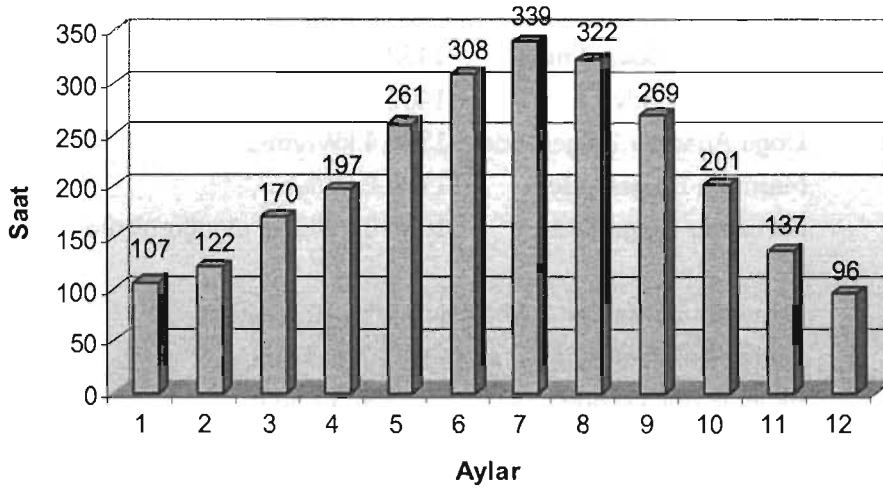
Güneşlenme süreleri ise bölgelere göre şu şekildedir ;

Güney Anadolu Bölgesi'nin yılda	3015.8 saat,
Akdeniz Bölgesi'nde	2923.2 saat,
Ege Bölgesi'nde	2726.1 saat,
İç Anadolu Bölgesi'nde	2711.5 saat
Doğu Anadolu Bölgesi'nde	2692.5 saat ,
Marmara Bölgesi'nde	2525.7 saat,
Karadeniz Bölgesi'nde ise	1965.9 saat olarak saptanmıştır.

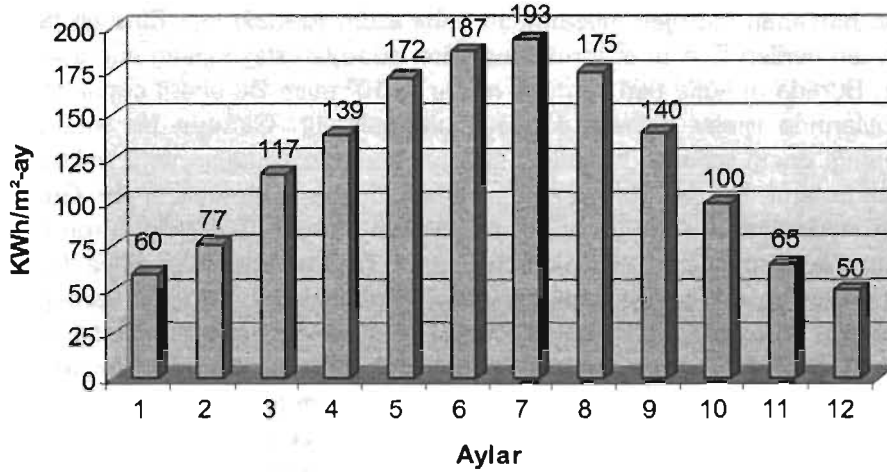
Tablo 1.1'de ülkemizde günlük ışınım şiddeti değerleri görülmektedir. Şekil 1.1'de Türkiye aylık güneşlenme süreleri Şekil 1.2'de ise Türkiye aylık ışınım şiddeti değerleri görülmektedir.

**Tablo 1.1.** Türkiye aylık güneş enerjisi potansiyeli(DMİ).

AYLAR	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme süresi
	Kcal-cm <sup>2</sup> -ay	KWh/m <sup>2</sup> -ay	Saat/ay
OCAK	5,13	59,7	106,9
ŞUBAT	6,59	76,6	135,2
MART	10,04	116,8	170,2
NİSAN	11,96	139,1	203,5
MAYIS	14,75	171,5	260,5
HAZİRAN	16,07	186,9	318,1
TEMMUZ	16,63	193,4	339,3
AĞUSTOS	15,03	174,8	322,3
EYLÜL	12,06	140,3	277,9
EKİM	8,60	100,0	200,6
KASIM	5,56	64,7	142,0
ARALIK	4,30	50,0	96,3
TOPLAM	126,73	1473,9	2572,7
ORTALAMA	347 cal cm <sup>2</sup> -gün	4 KWh/m <sup>2</sup> -gün	7 saat/gün

**Şekil 1.1.** Türkiye aylık güneşlenme süreleri (DMİ)

Ülkemizin güneş enerjisinden ve diğer tükenmez enerjilerden yararlanma konusunda diğer birçok ülkeye göre avantajlıdır. Çünkü, ülkemiz güneş kuşağı denilen ve ekvatora göre kuzey ve güney 40 enlemlerini kapsayan bölgede bulunmaktadır. Dolayısıyla enerjinin öneminin gittikçe artacağı önümüzdeki yıllarda, ülkemizin yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi ve bu konuya önem vermesi gerekmektedir.



