



## 21. Yüzyılın Eşiğinde

# Güneş Enerjisi

Dünya'da en görkemli ve canlılara yaşam veren enerji kaynağı güneştir. Diğer birçok enerji kaynağının varlığı da güneşe bağlıdır. Rüzgâr, deniz dalgası, okyanusta sıcaklık farkı ve biyokütle enerjileri, güneş enerjisinin değişim geçirmiş biçimleridir. Güneş enerjisi, doğadaki su döngüsünün gerçekleşmesinde de rol oynayarak, akarsu gücünü yaratmaktadır. Fosil yakıtların da, biyokütle niteliğindeki materyallerde birikmiş güneş enerjisi olduğu kabul edilmektedir. Doğal enerji kaynaklarının pek çoğunun kökeni olan güneş enerjisinden, ısıtma ve elektrik elde etme gibi amaçlarla doğrudan yararlanılmaktadır. Güneş enerjisi çevre açısından temiz bir kaynak özelliği taşıdığından da, fosil yakıtlara alternatif olabilecektir.

**G**ÜNEŞ NEDİR ve enerjisi nereden gelmektedir? Yarıçapı, dünya yarıçapının 109 katı ve kütlesi, dünya kütlesinin 330 000 katı olan, yüksek basınçlı ve yüksek sıcaklıklı gaz küresi Güneş, Dünya'ya 1,496 x 10<sup>8</sup> km uzaklıkta bir yıldızdır. Doğal bir füzyon reaktörü olan bu yıldızda, her bir saniyede 564 milyon ton hidrojen 560 milyon ton helyuma dönüşmekte ve kaybolan 4 milyon ton kütle karşılığı 3,86 x 10<sup>26</sup> J (joule), yani 386 000 000 EJ (eksa-joule) enerji açığa çıkmaktadır [1 EJ=22,7 MTEP (milyon ton eşdeğeri petrol)]. Toplam enerji rezervi 1,785 x 10<sup>27</sup> J olan bu yıldız daha milyonlarca yıl ışımasını sürdüreceğinden, Dünya için sonsuz bir enerji kaynağıdır. Güneş'ten bir saniyede salınan enerjinin güç olarak karşılığı

3,86x10<sup>26</sup> MW'tır (MW=mega-vat=10<sup>6</sup> W). Dünya'nın çapına eşit bir dairesel alan üzerine çarpan güneş gücü, 178 trilyon kW düzeyindedir.

İnsanlığın yıllık ticarî enerji gereksiniminin, bugünkü durumda güç karşılığı 11 TW kadardır (TW=teravat=10<sup>12</sup> W). Güneş'ten gelen güç, bu istemin 16 000 katından çoktur. Dünya'da kurulu elektrik santrallerinin 2,9 TW olan toplam gücü, güneşten gelen gücün 61 000'de birinden azdır. Dünya'daki nükleer santrallerin kurulu güçlerinin toplamı 0,4 TW'a yakındır. Güneş'ten gelen güç, bu nükleer gücün 527 000 katıdır.

Güneş enerjisi uzaya ve gezegenlere elektromanyetik ışınım (radyasyon) biçiminde yayılır. Dalga boyu 0,2-3 µm (mikro-metre) arasında olan bu akım,

kısa dalgalı bir ışınımdır. Güneş spektrumu üç ana bölgeden oluşur. Dalga boyu 0,4 µm'den küçük olan ultraviyole (morötesi) bölgenin güneş ışınımındaki payı % 9'dur. Dalga boyu 0,4 µm ile 0,7 µm arasındaki bölge görünür ışıktır. Görünür ışık, güneş ışınımı içinde % 45 yer kapsar. Dalga boyu 0,7 µm'den büyük olan infrared (kızılötesi) bölgenin payı ise % 46'dır ve Güneş'in ısıtma etkisi buradan kaynaklanır. Dalga boyu açısından bakıldığında Güneş, 6 000 K (Kelvin) sıcaklıkta, ışınım yapan bir kara cisim gibidir.

Dünya atmosferinin üzerine ulaşan güneş ışınımı, başka bir deyişle Güneş Sabiti 1,353 kW/m<sup>2</sup> dir. Yeryüzüne ulaşan maksimum güneş ışınımı ise, 0,3 - 2,5 µm dalga boyları arasında 1 kW/m<sup>2</sup> kadardır. Dünya'nın yaşanabilir alanla-

rına gelen güneş enerjisi yere, zamana ve iklime bağlı olarak 3 ile 30 MJ/m<sup>2</sup>.gün arasında değişir. Güneş enerjisi kolektörlerle (toplayıcılarla) toplanır. Yaklaşık bir ev çatısına eşit, 100 m<sup>2</sup> alanlı kolektör 70 kW'lık güç kaynağı demektir ki, bu kolektörden bir günde sağlanabilecek yararlı enerji % 40 verimle 180 kWh, ya da 14 galon petrol eşdeğeri veya bir insan ağırlığı taşkömürü eşdeğeridir.

