

3. Güneş enerjisi

3.1 Giriş

Türkiye güneş kuşağı adı verilen 40° kuzey ve 40° güney enlemleri arasında yer almakta ve güneş enerjisi bakımından orta zenginlikte bir ülke durumundadır. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresinin yüksek olmasına karşılık düşük ve orta sıcaklık uygulamalarında sınırlı sayıda kullanılmaktadır. Sanayinin toplam enerji ihtiyacının karşılanmasında güneş enerjisinden yalnızca % 0.1 oranında faydalanılmaktadır. Ülkemizde güneş enerjisi uygulamaları ağırlıklı olarak, güneş toplayıcıları vasıtasıyla düşük sıcaklıkta sıcak su ve sıcak hava üretimi ile sınırlı kalmıştır. Güneş enerjisi uygulamaları; sıcak su üretimi, bitkisel ürünlerin soğutulması ve kurutulması, pişirilmesi, deniz suyunun damıtılması, elektrik üretimi, hacim ısıtılması ve soğutulması, sulama suyunun pompalanması, endüstriyel işlem ısısı üretme, fotokimyasal ve fotosentetik çevrimlerin gerçekleştirilmesi olarak sıralanabilir.

Güneş enerjisinin üstünlükleri şunlardır: yakıt masrafının olmaması, işletme maliyetinin düşük olması, proses ısısının istenilen sıcaklıkta doğrudan elde edilmesi, enerji kaynağının tükenmez oluşu ve en önemlisi çevreyi kirletmemesidir. Dezavantajları ise; geniş kullanım alanlarına ihtiyaç duyulması, kullanılabilir enerjileri dönüştürme teknolojisinin henüz tam olarak yaygınlaşmaması, ilk yatırım maliyetinin yüksek olması ve gelen enerjinin kesikli ve değişken olmasıdır. Bu dezavantajların ortadan kaldırılması için gerekli teknolojiler üzerinde bilimsel çalışmalar devam etmektedir.

3.2 Güneş enerjisinin ısı çevrim yöntemi ile toplanması

Isıl çevrim yöntemi ile güneş enerjisinden yararlanma, günümüzde en fazla uygulama alanı bulmuş ve dolayısıyla en fazla gelişme göstermiş güneş enerjisi teknolojisidir. Isıl çevrimler sonucunda ulaşılabilen sıcaklık limitleri ve aynı zamanda kullanılan teknolojiler bakımından üç grupta toplamak mümkündür.

3.2.1 Düşük sıcaklık uygulamaları

Güneş enerjisinden en basit ve en yaygın yararlanma yöntemi, düzlemsel güneş toplayıcıları yardımıyla gelen güneş enerjisinin su, hava veya herhangi bir akışkana iletilmesidir. Düzlemsel güneş toplayıcıları genel olarak; saydam örtü, güneş ışınımını toplayan yutucu yüzey, yüzeye entegre edilmiş taşıyıcı borular, yalıtım malzemesi ve kasadan ibarettir. Bu tip toplayıcıların verimini arttıran en önemli parametre, güneş ışınlarını ısı enerjisine dönüştüren ve bu ısıyı akışkana aktaran yutucu yüzeydir. Yutucu yüzeyde yapılan seçici yüzeyli kaplama ile toplayıcı veriminde önemli artışlar sağlanmaktadır. Düzlemsel güneş toplayıcıları, güneş ışınımını ısı enerjisine dönüştüren en basit ve en yaygın olarak kullanılan araçlardan birisidir. Şekil 3.1'de farklı tipte tasarlanmış güneş toplayıcıları görülmektedir. Toplayıcı verimi; yutucu yüzey kaplamasına, geometrisine ve yüzey için seçilen malzemenin özelliğine bağlı olarak değişir. Bu yüzeyin imalinde bakır, alüminyum, paslanmaz çelik, sac, plastik gibi malzemeler kullanılır. Yutucu yüzey kaplamalarının başlıca görevi güneş ışınımını mümkün olduğu kadar yutması ve ısıya dönüştürmesidir. Yutucu yüzey kaplaması olarak siyah mat boya ve seçici yüzey kaplamaları kullanılır. Şekil 3.2'de siyah boyalı ve seçici yüzeyli plakada güneş ışınımının yutulması ve yayılması arasındaki fark görülmektedir. Yutucu yüzey siyah mat boya ile boyandığında yüzeyin güneş ışınımını yutma oranı %90-98, uzun dalga boylu ışınımı yayma oranı ise %85-92 arasındadır. Yani yüzey yuttuğu ışınımın büyük kısmını geriye vermektedir. Seçici yüzeyli kaplamalarda temel amaç, kısa dalga boylu ışınımın tamamına yakın kısmının yutulması buna karşılık uzun dalga boylu ışınım yayıcılığının en aza indirilmesidir. Böylece plaka sıcaklığı daha fazla artırılarak akışkana daha fazla ısı iletimi sağlanır. Seçici yüzeyler; sıcaklık yükselmesinde daha az ışınım yayarlar, dolayısıyla toplayıcı verimi yüksektir. Yüksek verimli toplayıcıların imalatında en önemli faktör; toplayıcının temelini oluşturan yutucu plakaların güneşten gelen radyasyonu yutması buna karşılık ısınan yutucu yüzeyin geriye enerjiyi yaymamasıdır. İsviçre standardına göre yutucu plakaların optik özellikleri üç sınıfa ayrılmaktadır.

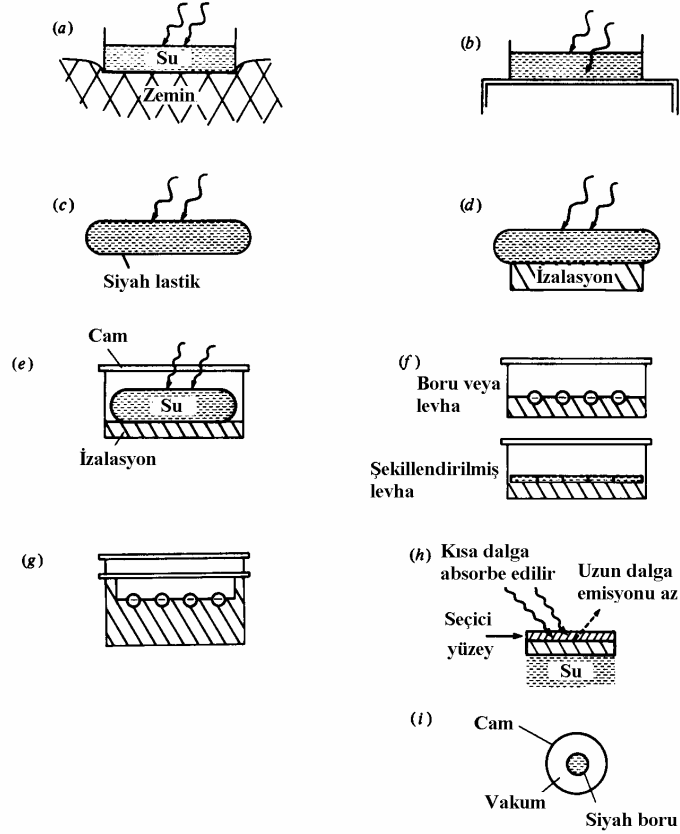
Seçici kaplamalar:

$$0.0 \leq \text{yayma katsayısı} \leq 0.20, \text{ yutma katsayısı} > 0.9$$

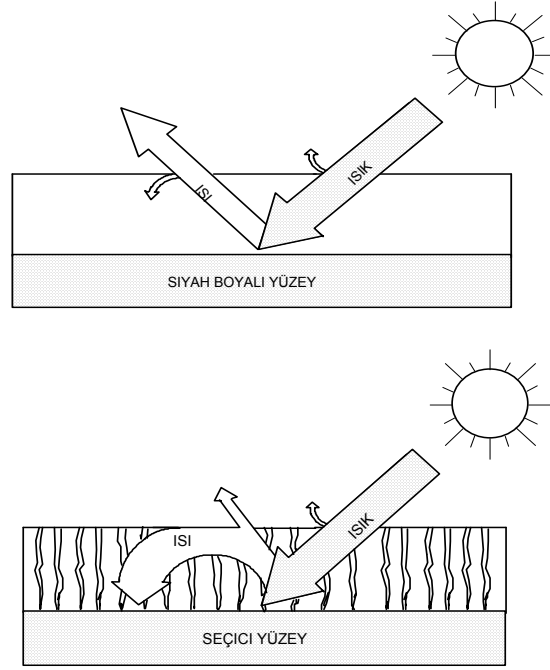
Yarı seçici kaplamalar: $0.15 \leq \text{yayma katsayısı} \leq 0.20$, yutma katsayısı > 0.9

Seçici olmayan kaplamalar: $0.5 \leq \text{yayma katsayısı} \leq 1.00$, yutma katsayısı > 0.9

Seçici yüzeylerin hazırlanmasında sputering, kimyasal buhar depozisyonu, metal spreyi, kimyasal oksidasyon ve elektroliz gibi çeşitli teknikler kullanılır. Dünyada seçici yüzey kaplaması olarak iki tür kaplama ticari olarak kullanılmaktadır. Alüminyumun anodik oksidasyonu ile oluşturulan pöroz yüzeye nikel oksit ile yapılan renklendirme ve bakır üzerine nikel kaplanmış yüzeye siyah krom ile renklendirir.