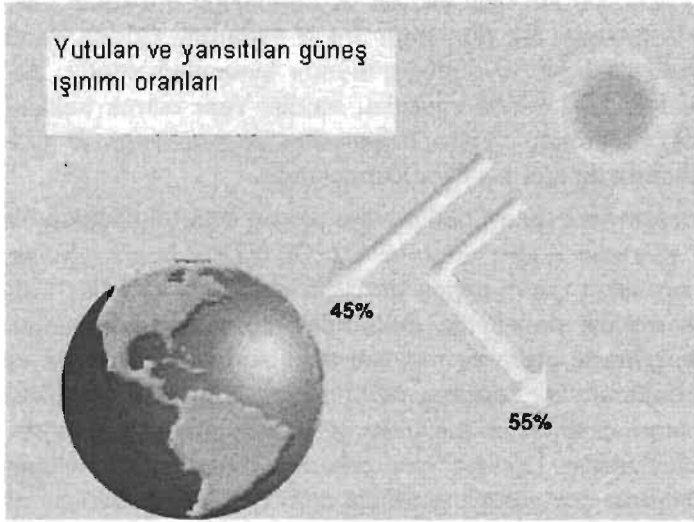
Şekil 1.2. Türkiye aylık ışınım şiddeti değerleri (DMİ)

## 1.2. GÜNEŞ VE GÜNEŞ ENERJİSİ

Dünyaya en yakın yıldız olan güneş, yer kürenin başlıca enerji kaynağıdır. Çapı 1.400.000 km olan yıldızın bu büyüklüğü dünyanın yaklaşık 109 katıdır. Yoğunluğu ise dünyanın 1/4 ü kadardır. Güneş kendi çevresinde dönüşünü yaklaşık 90 dünya gününde tamamlamaktadır. Samanyolu galaksisindeki 200 milyar yıldızdan biridir. Yapı olarak bakıldığında güneşin %90'ı hidrojen, %10'u helyumdan oluşmaktadır. Bunun yanında çok az miktarda da ağır metaller içermektedir.

Güneş, hidrojen ve helyum gazlarından oluşan orta büyüklükte bir yıldızdır. Sıcaklığı merkeze doğru artar ve 20.000.000°C bulur. Güneş, ortalama 6000 K sıcaklıkta ışınım yapan bir cisim olarak kabul edilir. Güneşteki bu yüksek sıcaklık nedeni ile elektronlar atom çekirdeklerinden ayrılır. Bu sebeple, güneşte atom ve molekül değil serbest elektronlar ve atom çekirdekleri bulunur. Bu karışıma plazma adı verilir. Bu sıcaklıkta, hafif elementlerin atom çekirdekleri bir araya gelerek daha ağır elementlerin çekirdeklerini oluştururlar. Dört hidrojen çekirdeği birleşerek bir helyum çekirdeği yapar. Birleşme çok yüksek sıcaklıkta olur. Füzyon adı verilen bu olay, yüksek sıcaklıkta ve atom çekirdeği yardımıyla olduğundan termonükleer reaksiyon adını alır. Güneşin içi, yakıtı hidrojen ve ürünü helyum olan çok büyük bir fırın olarak düşünülebilir. Güneşte oluşan helyum mik-

tarı harcanan hidrojen miktarından daha azdır. Aradaki fark Einstein tarafından verilen  $E = m c^2$  formülüne göre, güneşte ortaya çıkan enerjiyi verir. Burada  $m$  kütle (kg) ve  $c$  ışık hızıdır ( $3 \cdot 10^8$  m/s). Bu enerji çeşitli dalga boylarında ışınlar halinde dünyaya ulaşmaktadır. Güneşin bir saniyede ürettiği enerji miktarı, insanlığın şimdiye kadar kullandığı enerji miktarından fazladır. Dünya, güneşten gelen enerjinin çok az bir kısmını alır. Güneşin merkezinde bir saniyede 564 milyon ton hidrojen 560 milyon ton helyuma dönüşmektedir. Aradaki 4 milyon ton madde farkı ise enerjiye dönüşerek, ısı ve ışık enerjisi halinde uzaya yayılmaktadır. Dünyaya güneşten yaklaşık 170 milyar MW ışınım enerjisi gelmektedir. Güneşin ürettiği toplam enerji göz önüne alındığında, bu çok küçük bir kısımdır. Ancak bu tutar, dünyada insanoğlunun bugün için kullandığı toplam enerjinin 15-16 bin katıdır. Uzaya yayılan güneş ışınları yakıcı ve öldürücüdür. Işınların zararlı olanları, dünyaya ulaşmadan 22 km yukarıda, ozon gazı tarafından yutulur. Ozon gazı adeta bir filtre görevi yaparak canlıları zararlı ultraviyole ışınlarından korur. Son yıllarda ozon tabakasındaki yırtılmalar insanlığı endişelendirmiş ve bu tabakaya zarar veren maddelerin kullanımı sınırlandırılmıştır. Şekil 1.3 de güneşten dünyaya gelen ışınımın yansıyan ve yutulan kısımları görülmektedir.