## Güneş Enerjisinin Önemi

Dünya'nın tüm yüzeyine bir yıl boyunca düşen güneş enerjisi,  $1,22 \times 10^{14}$  TET (ton eşdeğer taşkömürü) veya  $0,709 \times 10^{14}$  TEP (ton eşdeğeri petrol) kadardır. Bu değer, dünyanın bilinen kömür rezervinin 157, petrol rezervinin 516 katıdır. Güneş enerjisi doğal kullanımının yanı sıra, doğrudan kontrollü olarak da kullanılabilir. Güneş enerjisinin doğrudan kontrollü kullanımının yerel çözüm olabilmesi, tükenmez ve temiz bir kaynak olmasından kaynaklanmaktadır. Güneş enerjisinin ısısal ve ışıksal nitelik taşıması, iletim ve dağıtım sorununun olmaması üstünlük sağlar. Güneş enerjisinin kontrollü kullanım amacıyla toplanmasının bir maliyeti vardır. Ancak, fosil yakıtların oluşturdukları çevresel zararların maliyeti dikkate alındığında, güneş enerjisinin toplanması ve kullanılması daha çekiçi görünmektedir.

Fosil yakıt kullanımının dayandığı yanma teknolojisine kaçınılmaz ürün olan karbon dioksit yayılımı (emisyonu) sonucunda, atmosferdeki karbon dioksit miktarı, son yüzyıl içinde yaklaşık 1,3 kat artmıştır. Önümüzdeki 50 yıl içinde, bu miktarın, bugüne oranla 1,4 kat daha artma olasılığı vardır. Atmosferdeki karbon dioksitin neden olduğu sera etkisi, son yüzyıl içinde dünya ortalama sıcaklığını 0,7 K yükseltmiştir. Bu sıcaklığın 1 K yükselmesi, dünya iklim kuşaklarında görünür değişimlere, 3 K düzeyine varacak artışlar ise, kutuplardaki buzulların erimesine, denizlerin yükselmesine, göllerde kurumalara ve tarımsal kuraklığa neden olabilecektir. O halde, bu durumda enerji kullanımından vazgeçilemeyeceğine göre, güneş gibi doğal ve alternatif olabilecek kaynaklara yönelmesi gerekecektir.



Amerika Mojave çölündeki Luz Santral'i'nde, güneş ışınlarını toplayan parabolik yansıtıcılar ve bu yansıtıcılar yardımıyla ısınan sıvıyı toplayan büyük borular.

Genel enerji tüketiminin % 85-90'ı tükenir fosil yakıtlara dayalıdır. Fosil yakıtların var olan rezervlerinin kullanılabilme süreleri ise, petrol için 43 yıl, doğalgaz için 67 yıl ve kömür için 235 yıl olarak hesaplanmaktadır. Endüstriyel hammadde olan fosil yakıtları tükenmeden gelecek kuşaklara da bırakmak gerekir. Özellikle, 45° kuzey ve güney enlemleri arasında kalan ve güneş kuşağı denilen dünya kuşağında, güneş enerjisi kullanımının artırılması 21. yüzyılın temel gelişimlerinden biri olacaktır.

## Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Coğrafi olarak 36 - 42° kuzey enlemleri arasında bulunan Türkiye, güneş kuşağı içerisinde yer almaktadır. Güneş kuşağının bu kesimi, iyi güneş almakla birlikte, mevsim değişikliklerinin alt sınırdan az, üst sınırdan çok etkili olduğu bir bölgedir.

Meteorolojik gözlemlere dayalı olarak, Türkiye'nin yıllık güneşlenme süresi 2609 h (saat) olup, maksimum ve minimum süreler Temmuz (362 h) ve Aralık (98 h) aylarında gerçekleşmektedir. Güneşlenme süresi yönünden en zengin bölgeler sırasıyla, Güneydoğu Anadolu (3016 h), Akdeniz (2923 h), Ege (2726 h), İç Anadolu (2712 h), Doğu Anadolu (2693 h) ve Marmara (2528

h) bölgeleridir. En düşük değer ise, 1966 h ile Karadeniz Bölgesi'ndedir.

Türkiye'de aylara göre günlük ortalama güneş ışınım şiddetinin maksimum değeri 21,1 MJ/m<sup>2</sup>.gün ile Temmuz ayında ve minimum değeri 5,5 MJ/m<sup>2</sup>.gün ile Aralık ayında görülmektedir. Türkiye'nin günlük ortalama güneş ışınımının yıllık ortalaması 13,2 MJ/m<sup>2</sup>.gün kadardır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi için yıllık ortalama güneş ışınım şiddeti 14,3 MJ/m<sup>2</sup>.gün olup, bunu Akdeniz (13,9 MJ/m<sup>2</sup>.gün), İç Anadolu (13,7 MJ/m<sup>2</sup>.gün), Ege (13,6 MJ/m<sup>2</sup>.gün), Doğu Anadolu (13,4 MJ/m<sup>2</sup>.gün) ve Marmara (10,9 MJ/m<sup>2</sup>.gün) bölgeleri izlemektedir. Yıllık ortalama güneş ışınımının en düşük değeri, 10,3 MJ/m<sup>2</sup>.gün ile Karadeniz bölgesinde kaydedilmektedir.