Şekil 3.1 Farklı tiplerde güneş toplayıcıları (a) su dolu bir kap, zemine ısı kaybı fazla (b) su dolu bir kap, zemine ısı kaybı az, (c) siyah lastik, (d) zemin izolasyonlu siyah lastik, (e) izolasyonlu siyah lastik, (f) metal boru veya levhalı cam örtülü düzlem toplayıcı, (g) çift camlı düzlem toplayıcı, (h) seçici yüzeyli düzlem toplayıcı, (i) vakum borulu toplayıcı, taşınım ile ısı kaybı yok.



Şekil 3.2 Siyah boyalı ve seçici yüzeyli plakalarda güneş ışımının yutulması ve ısı ışınlarının yayılması

Farklı uygulama alanlarına bağlı olarak geliştirilen toplayıcı tipleri ve çalışma sıcaklıkları Tablo 3.1’de verilmiştir. Ülkemizde sıcak su ısıtma amaçlı olmak üzere 2.5- 3 milyon m² kurulu toplayıcı alanı mevcut olup, yıllık toplayıcı üretimi 400-500 bin m² düzeyindedir. Özellikle, güneş enerjisi potansiyelinin yüksek olmasından dolayı Akdeniz ve Ege Bölgelerinde yoğun olarak kullanılmaktadır.

Tablo 3.1 Farklı toplayıcı tiplerinin uygulama alanları ve çalışma parametreleri(Marko and Braun, 1994)

Kollektör tipi	Verim (%)	Efektif ısı kayıp katsayısı W/m ² K	Kollektör çalışma sıcaklığı (C)	Uygulama alanı
Basit yutucu yüzey	0.90	20	15-25	Yüzme havuzu
Düzlemsel güneş kollektörü	0.80	6	15-40	Sıcak su
Seçici yüzeyli düzlemsel güneş kollektörü	0.80	4	15-40 40-70	Sıcak su Yardımcı ısıtıcı
Seçici yüzeyli, geçirgen filmlü düzlemsel güneş kollektörü	0.75	3	15-40 60-90	Sıcak su Yardımcı ısıtıcı
Seçici yüzeyli vakum tüplü kollektör	0.65	2	60-90 80-130	Yardımcı ısıtıcı Proses ısıtı
Vakum tüplü parabolik yansıtıcı kollektör	0.60	1	60-90 100-200	Yardımcı ısıtıcı Proses ısıtı

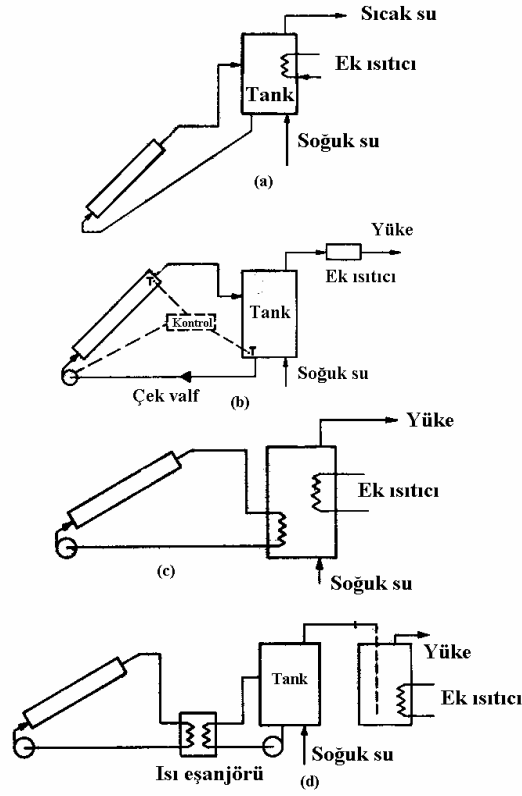
Kollektör tipi	Verim (η ₀)	Efektif ısı kayıp katsayısı W/m ² K	Kollektör çalışma sıcaklığı (C)	Uygulama alanı
Basit yutucu yüzey	0.90	20	15-25	Yüzme havuzu
Düzlemsel güneş kollektörü	0.80	6	15-40	Sıcak su
Seçici yüzeyli düzlemsel güneş kollektörü	0.80	4	15-40	Sıcak su
Seçici yüzeyli, geçirgen filmlili düzlemsel güneş kollektörü	0.75	3	15-40	Yardımcı ısıtıcı
Seçici yüzeyli vakum tüplü kollektör	0.65	2	60-90	Yardımcı ısıtıcı
Vakum tüplü parabolik yansıtıcı kollektör	0.60	1	60-90	Yardımcı ısıtıcı
			80-130	Proses ısısı
			100-200	Proses ısısı

Düşük sıcaklık uygulamalarında kullanılan diğer bir toplayıcı tipi ise havalı güneş toplayıcılarıdır. Havalı güneş toplayıcıları; yutucu yüzey ve çalışma akışkanı hava yardımıyla güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Yutucu yüzeye gelen güneş ışınlarının büyük bir kısmı burada yutulur ve taşınım ile sistemde dolaştırılan çalışma akışkanı havaya aktarılır. Toplayıcılardan elde edilen yararlı ısı; toplayıcıdan geçirilen çalışma akışkanının giriş ve çıkış entalpi farkına eşittir. Yutucu yüzey olarak kanatçıklı metal levhalar, V-şekli verilmiş metaller, düz metal levhalar, içinden çalışma akışkanının geçtiği ağ şeklinde malzemeler, yarılmış ve açılmış metaller, sentetik ve doğal kürkler kullanılmaktadır. Yutucu yüzey ile çalışma akışkanı arasında ısı transfer katsayısı küçük olduğundan seçilen malzemenin ısı transfer alanı/hacim oranının büyük olması gerekmektedir. Bu şekilde ısı transfer alanı artacağından çalışma akışkanına aktarılan enerji miktarı da artar. Yutucu yüzeyin pürüzlü olması ısı transferinde artışa neden olur. Pürüzlülük ısı verimi olumlu yönde etkilerken, toplayıcıda oluşacak basınç kaybını dolayısıyla fan gücünü artırır.

Düşük sıcaklık uygulamalarında kullanılan havalı ve sıvılı güneş toplayıcıların uygulama alanları olarak; kullanım suyu ısıtması, konut ısıtması, sera ısıtması, tarımsal ürünlerin kurutulması, büyük hacimlerin ısıtılması ve soğutulması olarak sıralanabilir.

a) Güneş Enerjili Su Isıtma Sistemleri: Güneş enerjili su ısıtma sistemleri özellikle maliyet ve çevre şartları dikkate alınarak kurulmalıdır. Uygulamada kullanılan güneşli su ısıtma, genellikle doğal dolaşimli sistemlerdir. Uygulama şartlarına bağlı olarak ters dolaşimli, aşağıya doğru boşaltmalı, geriye doğru boşaltmalı ve donmayan sistemler tercih edilebilir. Doğal dolaşimli su ısıtma sisteminin toplayıcısında güneş radyasyonunun yutulması sonucunda, yutucu plaka kanallarında dolaşan su ısıtılır. Isınan suyun yoğunluğu azalarak, kendiliğinden yükselir ve depolama tankına üst kısımdan girer. Depolama tankının alt kısmındaki soğuk su, yer çekiminin etkisi ile dışarı çıkar ve toplayıcının alt kısmına ulaşır. Bu dolaşım, toplayıcı ve depolama tankı sıcaklıkları birbirine eşit oluncaya kadar devam eder. Güneş radyasyonunun şiddeti arttıkça, akışkanın dolaşım hızı da artar. Sıcak su kullanılmak istendiğinde, su depolama tankının üstünden alınır. Suyun sıcaklığı yeterli değilse, yardımcı bir enerji kaynağı ile ısıtmaya devam edilerek istenilen sıcaklığa ulaşılır (Şekil 3.3a). Şekil 3.3b'de ise zorlanmış dolaşimli bir sistem görülmektedir. Bu sistemde genel olarak pompa, diferansiyel termostat, sıcak su deposu, ve tek yönlü çek valf bulunur. Toplayıcı devresinde şebeke suyu dolaştırılmaktadır. Ek ısıtıcı ise sıcak su deposunun dışındadır. Burada suyun dolaşımı bir pompa ile sağlanmaktadır. Bu sistemin en önemli avantajlarından birisi ise depoyu istenilen yere monte imkanı vardır. Şekil 3.3c'de ise zorlanmış dolaşimli kapalı devreli bir sıcak su sistemi verilmiştir. Toplayıcı devresinde dolaşan antifrizli su bir ısı

değiştiricisi ile sıcak su deposu içerisinden geçirilmekte ve yeniden toplayıcıya pompalanmaktadır. Zorlanmış dolaşimli kapalı devreli sıcak su sistemlerinde genellikle iki depo kullanılır (Şekil 3.3d). Burada ısı eşanjörü deponun dışındadır.