**Şekil 1.3.** Güneşten dünya yüzüne ulaşan ve atmosferden yansıyan ışınım oranları.

Ozon gazı güneşin mor ötesi ışınlarını yutmakta tüm canlıları bu zararlı ışınlardan korumaktadır. Ozon şimdiki miktarından fazla olsa idi, canlı organizmaları için gerekli olan miktarı da yutacak ve canlıların gelişimi sağlıklı olmayacaktı. Hücrelerin, dokuların, kemiklerin gelişmesi, bünyenin serpilmesi, metabolizmanın düzenlenmesi için güneş ışınlarına ihtiyaç olduğu bilinen bir gerçektir. Atmosferdeki ozon gazı ne fazlası ne de azını geçirmeyip, canlılar için gerekli olduğu kadar mor ötesi güneş ışığının dünyaya ulaşmasını sağlamaktadır.

Dünya Atmosferine gelen güneş ışınımının, yaklaşık % 17,5'u atmosferi ısıtmak için harcanır. Yaklaşık % 35'i de bulutlardan ve yerden yansiyarak tekrar uzaya döner. Bu dönüşü engelleyen gazların (CO<sub>2</sub> gibi ) atmosferde birikmesi ile dünyanın küresel ısınma problemi ile karşı karşıya olduğu da bilinmektedir. Bulutların üst yüzeyi güneş ışınları için çok iyi bir yansıtıcı görevi görürler. Bu yansımada bulut cinsi, kalınlığı ve taşıdığı taneceklerin sayısı da önemli rol oynamaktadır. Yeryüzüne gelen ışınların bir kısmı da yansıtılır. Yansıyan ışınların miktarı toprağın cinsine, nem derecesine, rengine ve toprak üstü şartlara bağlıdır. Taze kar ideal bir yansıtıcıdır. Üzerine gelen ışınların yaklaşık % 90'ını yansıtır. Yansıtma, ışınların geliş açısına da bağlıdır. Aynı yerde günün değişik saatlerinde yansıtma değerleri farklıdır. Araştırmalar yeryüzü ve atmosferin ortalama % 35 yansıtma değerine sahip olduğunu göstermektedir. Güneşten gelen radyasyonun tümünü 100 birim kabul edersek atmosferi ısıtmak için harcanan ve yansiyarak uzaya dönen değerlerin toplamından sonra geriye yaklaşık 45 birim kalır ki, bu miktar yeryüzüne düşmektedir. Bu değer ortalama değerdir ve gün boyunca ve yılın günlerince değişim gösterir. Dünya güneşten yaklaşık 150 milyon km uzaklıkta bulunmaktadır. Dünya hem kendi çevresinde dönmekte, hem de güneş çevresinde eliptik bir yörüngede dönmektedir. Bu yönüyle, dünyaya güneşten gelen enerji hem günlük olarak değişmekte, hem de yıl boyunca değişmektedir.

Dünya, kendi çevresinde dönüşünden gece gündüzü oluştururken, güneş çevresinde dönüşümünden de, mevsimleri oluşturmaktadır. Dünyanın kendi çevresindeki dönüş eksenini, güneş çevresindeki dönme yörüngesi düzlemiyle 23,5°'lik bir açı yaptığından, yer yüzüne düşen güneş şiddeti yörünge boyunca değişmekte ve mevsimler de böylece oluşmaktadır. Ayrıca, bu eğrilik, yıl boyunca gündüz gece uzunluğunda da değişimler ortaya çıkartmaktadır. Dünyaya gelen güneş enerjisi, çeşitli dalga boylarındaki ışınımlardan oluşur ve güneş-dünya arasını yaklaşık 8 dakikada aşarak dünyaya ulaşır. Dünyanın dışına, yani hava kürenin dışına güneş ışınlarına

dik bir metre kare alana bir saniyede gelen güneş enerjisi,  $1367\text{W/m}^2$  dir. Bu değer, tanım gereği, yıl boyunca değişmez varsayılabilir. Bu sayı "**Güneş Sabiti**" olarak tanımlanır.

Hava küre dışına gelen güneş ışınlarının dalga boyları, içinde görünür bölgeyi de içerecek şekilde, morötesinden kırmızı altına dek uzanmaktadır. Başka bir deyişle, güneş ışınlarının dalga boyları  $0.1 - 3 \mu\text{m}$  (mikro metre) arasındadır. Her dalga boyunun şiddeti aynı değildir. Güneşten gelen ışınların dağılımına bakıldığında, bunların % 9 u mor ötesi bölgede, % 45 i görünür ışık bölgesinde ve geri kalanı ise kırmızı altı bölgesinde bulunur. Güneş ışınları havaküreyi geçerken belli yutulmalara uğrarlar. Bu yutulmalar, hava küreyi oluşturan gazlardan ve toz parçacıklarından kaynaklanır. Bunun dışında, görünür bölge ve kırmızı altı bölgelerindeki ışınlar, havadaki gaz molekülleri ve toz parçacıklarıyla etkileşme sonucu saçılırlar. Bu saçılma, her yöndedir ve böylece gelen güneş enerjisinin bir kısmı yeryüzüne ulaşmadan uzaya geri döner. Mavi renge karşılık gelen dalga boyları, kırmızı renge karşılık gelenlere kıyasla daha çok saçılırlar. Yeryüzünden bakıldığında göğün mavi renkte görünmesinin nedeni budur. Su damlacıkları da gelen ışınları saçılmaya uğratmada etkilidir. Yoğun bulutlar, gelen ışınların % 80 ini geri saçarak bu ışınların yeryüzüne ulaşmalarını önlerler. Dünyanın ortalama bulut örtüsünün % 50 dolayında olduğu düşünülürse güneş enerjisinde önemli bir kaybın bu şekilde ortaya çıktığı görülür. Yakın kırmızı altı bölgeye düşen ışınların yaklaşık % 20 si havadaki su buharı ve karbondioksitle yutulurlar. Bu yutulmalar sonucu hava kürenin ısınması ortaya çıkar. Eğik gelen güneş ışınları, dik gelmeye kıyasla daha uzun yol alacakları için, bu etkiler de artacaktır. Tüm bu etkiler sonucu yeryüzüne ulaşan güneş ışınları, direk ve yayılı olarak iki şekilde yeryüzüne ulaşırlar. Yayılı ışınlar, bulutlarca ve tozlarca saçılmaya uğratılmış ışınlardır. Direk gelenler ise bu tür etkilere uğramamış ışınlardır.