Türkiye'nin güneşlenme süresi ve güneş ışınım şiddeti değerleri temel alındığında, tüm yüzeyine bir yılda düşen güneş enerjisi 3517 EJ olarak hesaplanmıştır. Bir başka anlatımla, Türkiye'nin bir yılda aldığı güneş enerjisi 80 milyar TEP kadardır. Bu enerji, 111,5 TW'a karşılıktır. Türkiye'ye düşen güneş gücü, kurulu elektrik santralleri gücünün 5300 katından fazladır. Türkiye'ye düşen toplam güneş enerjisi, 1995 yılındaki genel enerji tüketiminin 1286 katı, bilinen katı fosil yakıt rezervinin 32 katı ve bilinen petrol rezervinin 2200 katıdır.



Modern bir güneş evi.

Türkiye'nin tüm yüzeyinin güneş kolektörleri ile kaplanarak, bu enerjinin toplanmasının söz konusu olamayacağı açıktır. 3517 EJ/yıl güneş enerjisinin % 2,5'ine eşit olan 87,9 EJ/yıl kadarlık enerji, brüt güneş enerjisi potansiyeli olarak varsayılabilir. Brüt potansiyelin tamamının kullanılabilir duruma sokulması hiçbir zaman düşünülemez. Ancak, kaynağın büyüklüğünü göstermesi bakımından önemlidir. Geliştirilmiş teknolojik olanaklarla uzun dönemde kullanılabilir üst sınırı gösteren teknik potansiyel ise, 1 EJ/yıl düzeyinde olup, 1995'deki genel enerji tüketiminin % 37'sine eşittir. Yeni teknolojik gelişmelere bağlı olarak, uzun dönemde teknik potansiyelin yükselmesi beklenmelidir. Bununla beraber, bugünkü ekonomik potansiyel, diğer enerji fiyatları ve maliyetleriyle rekabet edebilecek düzeyde değildir, hatta yarısından bile azdır.

## Güneş Enerjisinin Tarihçesi

İlk insanlar güneşi doğaüstü görek, ona tapmışlardır. M.Ö. 714 - 671 arasında yaşayan Roma İmparatoru Numa Pompilius döneminde, konik metalik kaplarla odaklandırılmış güneş ışınlarına, ateş tanrıçasının kutsal ateşi olarak bakılıyordu. M.Ö. 212'de Yunanlı fizikçi Arhimedes, aynalar yardımıyla odakladığı güneş ışınlarıyla, 30 - 40 m uzaklıktan Romalıların gemilerini yakarak, Siraküza savunmasının başarıya ulaşmasını sağlamıştı.

A. Kircher'in (1601-1680), Arhimedes'in yakıcı aynalar yöntemini odun yığınlarını tutuşturarak deneysel biçimde kanıtlaması, güneş enerjisi kullanımı için bir başlangıç noktası oluyordu. 18. yüzyılın sonlarına kadar, yakıcı ayna ve mercekle metaleri eritmeye dek uzanan pek çok deney ya-

pılmıştır. 1774'de Joseph Priestley, civa oksit üzerine odakladığı güneş ışınlarıyla oksijeni bulgulamıştır. Yakıcı ayna ve mercekler dışında bir uygulama olarak, N. Saussure (1740-1799), ısı kutusu denilen ilk güneş pişiricisini ortaya çıkarmıştı. 1837'de gerçekleştirilen Ümit Burnu gezisinde de, John F. Herschel, güneş pişiricisi ile yemek pişirmişti. Çelik endüstrisinin ünlü ismi Sir Henry Bessemer (1813 -1893), demir ergitebilmek için güneş fırını geliştirmişti.

1870 yılında John Ericson, güneşli sıcak hava motoru yaparak patentini almıştı. 1872'de Kuzey Şili'de, 4700 m<sup>2</sup> alan kaplayan güneşli damıtma tesisi kurulmuştur. Tesisten, günde 23 m<sup>3</sup> tatlı su elde edilmiştir. Asıl amacı sudan nitrat mineralleri elde etmek olan bu tesis, nitrat minerali tükeninceye kadar 40 yıl boyunca kullanılmıştır. 19. yüzyılda buhar üretmek için güneş



İletişimde elektrik elde etmek amacıyla kullanılan katlanabilir PV panelleri.

enerjisi kullanımına girişilerek, 1878 yılında Paris'te güneşle çalışan buharlı matbaa makinesi yapılmıştı. 1901 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde, Güney Pasadena'da güneşli buhar makinesiyle çalışan bir su pompası tesisi gerçekleştirilmişti. 1902 - 1911 yılları arasında bu tür tesislerin ABD'deki sayısı hızla arttı. 1913'de Mısır Meadi'de, Nil suyunu pompalamak için, kurulu gücü 74 kW (üretilebilir maksimum gücü 44 kW) olan güneşli pompa tesisi inşa edilmişti.

ABD'de Massachusetts Institute of Technology (MIT)'deki çalışmalar sonucunda 1949 yılında Dover'de ilk güneş evi yapılmıştır. 1953 yılında, Sovyetler Birliği Krzhivanovsky Güç Ens-

titüsü'nde buhar üretimini amaçlayan çalışmalar yapıyordu. Aynı yıllarda Taşkent Helioteknik Laboratuvarı'nda soğurucu (absorpsiyonlu) güneşli soğutucular geliştiriliyordu. 1954'de ABD'de Bell Telefon Laboratuvarları'nda ilk fotovoltaik güneş pilleri yapılmıştı. 1957'ye kadar, ABD'de yüksek sıcaklık elde etmek için 21 güneş fırını kurulduğu bilinmektedir.