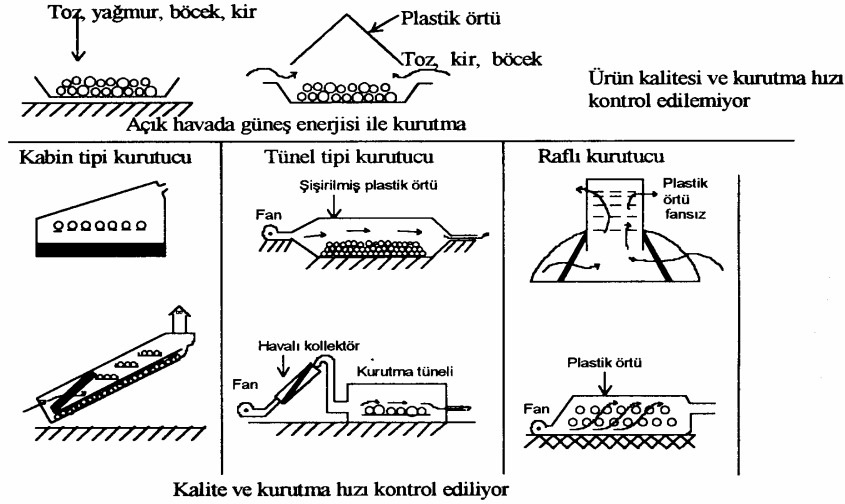
Şekil 3.3 Güneş enerjili sıcak su sistemleri

b) Güneş Enerji ile Kurutma: Kurutma, özellikle gıda, kimya, seramik, kağıt, tekstil ve deri sanayilerinin temel işlemlerinden birisidir. Gıda endüstrisinde kurutma ile, meyve ve sebzelerin besin değerlerini kaybetmeden uzun süre saklanabilmesi ve korunabilmesi amaçlanmaktadır. Kurutma ile besin maddesindeki su yüzdesi azaltılarak meyve asidi, amino asidi gibi zararlı enzimlerin faaliyeti de durdurulmaktadır. Güneş enerjisi ile kurutma, kurutulacak malzemeyi direkt güneş radyasyonu etkisinde bırakarak veya güneşle ısıtılan havayı doğal veya zorlanmış dolaşım ile malzemenin üzerinden veya içinden geçirerek sağlanır. Bu sistemlerde güneş ışınımının yanı sıra dış hava sıcaklığı, bağıl nem ve hava hızı da kurutma hızını etkilemektedir. Güneşli kurutucular, açık havada yapılan kurutmanın belli başlı mahzurlarını telafi etmektedir.

Bu kurutucular yalnız başlarına kullanılabildikleri gibi fosil yakıtlı sistemlerle birlikte de kullanılabilir. Güneş enerjili kurutma sistemlerinin güneşte doğal kurutmaya göre avantajları şu şekilde sıralanmaktadır: (i) Kurutulacak ürün tozlanma, zararlı böcekler ve yağmur gibi dış etkenlerden korunabilmektedir, (ii) Kurutulacak ürünün düzgün yerleştirme ve yeterli hava sirkülasyonu ile homojen kurutulması sağlanabilmektedir, (iii) Kurutma havası, ürünün zarar görmeyeceği en yüksek sıcaklığa kadar ısıtılabilir, (iv) Kurutma ortamına hava giriş ve çıkış debileri ile kurutma hızları kontrol edilmektedir.

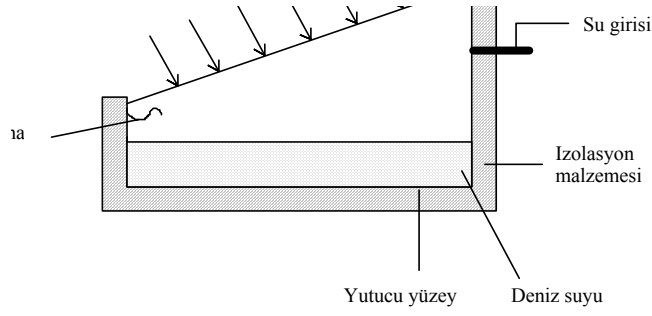
Güneş enerjili kurutma sistemlerinde, kurutulacak ürünün cinsine göre direkt veya indirekt kurutucular kullanılır. Direkt kurutucularda ürün direkt olarak güneşin etkisine bırakılır. İndirekt kurutucularda ise ürün kapalı, izolasyonla korunan kurutma odasına yerleştirilir. Direkt kurutucularda ürüne ısı transferi taşınım ve radyasyon ile gerçekleşir. Bundan dolayı kurutma oranı; indirekt güneş ışınımının etkisinde kalış biçimine, kurutucudan geçen kurutma havasının atılış biçimine ve kurutucu hacminde dolaşan havanın sıcaklığına göre sınıflandırılabilir. Şekil 3.4'de farklı çalışma koşulları için dizayn edilen kurutma sistemleri verilmektedir. Güneşin kurutulan ürün üzerine başka etkileri görülmektedir. Örneğin; üzüm ve hurmaların kurutulmasında güneş ışığı etkisi altında kalmak kurutulan ürünün renk oluşumu

için gereklidir. Oysa bazı meyvelerin kurutulmasında güneş ışığı etkisi altında kalmak C vitamini miktarını azaltmakta veya renk oluşumunu ters olarak etkileyebilmektedir. Bu nedenle kurutucu seçiminde kurutulan ürünün özellikleri de dikkate alınmalıdır.



Şekil 3.4 Güneş enerjisi ile kurutma prosesleri ve çeşitli kurutucu dizaynları.