Güneş enerjisinin bir dönüşümü, rüzgarlar ve deniz dalgalarıyla okyanus akıntılarıdır. Rüzgarların oluşmasında, havanın bazı bölgelerinin değişik etkenler sonucu diğer bölgelere kıyasla daha sıcak ya da daha soğuk olmasından kaynaklanan basınç farklılıkları etkin olmaktadır. Bu ısınma ve soğumalarda da güneş etkin rol oynamaktadır. Deniz dalgaları ve akıntıları temelde rüzgarın etkisiyle ortaya çıkarlar. Dolayısıyla, rüzgar, deniz dalgaları ve akıntılar birer güneş enerjisi türevidir.

### 1.3. GÜNEŞ ENERJİSİNİN TARİHSEL GELİŞİMİ

İnsanlıkta, güneş enerjisinden faydalanma fikri çok eskilere dayanmaktadır. İlk zamanlar insanlar güneşe tapmışlar ve tanrı olarak kabul etmişlerdir. Socrates (M.Ö. 470 – 399) konutların ısı dengesi ve ısınması için güneş enerjisinden faydalanılması konusunda ilk öneri getiren bilim adamıdır. Xenophon's Memorable adlı eserinden alınan prensip şöyledir. "Binaların güney duvarlarını, kış güneşini alacak şekilde daha yüksek, kuzey duvarlarını da soğuk rüzgarlara maruz kalmaması için alçak yapmak en iyi bir düzenlemedir." Güneş enerjisi ile çalışan ilk su pompası Salama de Caus'un (1564 –1626 ) merceği icadı ile olmuştur. 1868'de Ericsson güneş enerjisinden buhar elde ederek makine işletmiş, 19. Yüzyılın başında güneş ışınlarındaki ısı şiddetini ölçen bir alet é Actiometeré Sır John Herschel tarafından bulunmuştur. Bu konuda ilk kitap 1903'de Charlos Pope tarafından İngilizce olarak yazılmıştır: "A Solar Heat-It's Practical Applications." İlk büyük sempozyum 1954'de Yeni Delhi de yapılmıştır.

1973'e kadar bu konuda pek fazla bir ilerleme kaydedilmemiştir. Bunun ana sebepleri savaş ve enerjinin elde edildiği petrol fiyatlarının düşük olmasıdır. Temmuz 1973 de UNESCO tarafından Paris'te toplanan konferansta, o zamana kadar yapılan bütün güneş enerjisi araştırmaları gözden geçirilmiştir. Ekim 1973'de bilinen petrol krizi, bütün araştırmacıları yeni enerji kaynaklarının araştırılmasına yöneltmiştir. 1975 yılında sadece A.B.D.'de güneş enerjisinden % 100 yararlanan 200 kadar konut ısıtması yapılmış, 5 yıl için yaklaşık 1 milyar dolar bu işe tahsis edilmiştir. Bunun yanında, 1954 de Bell laboratuarında gerçekleştirilen güneş pilleri, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren aygıtlar olarak giderek yaygın kullanım alanları bulmuşlardır. Güneş pillerinin ilk büyük ölçekli uygulama alanı, uzay çalışmalarında olmuştur. Uzay araçlarına enerji sağlamada bu piller en uygun gereç olmuşlardır. Önceleri küçük ölçeklerde çeşitli yerlerde kullanılan güneş pilleri giderek daha geniş kullanım alanlarına yayılmışlardır. Yaygın kullanımla birlikte bu pillerin verimleri artmış ve fiyatları da oldukça düşmüştür.

Bu gün bu pillerle çalıştırılan güneş otomobilleri, güneş uçağı , güneş gemisi, elektrik ağına uzak yerlerdeki uygulamalar, güneş pilleri ile çalışan elektrik santralleri bulunmaktadır. Görüldüğü gibi, günlük güneş enerjisini insanoğlu ısıya ve elektriğe dönüştürerek kullanılmakta ve bu kullanımlar giderek yaygınlık kazanmaktadır.