1950'li yıllar, güneş enerjisi kullanımının yaygınlaşmaya başladığı yıllar olma özelliğini taşır. ABD, Japonya ve hatta İngiltere'de güneşli su ısıtıcı kullanımına girişilmiştir. Akdeniz kuşağında ise, güneşli su ısıtıcı kullanımı Fransa ve İtalya'da başlamıştır. Bu dönemde Fransız Pireneleri'nde kurulan 1 MW güçlü Mont-Louis Güneş Fırını, gelişmiş ve örnek bir teknolojinin ürünüdür. Ancak, kullanıma aktarılan güneş enerjisi teknolojisinin, ilk yatırım maliyetlerinin yüksekliğinden ötürü, petrol ve doğalgaz karşısında rekabet olanağını sınırlı olmuştur. 1974 - 1978 döneminde petrol fiyatlarında zincirleme artışlara dayalı yapay enerji bunalımları, güneş enerjisi çalışmalarına hız kazandırmıştır.

## Son Yirmibeş Yılın Gelişmeleri

Dünya yapay enerji bunalımları, güneş enerjisinin teknolojik gelişimini ve geleceğini büyük ölçüde etkileyerek, özellikle üç uygulamaya ağırlık kazandırmıştır. Yapıların aktif veya pasif biçimde güneşle ısıtılması ve iklimlendirilmesi, fotovoltaik (güneş enerjisinin fotoelektriksel yöntemle toplanması) veya termik olarak güneşten elektrik üretilmesi ve geleceğin yakıtı hidrojenin sudan üretilmesinde güneş enerjisi kullanılması (güneş-hidrojen sistemi) bu üç uygulamayı oluşturmaktadır. 1980 yılına gelindiğinde, ABD'de 5 610 000 m<sup>2</sup>, Japonya'da 3 100 000 m<sup>2</sup>, güneşlenmesi bol İtalya'da 150 000 m<sup>2</sup>, güneşlenmesi sınırlı ve güneş kuşağı dışındaki Almanya'da 130 000 m<sup>2</sup> güneşli su ısıtıcı kolektör alanı bulunuyordu.

1950'lerde başlayan büyük güçlü ısı güneş tesisleri çalışmalarının ürünü olarak, 1970'lerin sonlarında güneş termik elektrik santralleri kurulmaya başlanmıştır. ABD'nin Kaliforniya Mojave

Çölü'nde, 10 MW'lık Solar One adlı güneş termik elektrik santrali ilklerden biridir. Aynı yıllarda Güney Fransa'da 2,5 MW'lık Themis Santrali, o dönemdeki Sovyetler Birliği'nin Azak Denizi'nde 5 MW'lık SES-5 Santrali, İspanya Almeria'da 1,2 MW'lık CE-SA-1 Santrali, İtalya Adriano'da 1 MW'lık EURELIOS Santrali ve Japonya Nio'da 1 MW'lık Güneşışığı Santrali kurulmuştur. Bunlardan farklı tipte bir güneş termik elektrik santrali olan 353,8 MW gücünde, Mojave Çölü'ndeki 9 üniteli Luz Santrali, orta güçlü bir santral sayılmaktadır.

1980'lere girilirken, fotovoltaiik (PV) güneş elektrik üreteçleri, haberleşme sistemlerine güç kaynağı olmaktan öte, su pompalarının çalıştırılması ve konutların elektrik gereksiniminin karşılanması gibi amaçlar için kullanılıyordu. 1981 yılında, fotovoltaiik bataryaların ürettiği elektrik enerjisiyle çalışan ve Solar Challenger adı verilen ilk pervaneli güneş uçağı, Manş Denizi'ni aştı. Bu tür bataryalar, daha sonraları özel otoların çalıştırılması için de kullanılır oldu.

1982'de California'da elektrik üretimi amacıyla, 1 MW'lık Edison's Lugo PV Santrali kuruldu. Bunu Los Angeles-San Francisco hattının ortasında kurulan 6,5 MW'lık Carissa Plains PV Santrali izledi. Ayrıca, Sacramento'da 2 MW'lık bir başka PV santral yapıldı. Dünya Enerji Konseyi'nin 1992 raporuna göre, PV kurulu gücünde 12 MW ile ABD başı çekerken, 1 MW ve üzerinde PV kurulu gücü bulunan ülkeler arasında Almanya, Avustralya, Brundi, Çin, Fransa, Gana, İspanya, Japonya, Meksika ve Norveç yer almaktadır. Güneş termik elektrik alanında 279 MW kurulu güç ve yıllık 700 000 MWh elektrik üretimi ile yine ABD birincidir. Aktif sistemle ısı üretiminde bu ülkenin verilerine yer verilmeyen sıralamada ise, yılda 6790 TJ ile İsrail en üstte yer almakta, onu yılda 1663 TJ ısı üretimi ile İspanya izlemektedir. Yıllık değerler olarak Tayvan'da 715 TJ, Meksika'da 687 TJ, Kanada'da 620 TJ, İtalya'da 520 TJ, İngiltere'de 357 TJ ve Hollanda'da 150 TJ aktif sistemli ısı üretimi rapor edilmektedir. Pasif sistemle yıllık ısı üretiminde Avustralya 3060 TJ ile liste başında gösterilmiştir.