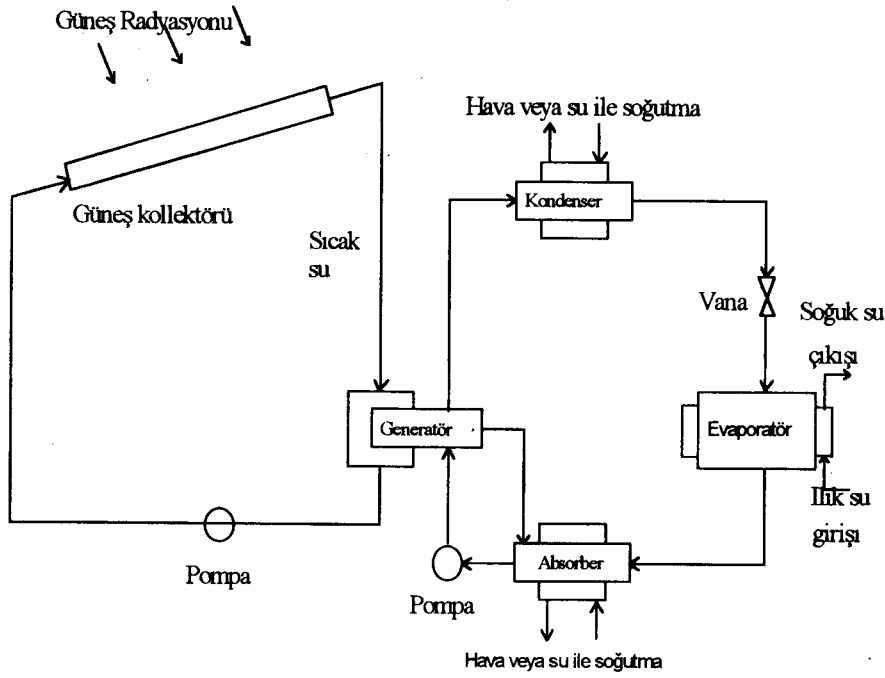
c) Güneş Enerjisi İle Damıtma: Güneş ışınımı yüksek olan deniz kıyısında bulunan bölgelerde ve adalarda ulaşım imkanlarının güç olması nedeniyle güneş enerjili damıtıcılar büyük kolaylık sağlamaktadır. Deniz suyundan tatlı su üretiminde faydalanılan geleneksel sistemlerin enerji işletme maliyetlerinin yüksek oluşu, hava kirliliğine yol açmaları, pahalı ve hassas cihazlar kullanma zorunluluğu gibi olumsuz yönleri vardır. Deniz suyunun içilebilir hale getirilmesinde güneş enerjisinin kullanılması yukarıda sayılan olumsuzlukları ortadan kaldırmaktadır. Deniz suyundan tatlı su üretiminde iki temel yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi suyu çözültiden ayıran buharlaştırma, dondurma, kristalleşme ve filtreleme olup ikincisi ise suyu çözültiden ayıran elektrodializ, ekstraksiyon, iyon değişimi ve difüzyon sistemleridir. Güneş enerjisi ile suyun damıtılmasında yaygın olarak kullanılan basit sera tipli damıtıcı Şekil 3.5’de görülmektedir. Bu tip damıtıcıda tuzlu suyun bulunduğu bölümün tabanı güneş ışığını absorplaması için siyaha boyanmıştır. Üstte ise hava sızdırmaz geçirgen bir kapak mevcuttur. Cam kapak, toplama kanalına doğru eğilidir. Cam kapaktan geçen güneş ışınları, su ve siyah yüzey tarafından yutulur. Bu enerji, tabandaki tuzlu suyu ısıtır ve bir kısım tuzlu suyun ısınmasına ve buharlaşmasına neden olur. Su yüzeyine yakın bölgelerde nem artar, dolayısıyla kapalı sistemde taşınım akımları oluşur. Daha ılık nemli hava, daha soğuk cama doğru yükselir. Burada su buharının bir kısmı cam yüzeyinde yoğunlaşır, aşağıya doğru kayarak toplama kabına damlar ve temiz su alınır. Damıtıcıdaki soğuk su güneş radyasyonuna bağlı olarak ısınır. Su sıcaklığı yükseldikçe damıtma işlemi hızlanır. Damıtma gün boyunca yavaş yavaş ilerlemesine karşılık, güneş batışından sonra çevre sıcaklığının düşmesine bağlı olarak cam sıcaklığının düşmesiyle artar. Güneş enerjili damıtıcıların veriminin artırılması için çalışmalar devam etmektedir. Farklı tiplerde damıtıcılarda imal edilmektedir.



Şekil 3.5 Basit sera tipi güneş enerjili damıtma sistemi.

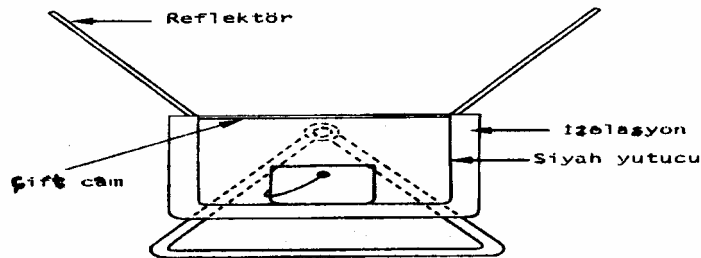
d) Güneş Enerjisi ile Soğutma: Soğutmaya ihtiyaç duyulan mevsimde güneş enerjisinin bol olması, bu kaynağın soğutma amacıyla kullanılmasını cazip kılmaktadır. Soğutma, hem sıcaklık konforunu sağlamak hem de gıda maddeleri gibi dayanımı az olan maddelerin depolanması için gereklidir. Güneş enerjisi ile soğutma son yıllarda araştırması yapılan güneş enerjisi uygulamaları içinde önemli bir yer tutmaktadır. Soğutma işlemleri için güneş enerjisi; Rankine çevrimli mekanik buhar türbinli sistemlerde, absorpsiyonlu sistemlerde, termoelektrik sistemlerde, ejektörlü sistemlerde, adsorpsiyonlu sistemlerde, Brayton çevrimli mekanik sistemlerde, gece ısıtım etkili sistemlerde ve fotovoltaik ünitelerde enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Bu sistemler içinde absorpsiyonlu soğutma sistemi, düşük sıcaklık uygulamaları için en uygun olanıdır. Kapasite kontrolünün basitliği, yapım kolaylığı ve performans katsayısının yüksekliği absorpsiyonlu soğutma sistemlerinin avantajlarıdır. Termoelektrik soğutma sisteminde, kullanılan güneş enerjisi hücrelerinin pahalı olmasından dolayı, kullanımı yaygın değildir. Ejektörlü soğutma sistemi ise ekonomik nedenler ve düşük buharlaştırıcı sıcaklıklarının sağlanmamasından dolayı diğer sistemlere göre daha az avantajlı sayılmaktadır. Adsorpsiyonlu sistem, evaporatif soğutma ile bazı nem alma maddeleri tarafından havanın neminin giderilmesi işleminden oluşmaktadır. Düşük sıcaklıklarının elde edilmesi ve ekonomik olmaması nedeniyle çok sınırlı olarak klima uygulamaları için kullanılmaktadır. Brayton çevrimli mekanik sistem ekonomik olmaması, düşük performans katsayısı ve sistem karmaşıklığı gibi dezavantajlar göstermektedir. Ayrıca gece ısıtım etkili güneş enerjisi elemanları kullanılan bu sistemde soğutma, ısıtım ile ısı transferi yoluyla gece gökyüzüne enerji kaybedilmesi şeklinde oluşmaktadır. Bu sistemde düşük sıcaklıkların elde edilmemesi ve uygun meteorolojik koşullar gerektirmesi nedeniyle tercih edilmemektedir.

Güneş enerjili absorpsiyonlu soğutma sistemlerinde, Amonyak-Su ve Lityum Bromür- Su akışkan çiftleri başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Amonyak-su kombinasyonlu absorpsiyonlu soğutma sistemi gıdaların soğukta saklanmasında gerekli olan düşük sıcaklıklar için oldukça elverişli olmaktadır. Aynı zamanda ucuz ve ticari olarak kullanılabilir. LityumBromür-Su kombinasyonu ise hava şartlandırma (klima) uygulamaları için uygun olmaktadır. Absorpsiyonlu soğutma çevriminde, soğutucu akışkan ve soğutucu akışkan gazını absorblayan sıvı akışkan (absorbent) bulunur. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi güneş enerjili absorpsiyonlu soğutma sistemi; generatör, absorber, evaporatör, kondenser gibi dört ana elemandan oluşmaktadır. Absorberde bulunan çözelti, bir sıvı pompası ile basınçlandırılarak generatöre gönderilir. Güneş enerjisinden sağlanan ısı ile soğutucu akışkan absorbentten ayrılır. Generatöre ısı verilerek karışımdan ayrılan soğutucu geçer. Sıvı haldeki soğutucu akışkanın basıncı düşürülerek evaporatöre gönderilir. Burada basıncı düşen soğutucu akışkan ortam ısını alarak buhar haline geçer ve absorbere ulaşır.