## 1.4. GÜNEŞ ENERJİSİ UYGULAMA ALANLARININ SINIFLANDIRILMASI

Güneş enerjisi uygulamalarını sıcaklık aralığına göre;

- \* Düşük sıcaklık (20–100°C),
- \* Orta sıcaklık (100-300°C) ,
- \* Yüksek sıcaklık (>300°C)

olmak üzere üç grupta toplayabiliriz. En yaygın uygulamalardan bazıları aşağıda verilmektedir.

### **Düşük Sıcaklık Uygulamaları**

Kullanım sıcak suyu elde edilmesi  
Konut ısıtılması-soğutulması  
Sera ısıtılması  
Kurutma  
Yüzme havuzu ısıtılması  
Güneş ocakları ve fırınları  
Deniz suyundan tatlı su elde edilmesi  
Tuz üretimi

### **Orta Sıcaklık Uygulamaları**

Endüstriyel kullanım için buhar üretimi  
Büyük ısıtma-soğutma sistemleri  
Elektrik Üretimi

### **Yüksek Sıcaklık Uygulamaları**

Güneş fırınları  
Güç Santralleri

Güneş enerjisi uygulamalarının bir diğer sınıflandırması ise şu şekilde yapılabilir:

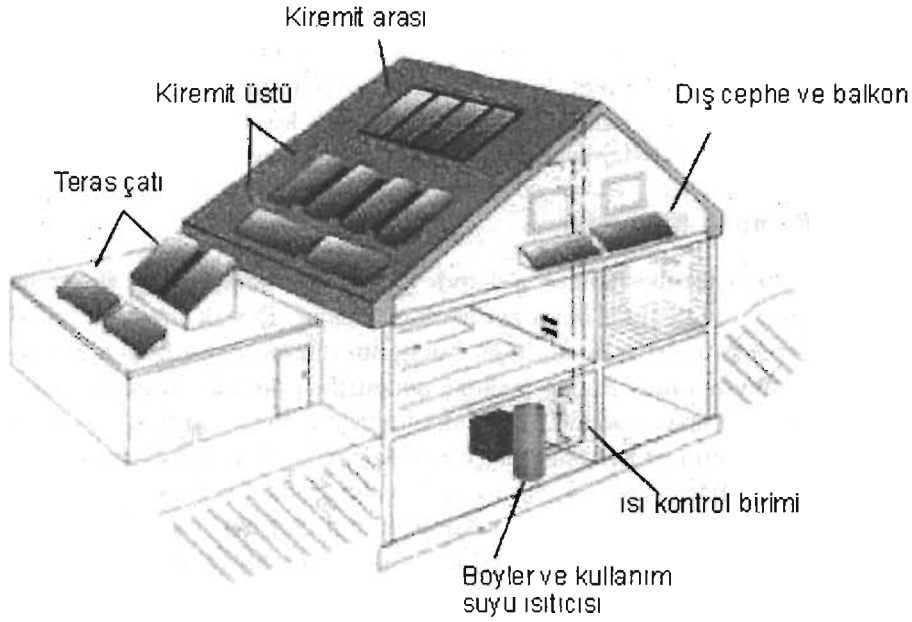
Aktif Sistemler  
Pasif Sistemler  
Fotovoltaik Uygulamalar

## 1.5. GÜNEŞ ENERJİSİ UYGULAMALARI

Günümüzde güneş enerjisinin birçok uygulama alanları vardır. Bunların önemlileri aşağıda açıklanmıştır.

### Hacim Isıtma:

Güneş enerjisinden yararlanılarak evler güvenli ve ucuz bir şekilde ısıtılabilir. Aktif ve pasif sistemler beraberce kullanılabilir. İdeal olarak güneş kolektörleri ile üretilen sıcak hava veya su, güneş pilleri ile üretilen elektrik ve ısı tutucu pasif sistemler birlikte kullanılır. Şekil 1.4'de böyle bir uygulama örneği görülmektedir.



Şekil 1.4. Örnek Bir Hacim Isıtma Sistemi.

### Evlerde ve Sanayide Su Isıtma Sistemleri

Kullanım suyu için güneş enerjili sıcak su sistemleri en yaygın kullanılan güneş enerjisi sistemleridir. Teknolojisi oldukça basit olduğundan gelişmiş ülkelerde olduğu gibi gelişmekte olan ülkelerde de güvenilir güneşli su ısıtıcıları yapılmaktadır.

Güneş kolektörlü sistemler doğal dolaşimli ve pompalı olmak üzere ikiye ayrılırlar. Her iki sistem de ayrıca açık ve kapalı sistem olarak dizayn edilirler.

### **Doğal Dolaşimli Sistemler :**

Doğal dolaşimli sistemler, ısı transfer akışkanının sıcaklıkla yoğunluğunun azalması dolayısıyla oluşan kaldırma kuvvetiyle sirkülasyonun sağlandığı sistemlerdir. Kollektörlerde ısınan suyun yoğunluğunun azalması ve yükselmesi özelliğine dayanmaktadır. Bu tür sistemlerde deponun, kollektörün üst seviyesinden en az 25 cm yukarıda olması gerekmektedir. Deponun alt seviyesinden kendi ağırlığı ile aşağıda bulunan kolektöre giren soğuk (ağır) su, kollektörlerde ısınarak hafifler ve deponun üst seviyesine yükselir. Gün boyu devam eden bu olay sonunda depodaki su ısınmış olur. Doğal dolaşimli sistemler daha çok küçük miktarda su ihtiyaçları için uygulanır. Deponun yukarıda bulunması zorunluluğu nedeniyle büyük sistemlerde uygulanamazlar. Pompa ve otomatik kontrol devresi gerektirmediği için pompalı sistemlere göre biraz daha ucuzdur.