## Türkiye'deki Çalışmaların Geçmişi

Türkiye'de güneş enerjisi çalışmaları, 1960'lı yıllarda üniversitelerde başlamıştır. İstanbul Teknik Üniversitesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İstanbul Üniversitesi, Ankara Üniversitesi bu konuda ilk bilimsel çalışmaları yapan üniversitelerdir. İlk yerli yapım su ısıtıcıları da bu dönemde üretilmiştir.

1973 yılının sonunda Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı bünyesinde Güneş Enerjisi Koordinasyon Kurulu oluşturularak, bu kurulda tüm bakanlıkların temsilcileriyle üniversite öğretim üyeleri bir araya getirilmiş ve güneş enerjisinin Türkiye'de kullanılması için gerekli ön çalışmalar başlatılmıştır. Bu kurulun çalışmaları 1975 yılının ortalarına kadar sürmüştür. Güneş Enerjisi Koordinasyon Kurulu'nun çalışmaları durdurulduktan sonra, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından güneş enerjisi çalışmaları için Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü (MTA) görevlendirilmiştir. Bu arada, Marmaris Güneş ve Rüzgar Enerjisi Araştırma Merkezi (MAGREAM) kurulmuştur. 1980 sonrası bu merkez kapatılarak, güneş enerjisi çalışmaları görevi 1981 yılında Elektrik İşleri Etüt İdaresi'ne verilmiştir.

ABD'de 1954 yılında kurulan, daha sonra uluslararası kimlik kazanan ve şu anda merkezi Avustralya'da bulunan International Solar Energy Society (ISES)'nin çalışmalarına katılabilmek amacıyla, EİE bünyesinde bir örgütlenme çalışması yapılmış ve 1992 yılında Uluslararası Güneş Enerjisi Topluluğu Türkiye Bölümü kurulmuştur. Kısa adı UGET-TB olan bu kuruluşa, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, bakanlığa bağlı ve ilgili kuruluşlar, çeşitli kamu kuruluşları, yerel kuruluşlar, özel sektör kuruluşları, üniversiteler ve bu alanda çalışan bilim adamları üyedir.

Türkiye'de güneş enerjisi ile ilgili çeşitli konular üzerinde teorik ve uygulamalı bilimsel çalışmalar yapılmaktadır. TÜBİTAK tarafından desteklenmiş ve desteklenmekte olan çeşitli pro-



Fransa Odeillo'da güneş ışınlarını büyük aynalarla odaklayan güneş fırını.

jeler vardır. Güneşli su ısıtıcıların yerli üretimi ve kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu ısıtıcılarla ilgili Türk Standardı çıkarılmıştır. EİE tarafından yapılan anket çalışmalarına göre, 1994 yılında Türkiye'de 1,5 milyon m<sup>2</sup> su ısıtıcı düzlemsel güneş kolektörü saptanmış olup, kullanılan güneş enerjisi yılda 40 000 TEP (1760 TJ) kadardır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı raporlarına göre, 2010 yılında bunun 308 000 TEP (12 320 TJ) düzeyine çıkarılması hedeflenmiştir. Oysa, 7. Beş Yıllık Kalkınma Planı Genel Enerji Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2010 yılında güneşten ısı üretiminin 21 960 TJ olmasını ve ayrıca güneşten 61 100 MWh elektrik üretiminin hedeflenmesini öngörüyordu.

## Güneş Enerjisi Teknolojisinin Boyutları

Güneş enerjisi kullanımındaki temel amaç, ekonomik rekabet koşullarında fosil yakıtların yerini-olabildiğince-almasıdır. Güneş enerjisinin, konutlarda, işyerlerinde ve gündelik yaşamın çeşitli alanlarında, endüstride ısı ve elektrik elde edilmesinde, kırsal yörelerde ve tarımsal teknolojide, kara, deniz ve hava taşıtlarında, iletişim araçlarında (radyo, TV, telefon), sinyalizasyon ve otomasyonda ve elektrik sektöründe birincil kaynaklar arasına girmesi ayrıca askeri amaçlarla kullanılabilmesi hedeflenmektedir.

Güneş enerjisinin kullanılabilmesi için, öncelikle toplanması gerekir. Bu toplama işlemi, ısı (güneş ısı kolektörlerle) ve elektriksel (fotovoltaiiklerle) olmak üzere iki değişik yolla ve dolaylı biçimde yapılmaktadır. Basitlik ve ucuzluk gibi nedenlerle ısı toplama yöntemi yeğlenir. Isıl güneş kolektörle-

rinin; düz yüzeyli ve yoğunlaştırmasız, odaklayıcı ve yoğunlaştırılmalı ve güneş havuzları diye üç tipi vardır. Güneş enerjisini elektriksel olarak toplayan fotovoltaikler, ışık enerjisinin fotonlarını fotoelektriksel olarak elektrik enerjisine dönüştürmektedirler.