Şekil 3.6 Güneş enerjili absorpsiyonlu soğutma sistemi

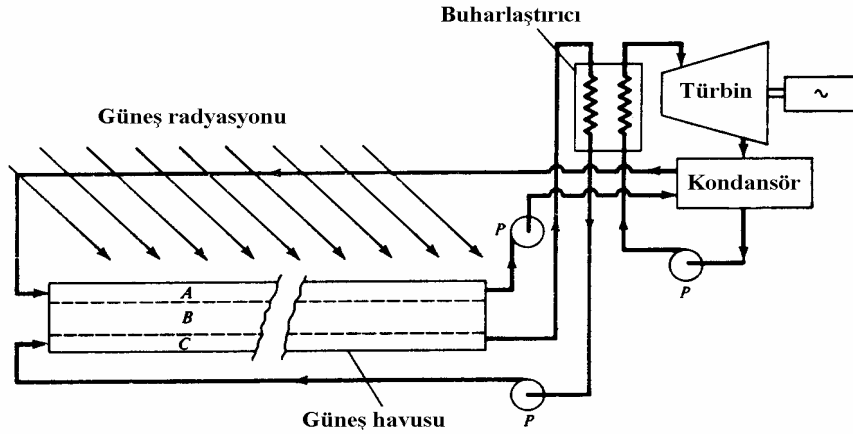
e) **Güneş Enerjisi ile Pişirme:** Güneş ocakları, dünyada güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan Hindistan, Pakistan ve Çin gibi ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çin’de bugün 400.000’den fazla güneş ocağı kullanılmaktadır. Güneş ocaklarının, gereken ısının depolanamaması, güneş ışınımının düşük olduğu saatlerde kullanılamaması gibi dezavantajları vardır. Daha çok gelişmekte olan ülkelerdeki araştırmacılar tarafından geliştirilen modeller ticari olarak da kullanım potansiyeli bulmuştur. Ayrıca kamplarda ve pikniklerde kullanılmak üzere katlanabilir, yansıtıcı, kolay taşınabilir yapıda güneş ocakları geliştirilmektedir. Isı kutulu güneş ocağı Şekil 3.7’den de görüldüğü gibi birkaç tabakalı cam veya geçirgen örtü ile yalıtılmış bir kaptan oluşmuştur. Bu tip ocaklarda sera etkisinden yararlanır. Burada geçirgen örtü kısa dalga boylu güneş ışınımının geçişine izin verirken, iç ortamdaki düşük sıcaklıktaki maddelerin yaydığı uzun dalga boylu ışınların geçişine izin vermez. Ayrıca pişirme hacmi üzerine gelen güneş ışınımını artırmak için aynalar kullanılabilir. Parabolik yansıtıcı güneş ocaklarında ise pişirilecek malzeme yoğunlaştırıcının odak noktasına yerleştirilir. Bu tip sistemler günün büyük bir kısmında verimlidir, çünkü güneşin hareketini takip etmek için yönlendirilebilirler. Fakat açıkta çalıştıkları için rüzgarın konveksiyonundan dolayı büyük ısı kayıpları meydana gelebilir. Güneş fırınları ise ısı kutulu güneş ocaklarına benzer prensiple çalışırlar. Bu sistemde doğrudan gelen güneş ışınımı yansıtıcılar kullanılarak yoğunlaştırılır. Böylece fırın içinde doğrudan yüksek sıcaklıklara ulaşmak mümkün olmaktadır.



Şekil 3.7 Isı kutulu güneş ocağı

(f) Tuz tabakalı güneş havuzu

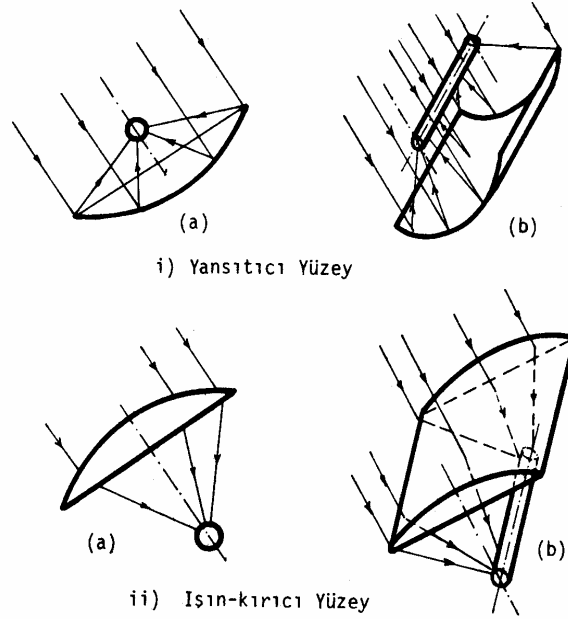
Güneş enerjisinden düşük sıcaklıkta (100°C ' nin altında) ısı enerjisi üreten sistemlerden birisi de tuz tabakalı güneş havuzlarıdır(TTGH). TTGH sistemi, normal bir havuz tabanındaki konveksiyon akımlarını tamamen engellemek veya en alt seviyeye indirmek böylece havuz tabanındaki ısı enerjisini orada muhafaza etmek amacıyla gelişme aşamasında bulunan bir tekniktir. Bu sistemlerle ısıyı tabanda 3-4 ay kadar tutmak mümkündür. Tabanda toplanan ısı enerjisi, proses ısısı olarak kullanılabilen freon ve amonyak gibi akışkanlar sayesinde elektrik enerjisi üretiminde de kullanılabilir. TTGH sistemi genel olarak iki veya üç tabakadan oluşur. En alt tabaka homojen bir tuz konsantrasyonuna sahiptir. Üstteki tabakalar ise yüzeyden tabana doğru artan bir tuz konsantrasyonuna sahiptir. TTGH sisteminde tabanda depo edilen ısı enerjisi uygun bir ısı değiştiricisi yardımıyla çekilmesi mümkündür. Şekil 3.8'de bir TTGH sistemi ile elektrik üretimi prensibi verilmiştir.



Şekil 3.8 TTGH sistemi ile elektrik üretimi

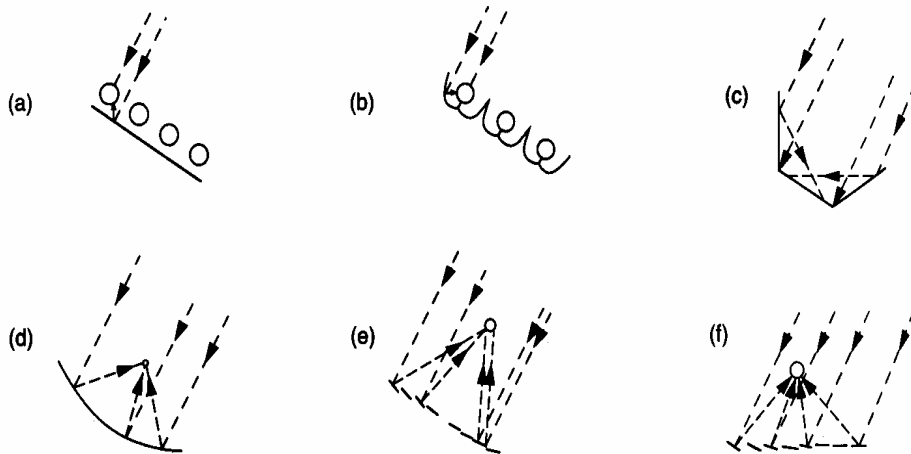
3.2.2 Orta sıcaklık uygulamaları

$100-350^{\circ}\text{C}$ arasındaki orta sıcaklıklar uygulamalarında güneşi izlemeyen silindirik odaklı toplayıcılar kullanılır. Odaklı toplayıcılar güneş ışınlarını yansıtarak veya kırarak belli bir yerde toplayabilen ayna ve mercek sistemleridir. Yani bunlar, odak düzleminde, ısı iletim akışkanını içeren bir yutucu bulunan ayna veya mercekli sistemlerdir (Şekil 3.9)



Şekil 3.9. Işınımın yansıtıcı yüzey veya ışın kırıcı yüzey ile (a) bir noktaya (b) bir doğruya yoğunlaştırılması (Kılıç, 1983)

Aynalardan oluşan odaklı toplayıcılar, güneş ışınlarını tek bir kez veya ardarda iki kez yansıtarak yoğunlaştırır. Aynalar, düz silindirik, konik, küresel veya parabolik olabilir. Yoğunlaştırıcı toplayıcı tek bir ayna veya mercekten ibaret olabileceği gibi birçok ayna veya mercekten de oluşabilir. Şekil 3.10'da farklı tipte tasarlanmış yoğunlaştırıcı sistemler gösterilmiştir [Duffie, 1991]. Bu sistemlerde güneş ışınları bir toplama hattı üzerine yoğunlaştırılmaktadır. Su buharı üreten bu sistemlerden bir kısmı Avusturalya, Avrupa, ABD ve Japonya'da endüstriyel uygulama bulmuştur.



Şekil 3.10 Farklı tipte tasarlanmış yoğunlaştırıcı toplayıcılar: (a) arka plandaki yansıtıcıdan yansıyan ışınları yutan boru tip, (b) eğri yüzeyli yansıtıcıdan yansıyan ışınları yutan boru tip, (c) düzlem yansıtıcı düzlem yutuculu tip, (d) parabolik yoğunlaştırıcı tip, (e) Fresnel yansıtıcı, (f) kuleye yoğunlaştırıcı tip

3.2.3 Yüksek sıcaklık uygulamaları

Güneş enerjisinden 350°C ve daha yüksek sıcaklıklar elde edilmesinde, iki eksende güneşi izleyen ve çok sayıda aynalardan oluşan güneş fırınları ya da merkezi toplayıcı güneş kuleleri kullanılmaktadır. Tek tek yönlendirilmiş "heliostat" adı verilen aynalar güneş enerjisini bir kule üzerindeki sabit noktaya yoğunlaştırmaktadır. Güneş fırınları ve kuleleri madenlerin ergitilmesinde ve elektrik üretiminde kullanılır.