### **Pompalı Sistemler :**

Isı transfer akışkanının sistemde pompa ile dolaştırıldığı sistemlerdir. Deposunun yukarıda olma zorunluluğu yoktur. Büyük sistemlerde basınç kaybının artması sonucu doğal dolaşımın olmaması ve büyük bir deponun yukarıda tutulmasının zorluğu nedeniyle pompalı sistemler kullanılmaktadır. Pompalı sistemler otomatik kontrol devresi yardımı ile çalışırlar. Depo tabanına ve kollektör çıkışına yerleştirilen diferansiyel termostatın sensörleri; kollektörlerdeki suyun depodaki sudan 10° C daha sıcak olması durumunda pompayı çalıştırarak sıcak suyu depoya alır, bu fark 3° C olduğunda ise pompayı durdurur. Pompa ve otomatik kontrol devresinin bazen arızalanması ve işletme masrafları nedeniyle bu sistemler daha pahalı sistemlerdir.

### **Açık Devreli Sistemler :**

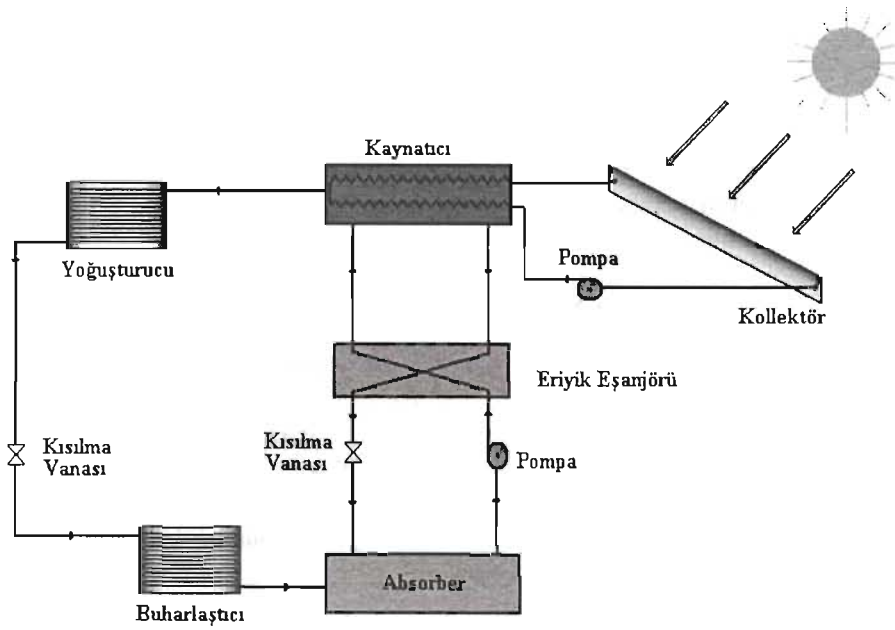
Açık devreli sistemler kullanım suyu ile kollektörlerde dolaşan suyun aynı olduğu sistemlerdir. Kapalı sistemlere göre verimleri yüksek ve maliyeti ucuzdur. Suyu kireçsiz ve donma problemlerinin olmadığı bölgelerde kullanılırlar.

### Kapalı Sistemler :

Kullanım suyu ile ısıtma suyunun farklı olduğu sistemlerdir. Kollektörlerde ısınan su depo içindeki bir eşanjör vasıtasıyla ısısını kullanım suyuna aktarır. Donma, kireçlenme ve korozyona karşı çözüm olarak kullanılırlar. Maliyeti açık sistemlere göre daha yüksek verimleri ise eşanjör nedeniyle daha düşüktür.

### Hacim Soğutma

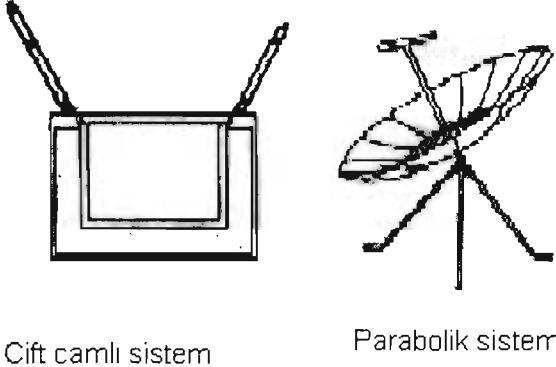
Güneş enerjisi ile hacim soğutulmasında farklı sistemler kullanılabilir. Bunlardan en önemlileri Rankin çevrimi ile beraber çalışan buhar sıkıştırılmalı soğutma sistemi ve absorpsiyonlu soğutma sistemleridir. Son yıllarda öne çıkan sistemler absorpsiyonlu soğutma sistemleridir. Bu sistemlerde enerji kaynağı olarak ısı enerjisi kullanılır. Isı enerjisi kaynağı olarak güneş enerjisi de kullanılmaktadır. Bu sistemlerin şeması Şekil 1.5 de görülmektedir.