En yaygın olarak düz yüzeyli ısı güneş kolektörleri kullanılır. Bunlar, doğrudan gelen güneş ışınlarının yanında, kırılma ve yansımalarla dağılmış güneş ışınlarını da değerlendirirler. Klasik düz yüzeyli kolektörlerin çalışma sıcaklığı 100° C'nin altındadır. Güneşi izlemesi gerekmeyen, güneşe yöneltilerek ve güneş ışınlarının üzerine dik çarpabileceği bir eğim verilerek yerleştirilen bu kolektörlerin, mevsimlik olarak ayarlanmaları gerekir. Güneşli su ısıtıcılarda kullanılan kolektörler bu tiptir. Böyle bir kolektör soğurucu plaka, sırt ısı izolasyonu, üst saydam (cam veya plastik) örtü ve dış kasadan oluşmaktadır.

Güneş ışınları soğurucu plaka tarafından tutularak su veya hava gibi bir akışkana transfer edilir. Isıtılacak akışkanın cinsine göre soğurucu plakada boru veya özel kanallar bulunur. Isıl geçirgenliği yüksek olması gereken soğurucular, plakalı ısı değiştiricileri (eşanjörler) gibidir. Soğurucunun güneş gören yüzeyinin mat siyaha boyanması ya da daha etkin işlev görebilmesi için ışın seçici bir tabaka ile kaplanması gerekir. Ön tarafında tek ya da çift saydam örtü, arka tarafında sırt ısı izolasyonu bulunur. Bu klasik yapıları düz yüzeyli kolektörlerin verimleri çalışma sıcaklık farkına bağlıdır. Modern düz yüzeyli kolektörlerde ise ısı borusu kullanılmaktadır. Isı borusu yapıldığı malzemenin ısı geçirgenliğine ve sıcaklık farkına bağlı olmaksızın yüksek kapasiteyle ısıyı tek yönde geçiren bir elemandır.

Yüksek sıcaklık uygulamalarında odaklı ve yoğunlaştırılmalı güneş kolektörleri kullanılır. İç bükey aynaya benzeyen bu kolektörler değişik parabolik biçimlerde yapılır ve yalnızca doğrudan gelen güneş ışınlarını değerlendirirler. 100-200° C sıcaklıklı uygulamalarda, mevsimlik ayarlanma isteyen, güneşi izlemesiz, uzunlamasına silindirik odaklı kolektörler kullanılır. Bu tür kolektörlerin 200° C'yi aşan uygulamalarda kullanılanlarının, gün boyu güneşi izleyecek biçimde hareketli olmaları gerekir. Çanak tipi odaklı kolektörler

ise, her sıcaklık kademesinde güneşi izlemek zorundadırlar. Çanak tipi kolektörlerle 3000° C'yi aşan sıcaklıklar elde edilmektedir. Söz konusu odaklı kolektörlerden farklı bir yapıya sahip yüksek sıcaklıklı, güneşi izlemesiz kolektörlerin bir çeşidi, vakum borulu kolektörlerdir.

Geniş yüzeyli kolektörler denilen güneş havuzları, 100° C altındaki sıcaklıklarda büyük miktarlarda ısı toplanmasında kullanılır. Bu havuzlarda birbirleri ile karışmayan üç tabaka yer alır. Havuzun tabanında çok tuzlu, orta kesiminde tuzlu ve üstünde tatlı su bulunur. Havuz tabanı ısı soğurucu yapıdadır. Bu ısı, bir ısı değiştiricisiyle çekilerek kullanılır. 150 kW güçlü ve 0,74 ha alanlı böyle bir güneş havuzu, İsrail



Güneşten elektrik sağlanan ev.

Ein Borek'de termik elektrik üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Tuz gradyeni konvektif olmayan bu tür güneş havuzlarının dışında, bir de sıg güneş havuzları vardır. Bunlar birkaç cm kalınlıkta su dolu plastik döşek olarak ve 50 - 200 m<sup>2</sup>'lik modüller biçiminde kullanılmaktadırlar.

Güneş enerjisinin depolanması, bir değişim ya da çevrimle elde edilen ikincil enerjinin depolanması biçiminde gerçekleşmektedir. Depolama işlemleri ısı, mekaniksel, kimyasal, elektriksel yöntemlerle yapılır. Isıl depolamada özgül ısı kapasitesi yüksek ve kolay bulunur ucuz materyaller kullanılır. Su, yağ, çakıl taşı yatakları bunlar arasındadır. Isıl depolama için gizli ısı kapasiteli, parafin gibi faz değişim materyallerinden de yararlanır. Mekaniksel depolamada, güneşle çalıştırılan bir pompa ya da kompresör tarafından basılan yüksek basınçlı akışkan, uygun bir ortamda toplanır. Kimyasal depolamada hidrat tuzlarından yararlanır. Elektriksel depolama bataryalarla yapılır. Bu amaçla kurşun asitli akümülatörler, nikel kadmiyum tipi kuru batarya-

lar ve sodyum sülfür bataryaları kullanılır. Güneş enerjisinin kontrollü uygulamaları; kullanım suyu ısıtma, yüzme havuzu ısıtma, kaynatma ve pişirme, bitkisel ürünlerin kurutulması, su damıtılması, yapının ısıtılması, serinletilmesi (iklimlendirme), soğutma, toplam enerji sistemleri ile ısı ve elektriğin birlikte üretilmesi, sulama suyu pompası, endüstriyel işlem ısı üretilmesi, elektrik üretilmesi, fotokimyasal ve fotosentetik çevrimlerin gerçekleştirilmesi biçiminde sıralanabilir. Her uygulamanın özelliğine göre, kullanılan kolektörler değişik olmaktadır. Bazı uygulamalarda enerji depolamaya gerek duyulur.