Güneş enerjili termal elektrik üretimi, bilinen elektrik üretim yöntemleriyle benzerlik gösterir. Bu enerji dönüşüm sistemlerinde, ya bir türbini döndürmek için gaz veya buhar kullanılır ya da bir pistonun ileri geri hareketi ile Stirling motoru çalıştırılır. Güneş enerjili termal güç sistemlerinde direkt güneş ışınımının yoğunlaştırılması suretiyle buhar ya da sıcak gaz üretilir.

Güneş termal güç teknolojileri şu şekilde gerçekleşmektedir:

- Bir kollektör sistemi kullanarak güneşten gelen radyasyonunun toplanması
- Bir toplayıcı üzerine güneş radyasyonunun yoğunlaştırılması
- Toplayıcı yardımıyla güneş radyasyonunu termal enerjiye çevirme
- Termal enerjinin bir güç dönüşüm sistemine transferi
- Termal enerjiyi elektrik enerjisine çevirme

Güneş enerjisi ile elektrik üretimi termoelektrik dönüşüm ve fotoelektrik dönüşüm ile elde edilmektedir. Termoelektrik dönüşümde güneş yoğunlaştırıcısı olarak; parabolik aynalar, çanaklar veya heliostatlar kullanılır. Akışkanın güneş radyasyonu ile ısıtılarak buharlaştırılması ve buharın bir turbo-jenotörü çevirmesi sağlanır. Bu sistemlerin ulaştırılması güç bölgelerde ve köylerde elektrik enerjisi olarak kullanımını sağlamak ve enterkonnekte sisteme bağlamak için çalışmalar devam etmektedir. Bu sistemlerden en büyüğü, Kaliforniya'da 354 MW pik gücü üreten bir tesis olup 1985 ile 1991 yılları arasında kurulan 9 adet Güneş Elektrik Üretim Sistemi (SEGS) dünyada ağa bağlı olarak üretilen elektriğin % 90'nını kapsamaktadır. Bu tesis 1 milyon metrekareden fazla güneş toplayıcısından ibarettir.

SEGS tesislerinde üretilen elektriğin maliyetinin % 25'ini bakım ve üretim masrafları oluşturmaktadır. Düşük fosil yakıt fiyatlarından dolayı elektrik üreten konvensiyonel fosil yakıt tesislerle, elektrik ağına bağlı güneş enerjili elektrik tesislerinin rekabet etmesi günümüzde oldukça zordur. Çanak sistemler güneşi izlerler ve güneş enerjisini yutacak olan alıcıya odaklarlar. Yüksek verimlerinden dolayı bu sistemlerde Stirling makineleri tercih edilmektedir. Son on beş yıl içerisinde 2 kW ile 50 kW arasında büyüklüğe sahip, 8 farklı çanak alıcı ABD, Almanya, Japonya ve Rusya'daki şirketler tarafından imal edilmiştir. Üretici firmalar, bu sistemleri, su pompalaması ve uzak bölgelerde enerji temini için ihraç etmektedirler. Gelecek yıllarda bu sistemlerle köy elektrifikasyonu gerçekleştirilecek ve mevcut enerji dağıtım şebekesine enerji sağlanacaktır.

3.3 Güneş enerjisinin yoğunlaştırılmasında kullanılan teknolojiler

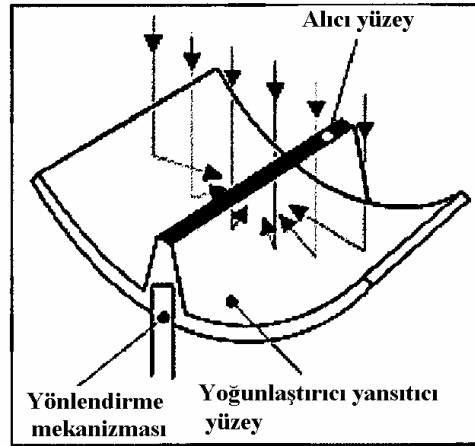
Yoğunlaştırılmış güneş enerjili güç sistemleri, güneşten gelen enerjiyi çeşitli ayna düzenekleri kullanarak yüksek sıcaklıkta ısı enerjisine dönüştürürler. Isı daha sonra bilinen yöntemlerle elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu sistemler başlıca iki ana kısımdan oluşur. Birinci kısımda güneş enerjisi toplanır ve ısı enerjisine dönüştürülür. İkinci kısımda ise ısı elektrik enerjisine dönüştürülür. Yoğunlaştırılmış güneş enerjili güç sistemleri hem evsel enerji ihtiyacını karşılayacak şekilde düşük güçler için (10kW), hem de 100MW'a kadar merkezi enerji nakil sistemini besleyecek şekilde büyük güçler için tasarlanır. Geliştirilmiş bazı sistemlerde fazla gelen güneş enerjisi, bulutlu havalar ve geceleyin kullanım için depolanır. Bir çok sistem diğer enerji kaynaklarıyla örneğin doğal gazla birlikte çalışır. Bu birleşik sistemler "hibrit güç sistemleri" olarak da bilinir ve yüksek güç verirler.

Bir çok bölgede yoğunlaştırılmış güneş enerjili güç sistemlerinin kurulabilmesi için yeterli güneş enerjisi mevcuttur. Bu sistemler, "fotovoltaik" dönüşüm sistemlerinde olduğu gibi yaygın güneş radyasyonundan ziyade direkt güneş ışınımını kullanırlar. Dünyanın bir çok bölgesi yoğunlaştırılmış güneş enerjili sistemlerinin kullanılması için önemli bir uygulama alanıdır. Üç farklı tipte yoğunlaştırılmış güneş enerjili güç sistemi vardır. Bunlar; parabolik tekne, ayna/motor ve güneş kulesi sistemleridir. Bu sınıflandırma güneş enerjisini toplama biçimine göre yapılmıştır.

(a) Parabolik Tekne sistemleri: Güneş enerjisi; tekne şeklinde parabolik eğri yüzeye sahip bir yansıtıcı eleman yardımıyla yoğunlaştırılır. Yansıtıcı yüzey üzerinde parabolik eğri boyunca hareket eden yutucu bir boru mevcuttur. Şekil 3.11'de bu sistem görülmektedir. Güneşten gelerek boru

üzerine yoğunlaştırılan ışınlarla boru içerisindeki çalışma sıvısı ısıtılır. Daha sonra ısı enerjisi yardımıyla üretilen buhar, bir buhar türbini-jeneratör sisteminden geçirilerek elektrik enerjisi üretilir. Bu sistemler, gece boyunca ve güneşin olmadığı saatlerde de düzenli bir şekilde elektrik üretebilmesi için ayrıca bir termal enerji depolama sistemlerine de sahiptirler. Genelde parabolik tekne sistemleri hibrit sistemler olup, bulutlu havalarda ve geceleyin sürekli enerji üretimini sağlamak için fosil yakıt kullanan sistemler de devreye girmektedir. Burada fosil yakıt olarak doğal gaz veya kömür kullanılır. Parabolik tekne sistemlerinde yoğunlaştırma oranı 10 dan 100'e kadar çıkabilirken sıcaklık da 400°C 'a kadar çıkabilir.