Şekil 1.5. Absorpsiyonlu Soğutma Sistemi.

### Güneşli Pişirme Sistemi

Güneş pişiricilerinin, yüksek birim maliyetleri, akşam saatlerinde yemek pişirmek için ısı depolama olanağının bulunmaması, kır koşullarına dayanıklı ve güvenilir olmamaları gibi dezavantajları nedeniyle pek yaygın kullanma alanları yoktur. Şekil 1.6'da güneş pişiricileri görülmektedir.



**Şekil 1.6.** Güneş Pişiricileri

Geliştirilen güneş pişiricileri 2 tiptir.

1. Çift camlı, izole edilmiş bir kutudan ibaret ve elle yönlendirilmesi gereken güneş ısı kutuları,
2. Kabin yerleştirildiği odak bölgesinde direkt ışınları yoğunlaştıran parabolik düzlem tipi yansıtıcılar,

### Su Pompalama Sistemi

Direkt güneş enerjisinin sulama ve içme suyu pompalamasında kullanılması çeşitli açılardan bakıldığında gelecek için ümit vermektedir. Çoğu güneş pompalama tesisatı fotovoltaik veya ısıl tiptedir. Her iki tipten pek çok tesis dünyanın her yerinde işletilmektedir. Güneş enerjisi ile su pompalama sistemleri, değişik güçlerde, farklı tip pompalarla ya da doğrudan ve elektronik pompa kontrol üniteleri gibi farklılıklar içerse de genel olarak üç ana başlık altında toplanabilir.

Güneş enerjisi ile kullanım/içme suyu pompalama.

Tarımsal amaçlı su pompalama.

Hayvansal sulama amaçlı su pompalama.

### **Elektrik Üretim Sistemi**

Güneş enerjisi ile elektrik, güneş pilleri ve termik santral olmak üzere iki değişik yol ile üretilebilir. Çok küçük güçler (5 kW'a kadar) için fotovoltaik piller kesinlikle en uygundur. Uzak ve küçük yerleşim birimleri için bu yolla elektrik üretimi kısmen ekonomik olmakla birlikte, genelde bugün, güneşten üretilen elektriğin genelde çok pahalı olduğu akılda tutulmalıdır. Fotovoltaik piller uzak bölgeler ve sadece zayıf güç gereksinen ekipman: okul televizyonları (20-30 W), hava radyo-gemicilik sistemi (6-400 W), demir yolu sinyalleri (500W'a kadar), kırsal bölgelerde telefon (0,5-50 W) için ideal güç kaynağıdır. Daha yüksek miktarlarda elektrik üretimi (1 MWe ve daha fazla) ancak üretilen elektriğin tek bir elektrik şebekesine entegre edilmesi halinde doğrulanabilir. Güneş enerjisini gece kullanımı için depolamanın zorluğu, başka nedenlerle birlikte, güneş tesislerinin tek başlarına kullanımını engelleyebilir.

### **Kereste ve Ürün Kurutulması Sistemi**

Ürün kurutulması, güneş enerjisinden yararlanmanın bilinen en eski şeklidir. Geleneksel olarak kurutma, ürünleri açık havada yere yayılarak yapılır. Ancak bu şekilde kurutulan ürünler kötü hava şartları, toz ve haşaratlarla da karşı karşıya kalmaktadırlar. Bu tür riskleri azaltmak amacıyla güneş kurutucuları planlanarak inşa edilmiş ve yaygın biçimde kullanıma girmişlerdir. İlk zamanlarda güneş kurutucuları tamamen seralar gibi düşünülmüşlerdi. Genelde güneş kurutucuları; uygun bir güneş toplayıcısıyla ısıtılan havayı doğal ya da zorlamalı olarak kurutulmak istenen ürünlerin arasından dolaştırmak prensibine dayanmaktadır. Güneş toplayıcısı ya da genelde kullanılan adıyla hava ısıtıcısı güneş kurutucusunun dışında olabileceği gibi kurutucunun birleştirilmiş bir parçası şeklinde de olabilmektedir.

### **Merkezi Alıcı Güç Santralleri**

Güneş enerjisini yoğunlaştırarak elektrik üreten diğer bir uygulama da merkezi alıcı güç santralleridir. Bu santrallerde güneş enerjisi, heliostat denen aynalar yardımı ile bir kule üzerine yerleştirilmiş olan alıcıya yansıtılır. Bu yolla 1000°C'nin üzerinde sıcaklık elde edilebilir. Heliostatlar, merkezi bir bilgisayar yardımı ile güneşi takip ederek güneş enerjisini kule üzerindeki alıcıya yansıtırlar. Alıcıda ısıtılan akışkan, buhar jeneratörüne gönderilerek buhar üretilir. Bu buhar, buhar türbininden geçirilerek elektrik

üretilir. Bu amaçla, Avrupa, Japonya ve ABD de 6 adet santral inşa edilmiştir. Günümüze kadar tesis edilmiş olan merkezi alıcı sistemlerin işletilmesi sonucunda, büyük sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu sistemlerden 2'si ekonomik olmadığından parçalara ayrılarak ve 3 tanesi de kapatılarak proje çalışmalarına son verilmiştir. Şekil 1.7'de güneşli merkezi alıcı güç sisteminin fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 1.7. Merkezi alıcı güç sistemi.