Güneş enerjisinin en çok tanınmış uygulaması olan güneşli su ısıtıcılar (ya da güneş şofbenleri), klasik düz yüzeyli kolektörlü, pompalı sirkülasyonlu veya termosifon sistemli, ısı değiştiricili veya değiştiricisiz depolu olmaktadır. Kutu tipinde ya da zorlanmış hava akımlı depolu biçimde yapılan tarımsal kurutucularda düz yüzeyli kolektörler kullanılır. Güneş imbicikleri de denilen, deniz suyundan ya da acı sulardan tatlı su ve tuz minerali üreten güneşli damıtma üniteleri, yine düz yüzeyli kolektörlü alçak sıcaklık uygulamalarıdır.

Güneşli kaynatıcılar ve yemek pişiriciler, güneşli sterilizörler ise genelde odaklı kolektörlü olup, güneş ışınlarının yoğunlaştırılmasıyla elde edilen yüksek sıcaklıklı ısıyı kullanırlar. Bu kolektörler çoğu kez çanak biçimindedir. Ancak, pişiricilerin düz yansıtıcı plakalarla donatılmış ısı kutusu tipleri de vardır.

Güneşli su pompaları, PV panelden elde edilen elektrik enerjisiyle, güneşli sıcak hava motorlarıyla (Stirling motorları) ya da özel buharlı güç çevrimine dayalı güneş kuvvet makineleriyle çalıştırılmaktadır. Stirling motorlu tesislerde çanak tipi odaklı kolektörler kullanılırken, buharlı güç çevrimine dayalı olanlarda klasik düz yüzeyli, vakum borulu, ısı borulu ve uzunlamasına silindirik odaklı kolektörler kullanılabilirlerdir. Güneşli soğutuculara gelince, bunlar buhar/jet tipi soğutucular, soğurmalı tip soğutucular ve sıkıştırılmalı soğutucular biçiminde olmaktadır. Soğutucuların çalıştırılması için ısı kolektörler ya da PV paneller kullanılır.

Isıtma ve iklimlendirme teknolojilerinde güneş enerjisinden yararlanılarak oluşturulan güneş evleri aktif ve pasif sisteme dayalı biçimde yapılmaktadır.

lar. Aktif sistemde düz yüzeyli kolektörlerle toplanan ısı enerjisi bir sıvı akışkan tarafından pompayla alınarak, ısı değiştiricisiyle sıcak su kazanına ve istenirse bir soğurmalı iklimlendirme aygıtına aktarılmaktadır. Sistem otomatik olarak kontrol altında tutulmaktadır. Sistemde bir ısı deposu ve yardımcı ısıtıcı da yer alabilir. Aktif sistemli güneş evlerinin güneşli ısı pompası kullanılan tipleri de vardır. Buna karşın, pasif sistemin yapısı çok basit olup, binanın güney duvarı bir beton-taş kolektör biçiminde inşa edilerek toplanan ısı enerjisi doğal hava akımı ile yapı içerisine yollar. Bu duvar aynı zamanda ısı deposudur. Güneydeki duvarın kolektör olarak yapılması yerine, duvar üzerine hava ısıtıcı kolektör yerleştiren düzenlemeler de bulunmaktadır. Pasif sistemlerde kolektör-yapı içi arasındaki hava akımı doğal olarak sağlanabileceği gibi, basit fan da kullanılabilir. Pasif sistemle serinletme için, çatı tipi buharlaştırılmalı havuzlardan yararlanılır. Güneş evlerinin çatılarına PV paneller de yerleştirilmektedir.

Güneş elektrik santralleri, PV tipi ve termik elektrik tipi olarak ikiye ayrılmaktadırlar. PV tipinin uygulamalarının sınırlı ve küçük düzeylerde kalmasının nedeni, yatırım maliyetinin termik tiplerinkinden 3,7 - 5,2 kat daha fazla olmasıdır. Güneş santralleri, barajlı hidroelektrik santrallerden daha az yer kapsamaktadır. Gerek PV ve gerekse termik tip güneş santrallerinin kapsadıkları alan, 0,025 km<sup>2</sup>/MW düzeyinin altındadır. Barajlı hidroelektrik santraller için bu alan 1 km<sup>2</sup>/MW düzeyine kolayca ulaşabilmekte, hatta bunun üzerine çıkmaktadır. Luz güneş termik santralının özgül alanı 0,021 km<sup>2</sup>/MW, iken Solar One güneş termik elektrik santralında 0,007 km<sup>2</sup>/MW olmuştur. Bu alan PV santraller için 0,013 ile 0,009 km<sup>2</sup>/MW arasında değişmektedir.

Güneş termik elektrik santralleri; heliostat (yansıtıcı düz ayna) tarlalı ve merkezi güç kuleli, uzunlamasına silindirik odaklı kolektör tarlalı ve dağınık çanak kolektör tarlalı tiplerde olmaktadır. Toplanan ısı enerjisi ile sıvı akışkan buharlaştırılmakta, klasik termik santrallara benzer biçimde buhar türbini ve jeneratör ikilisinden elektrik üretilmektedir. Bu buhar su buharı olabildiği gibi, kolektör devresinde yağ kullanan ve ısıyı düşük sıcaklıkta buharlaşan özel

bir akışkana değiştiriciyle aktaran ve özel akışkan buharı ile çalışan türbinler de vardır. Sistemde bir ısı deposu yer almaktadır.