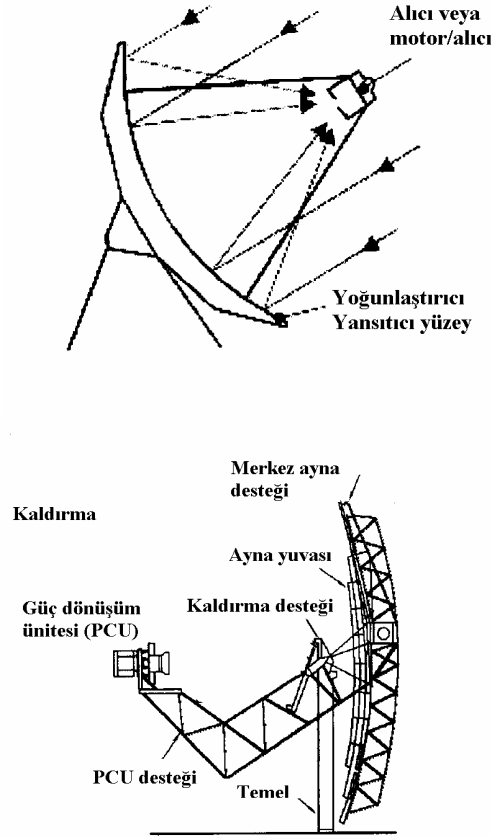
Bir toplayıcı tarlası, kuzey - güney eksenine üzerine paralel sıralanmış bir çok çanakta oluşur. Bu düzenek güneş ışınlarının gün boyunca doğudan batıya doğru tek eksenle izlenmesine ve sürekli olarak yutucu boru üzerine odaklanmasına imkan verir. Parabolik teknelerden oluşan bir toplayıcı tarlası sistemi ile ticari olarak toplam kapasitesi 350 MW 'dan daha büyük sistemler oluşturmak mümkündür. Bu tip güneş enerjili elektrik sistemlerinde ısı transfer akışkanı olarak termal yağ kullanılır, Bu ısınmış yağ boru hatları yardımıyla bir seri ısı eşanjörüne gönderilerek 390°C sıcaklığa kadar ısıtılmış buhar elde edilmesini sağlar. Süper ısıtılmış buhar bir türbinden geçirilerek elektrik enerjisi üretilir. Bu elektrik lokal enerji hatlarını besleme için de kullanılır. Bu sistem üzerindeki araştırmalar devam etmektedir. Çalışmalar daha ziyade toplayıcı içinde buharı direkt üretmeye yönelik olmaktadır. Böylece daha düşük üretim maliyetine ulaşılması hedeflenmektedir. Güneş enerjili hibrit sistemler de bir diğer araştırma konusudur. Bu konuda; özellikle İsrail, Almanya ve İspanya 'da çalışmalar yapılmaktadır []. Bu teknolojiyi ayrıca; evlerde, hapishanelerde, restaurantlarda, okullarda, küçük üretim atölyelerinde, çamaşırhanelerde de kullanmak mümkündür.



Şekil 3.11 Parabolik tekne sistemi

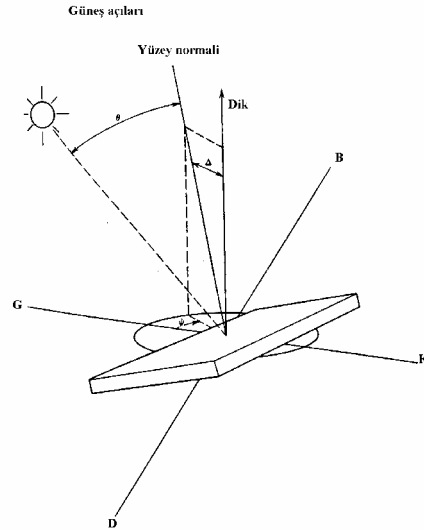
(b) Çanak/motor sistemleri: Çanak motor sistemleri başlıca; yansıtıcı, toplayıcı ve bir motordan oluşan başlı başına bir ünedir. Güneş enerjisi, çanak biçimli bir yüzey tarafından bir alıcı yüzey üzerine nokta şeklinde yoğunlaştırılır. Alıcı yüzey de bu toplanan enerjiyi ya termal enerjiye dönüştürür ve direkt ısı enerjisi olarak kullanılmasını sağlar ya da bir motor içerisindeki çalışma akışkanına aktarır (Şekil 3.12). Motor ise ısıyı mekanik güce çevirir. Soğukken sıkıştırılmış akışkan, güneş enerjisi yardımıyla ısıtılır ve bir türbin veya silindir piston sisteminde genişirken iş üretir. Bu mekanik güç bir jeneratör veya bir alternatör yardımıyla elektriksel güce dönüştürülür. Çanak-motor sistemleri güneşi iki eksenle izlerler. İdeal yoğunlaştırıcı şekli paraboliktir. Üç yada tek bir yansıtıcı yüzeye veya bir çok yansıtıcıdan oluşan bir yüzeye sahiptir. Alıcı yüzey ve motor tipi için başlıca Stirling motor ve Brayton alıcısı gibi bir çok seçenek vardır. Çanak motor sistemleri bugün ticari olarak üretilmemektedir. Tek bir çanak motor sistemleri ile 25kW kadar güç üretmek mümkündür. Amerika ve Avrupa'da kırsal bölgelerde 7.5-25kW boyutunda uygulamalar yapılmaktadır. Daha fazla

güç için çanak sistemlerini birleştirmek gerekmektedir. Bu tip sistemler doğal gazla birleştirildiğinde hibrit sistemler olarak sürekli güç üretebilecek duruma getirilirler. Çanak-motor sistemleri; yüksek verimli, ayarlanabilir, bağımsız operasyonlu ve hibrit sistemlerle beraber çalışabilen bir sistem olarak karakterize edilir. Diğer güneş enerjili sistemlerden farklı olarak çanak-motor sistemleri yüksek elektrik dönüşüm verimine sahiptir(% 29.4). Bu sistemler kırsal bölgelerin enerji ihtiyacını karşılamak için önemli bir alternatif olma durumundadır.

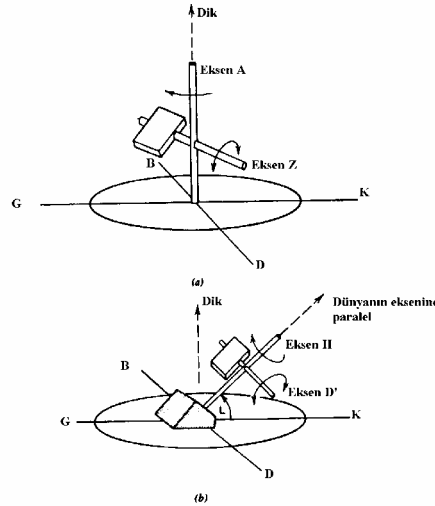


Şekil 3.12 Çanak-motor sistemleri

Yansıtıcı yüzey cam veya plastik olup gelen güneş radyasyonunu bir nokta üzerine yansıtır. Çanak-motor sistemlerinde yansıtıcı yüzeyin boyutu kullanılan makinanın gücü ile belirlenir. Örneğin ortalama 1000 W/m^2 'lik bir güneş radyasyonu için 25kW gücünde bir çanak /stirling sistemi kullanılması durumunda yoğunlaştırıcının çapı yaklaşık 10 m olarak seçilir. Yoğunlaştırıcıda alüminyum veya gümüş yansıtıcı bir yüzey kullanılır bunun da üzerinde cam veya plastik tabaka vardır. Düşük fiyatlı yansıtıcı polimer filmler henüz sınırlı bir başarıyla kullanılmaktadır. Çanak yoğunlaştırıcılar küçük bir odak uzaklığına sahiptir. Düşük demir ihtiva eden camlar yansıtmayı artırmaktadır. Kalınlık ve demir içeriğine bağlı olarak gümüşlü güneş aynaları ile yansıtma oranı %90–94 arasında sağlanır. En ideal yoğunlaştırıcı şekli paraboloiddir. Yoğunlaştırma oranı 2000 ve üzeridir. Güneşin iki eksenli izlenmesi iki şekilde olur. Bunlar Azimut-yükseklik izleme ve kutupsal izlemedir. Azimut yükseklik izlemede; çanak, dünya azimutuna paralel olarak döner, diğer hareket ise buna dik olarak gerçekleşir. Bu kollektörde sol-sağ ve yukarı aşağı şekilde bir dönme sağlar. Dönme oranı gün boyunca değişir. Fakat bu kolayca hesaplanır. Büyük çanak motor sistemlerinde çoğunlukla bu yöntem izlenir. Kutupsal izleme yönteminde kollektör; dünyanın kendi dönme eksenine paralel bir eksen etrafında 15° /saat olacak şekilde sabit bir hızla döndürülür. Diğer dönme eksenini ise, sapma eksenini kutupsal eksene diktir. Bu eksen etrafındaki hareket yavaş olup yıl boyunca $+23.5^\circ$ olarak değişir. Küçük boyutlu çanak motor sistemlerinin büyük çoğunluğu bu sistemi uyguladılar. Şekil 3.13a'da güneş açıları ve Şekil 13b'de ise izleme sistemleri görülmektedir. Burada Ψ yüzey azimut açısını, θ zenit açısını göstermektedir.