### **Pasif Isıtma Sistemleri**

Güneş enerjisini toplamada en basit yöntem, binaların pencerelerini, soğuk mevsimde mevcut güneş enerjisini sistematik olarak toplayacak biçimde dizayn etmektir. Fan ve pompalar gibi yardımcı ekipmandan yararlanılmayan güneş toplama yöntemleri pasif sistemler olarak bilinir. Şekil 1.8 de ana pasif sistemler gösterilmiştir.

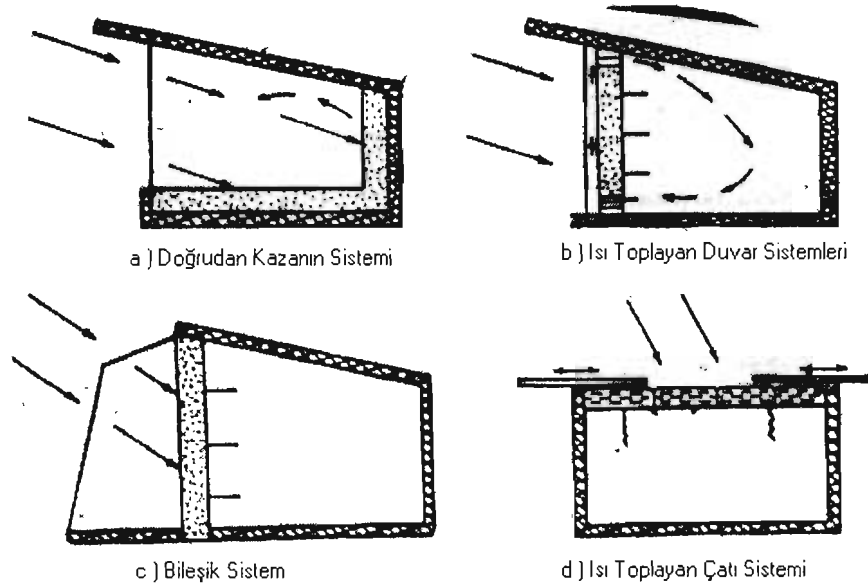
#### **A - Doğrudan kazanım sistemleri ;**

Güneşin uygun yönlendirilmiş pencerelerden doğrudan içeriye geçmesini sağlar.

#### **B - Isı toplayan duvar sistemleri ;**

Öncelikle üzerindeki dış ısı kaybını azaltmak için şeffaf bir dış örtü ile kaplanmış dikey bir duvarın karartılmış dış yüzeyinde enerji soğurulur.

Soğurulan ısı daha sonra içeriye taşınım ve ışıma olmak üzere iki yolla verilebilir.



Şekil 1.8. Pasif Güneşli Isıtma Sistemleri

### C - Birleşik sistemleri :

Uygun yönlendirilmiş bir sera ile uygun yönlendirilmiş duvarın bir araya getirilmesiyle oluşturulur. Arkadaki duvar bu amaçla yalıtılarak rüzgarın soğutucu etkisinden korunmuştur. Bu sistem hacim ısıtmada kullanılabilir.

### D - Isı toplayan çatı sistemleri :

Uygun kuru iklimlerde, hem ısıtma hem de soğutma amacıyla kullanılabilir. Bu sistemler en çok tek katlı evler için elverişlidir. Çatı, depolama aracı içerecek biçimde tasarlanmıştır. Bu aracı, kışları güneşte kalmakta, geceleri de hareketli kapayıcılarla izole edilmektedir. Sıcak havalarda çatı gecenin soğutucu etkisine açık tutularak gündüzleri güneşe karşı yalıtılmaktadır. Pasif sistemler güneş enerjisini toplamanın en basit ve en ucuz yoludur. Bu tekniklerin çoğu yüzyıllarca kullanıla gelmiş ancak enerji maliyetinin düşük olduğu yıllarda unutulmuşlardır.

### **Su Arıtma Sistemleri**

Bu sistemler esas olarak sıç bir havuzdan ibarettir. Havuzun üzerine eğimli şeffaf-cam yüzeyler kapatılır. Havuzda buharlaşan su bu kapaklar üzerinde yoğunlaşarak toplanır. Bu tür sistemler, temiz su kaynağının bulunmadığı bazı yerleşim yerlerinde yıllardır kullanılmaktadır. Su arıtma havuzları üzerinde yapılan Ar-Ge çalışmaları ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin azaltılmasına ve verimin artırılmasına yöneliktir.

### **Sera Isıtması**

Güneş enerjisinin tarım alanındaki uygulamalarıdır. Bu tür sistemler ilkel pasif yapıda olabileceği gibi, hava hareketini sağlayan aktif bileşenler de içerebilir. Bu sistemler dünyada kırsal yörelerde sınırlı bir biçimde kullanılmaktadırlar.