Güneş termik santrallerinde, güneşin olmadığı zamanlarda buhar üretmek için ek olarak, doğalgazdan yararlanan tipleri de yapılmıştır. Bu amaçla, aynı güçte bir hidroelektrik santraldan yararlanılabileceği gibi, santralin enterkonekte şebeke ile bağlantılı olması sorunu çözmektedir. Fosil yakıt-güneş karma tipi santraller için Amerika'da 500-800 MW'lık projeler hazırlanmıştır.

## Güneş Enerjisinin Geleceği



**Güneş enerjisi, arabaların çalıştırılması için de kullanılmaktadır. Güneş enerjisiyle çalışan Pathfinder uçağı 50.500 ft'te 12 saat uçmuştur.**



Gelecek için, güneşle merkezi ısıtma ve yerel olarak elektrik üretme, yani kombine ısı-güç üretimi uygulamaları üzerinde çalışılmaktadır. 100-1000 konutun ısı ve elektrik gereksinimini karşılamayı amaç edinen bu projelerde, uzunlamasına silindirik odaklı kolektörler, yüksek sıcaklıklı su deposu, turbojeneratör, alçak sıcaklıklı su deposu, ısı dağıtım ve elektrik dağıtım sistemleri yer almaktadır. Sistemdeki kolektörler, güneş termik elektrik santrallerinde olduğu gibi bir kolektör tarlası biçiminde tasarlanmaktadır.

Gelecek için ayrıca, yeryüzü güneş santrallerinden başka, uzaya yerleştirilecek kolektör uydusu ve dünya bağlantılı güneş santralleri kurulması amaçlanmaktadır. Dünyadan 36 000 km uzak-

lıkta ve 10 000 MW güçlü bir uzay santralından üretilen elektrik enerjisi, santralin 1 km çaplı anteninden mikrodalgalarla dünyaya iletilecek, dünyadaki 7 km çaplı bir anten bu enerjiyi % 55-75 etkinlikle alıp, doğru akım verebilecektir. Bu proje Amerikan Apollo uzay programında yer almıştır.

Endüstri devrimi ile enerji tüketiminin durağan olmaktan çıkıp dinamik karakter kazanmasından sonra, tabanında teknolojik gelişmelerin yer aldığı beş ekonomik dalgalanma görülmüştür. Her ekonomik dalgalanmada başat olan bir enerji kaynağı vardır. 1750-1825 yılları arasındaki enerji kaynağı kömürdür. 1825-1860 döneminin yeni kaynağı elektrik enerjisidir. 1860-1910 yılları arasında petrol, enerji bütçelerine girmiştir. 1910-1970 dönemi arasındaki yeni kaynak nükleer enerjidir. Günümüzde ise, 1970'lerde başlayan, 21. yüzyılın neresinde son bulacağı henüz kestirilemeyen yeni bir teknik-ekonomik dalga söz konusudur. Bu dalganın oluşumunda, güneş enerjisi ve hidrojen yakıtı yer almaktadır. Bu dalgalanmanın dünya enerji bütçesini ne denli değiştireceğini 21. yüzyıl gösterecektir.

Geleceğin temiz yakıtı hidrojen, hammadde olarak sudan üretilmektedir. Doğayı kirletmeyecek ve küresel sıcaklığın artışını durdurarak insanlığın geleceğini kurtaracak olan hidrojen teknolojisi, geliştirilmiş biçimde ve kullanıma hazır durumdadır. PV ve güneş termik elektrik tipi elektrolizli, güneşli termokimyasal işlevli hidrojen üretme üniteleri üzerinde, yoğun biçimde araştırma-geliştirme çalışmaları sürdürülmektedir. Kısacası, güneşli, parlak bir dünyaya doğru yürüyoruz. Bu aşamada önemli olan, teknolojik gelişmeleri geri kalmaksızın izleyebilmektir.

Mustafa Özcan Ültanır  
Prof. Dr. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi  
Tarım Makineleri Bölümü

- Kaynaklar:**  
Ahmed K., "Renewable Energy Technologies", World Bank Technical Papers Number 240, Washington, 1994.  
Enerji Raporu 1994, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Ankara, 1995.  
Solar Energy Technology Handbook, Part A and B, Butterworths, New York, 1980.  
Solar Power Systems, ECE Energy Series, United Nations, 1993.  
Ültanır M.Ö., "Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Solar Teknolojinin Geliştirilmesi", Dünya Enerji Konferansı Türk Milli Komitesi Seri Konferansları, Ankara, 1973.  
Ültanır M.Ö., "Türkiye'nin Enerji Planlaması ve Politikası Kapsamında Güneş Enerjisinin Yeri Nedir ve Ne Olmalıdır?", EIE Güneş Enerjisi Konferansı Tebliğleri, Ankara, 1984.  
Ültanır M.Ö., Türkiye'nin Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Planlaması, 21. Yüzyılda Batın Yönerisi Enerji Sempozyumu Bildiriler, İstanbul, 1994.