Şekil 3.13 Güneş açıları

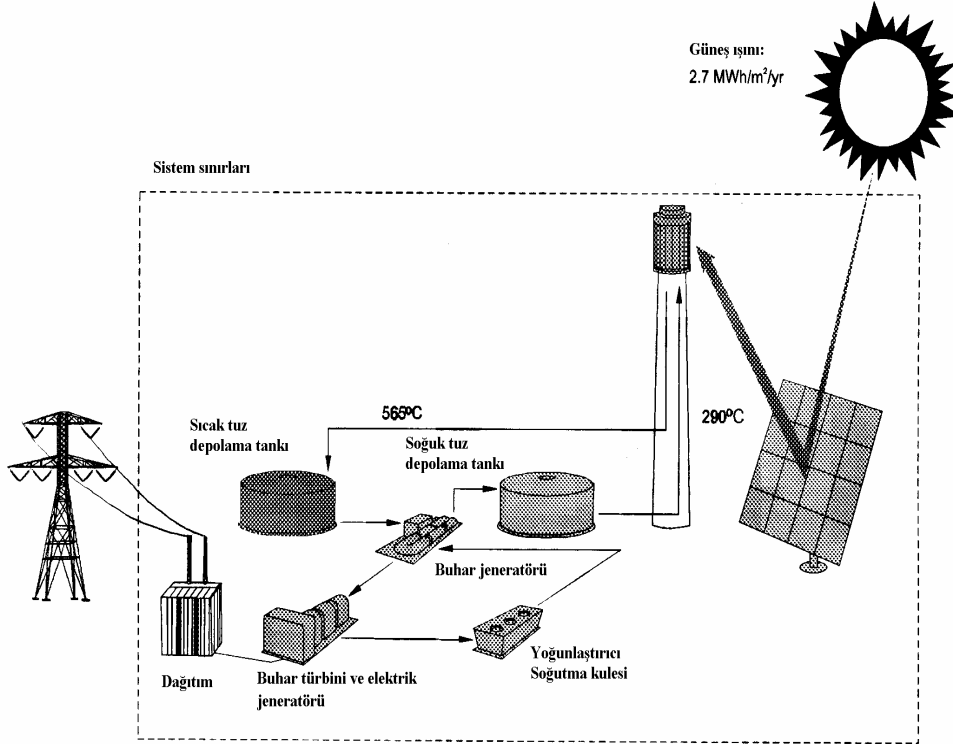


Şekil 3.13b Güneş izleme prensibi

Alicılar, yoğunlaştırıcı tarafından yansıtılan enerjiyi absorbe ederek makinadaki çalışma sıvısına aktarırlar. Yutucu yüzey, genellikle yoğunlaştırıcının odak noktasının arkasında bulunur. Odağa radyasyon ve konveksiyonla meydana gelen ısı kayıplarını düşürmek için bir menfez yerleştirilir. Stirling motor, yoğunlaştırılmış güneş enerjisini yüksek verimle alır ve bunu yüksek basınçlı bir gaz (helyum veya hidrojen) aktarır. Brayton çevrimli bir sistemde ise akışkan düzenli olup fakat göreceli olarak daha düşük basınçlıdır. Çanak-motor sistemlerinde kullanılan motorlar geleneksel sistemlerde olduğu gibi ısıyı mekanik güce çevirirler. Yani çalışma sıvısı soğukken sıkıştırılır, sıkıştırılmış akışkan ısıtılır, Bir türbin veya piston silindir sisteminde genişirken iş üretilir. Mekanik enerji bir jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine dönüşür. Çanak-motor sistemlerinde bir çok termodinamik çevrimi ve çalışma sıvısını kullanmak mümkündür. Bunlar örnek olarak su veya organik çalışma sıvısı kullanan Rankine çevrimini, açık ve kapalı Brayton çevrimini ve Stirling çevrimini verebiliriz. Otto ve dizel motor çevrimleri bu sistemler için uygun değildir. Çanak Stirling sistemlerinde elektriksel güç yaklaşık 25kW, Brayton çevrimlerinde yaklaşık 30kW'dır.

(c) Güneş kulesi: Güneş kulesi sisteminde güneşten gelen direkt ışınlar, geniş bir alana yayılmış yüzlerce hatta binlerce aynalar (bunlar heliostat olarak da bilinir) yardımıyla kule üzerindeki toplayıcı üzerine yoğunlaştırılır. Toplayıcı içerisinde dolaştırılan tuzlu eriyiğin, bu yoğunlaşan enerji

yardımıyla sıcaklığı artırılır. Bu tuzlu eriyiğin ısı enerjisi daha sonra elektrik enerjisi üretmek amacıyla bir geleneksel buhar türbini-jeneratör sisteminde kullanılır. Tuzlu eriyik ısıyı verimli bir şekilde tutar. Böylece ısı, saatlerce veya hatta günlerce elektrik enerjisi üretilmeden muhafaza edilir. Şekil 3.14'de bir güneş kulesi sistemi görülmektedir.



Şekil 3.14 Güneş kulesi sistemi

Tuzlu eriyik 277°C sıcaklıkta soğuk depolama tankından kule üzerindeki bir toplayıcı içerisine pompalanır. Burada 777°C 'a kadar ısınarak bir sıcak tanka gönderilerek depolanır. Güce ihtiyaç duyulduğunda sıcak tuzlu eriyik bir buhar üretme sistemine pompalanarak yüksek sıcaklıkta buhar üretilmesinde kullanılır. Buhar üreticiden çıkan tuzlu eriyik tekrar soğuk tanka gönderilerek depolanır ve yeniden toplayıcı sisteme gönderilir. Bir termal depolama ile birlikte güç kulesi sistemi yıllık %65 kapasite faktörü ile çalışır. Bunun anlamı, yılın %65'inde ilave bir enerji kaynağı kullanmadan çalışabilirler. Enerji depolamadan güneş teknolojilerinin yıllık kapasite faktörleri % 25 civarındadır. Güneş kulesi, bu depolama sistemi ve daha uzun süre çalışabilmesi özellikleri nedeniyle diğer yenilenebilir enerji teknolojilerinden ayrılır.

Bu sistemler; ısı transfer akışkanı, ısı depolama ortamı ve güç dönüşüm sistemine bağlı olarak farklı şekillerde tanımlanırlar. Güneş kulesi sistemlerinde ısı transferi akışkanı olarak su/buhar, eriyik nitrat tuzu, sıvı metaller veya hava kullanılır. Termal enerji depolama, faz değiştiren maddeler veya seramik briketler yardımıyla sağlanır. Genelde Rankin buhar çevrimi uygulanmakla birlikte diğer bir alternatif olarak açık çevrimli Brayton güç dönüşüm sistemi de kullanılabilir. Güç kulesi sistemlerinde yoğunlaştırma oranı 300 ile 1500 arasında değişirken, sıcaklık 550°C 'dan 1500°C 'a kadar çıkabilir. Maksimum güç 10 MW ve üzeridir

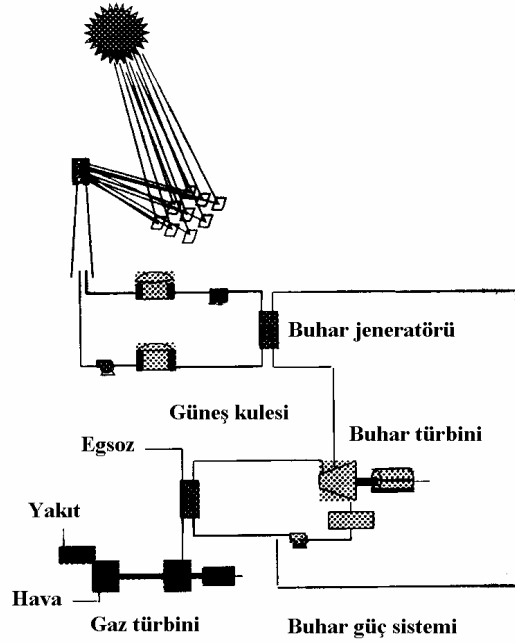
Isı transferi akışkanı olarak genelde iki farklı akışkan kullanılmaktadır. Bunlar su ve erimiş tuzlardır. Su ısı transferi için en eski ve en ucuz çözümdür. Tuz eriyikleri, bulutlu havalarda ve geceleri ısıyı uzun süre sakladığı için çok iyi bir enerji depolayıcı malzemedir. Erimiş tuzlar genellikle %60 sodyum nitrat ve %40 potasyum nitrat ihtiva eder. Tuz yaklaşık 700°C ' da erir. 1000°C da ise hala eriyik

halindedir. İzolasyonlu bir kapta uzun bir süre tutularak ihtiyaç olduğu anda suyu buharlaştırmak için hazır bekletilir. Bu tip bir enerji depolamanın verimi %99 civarındadır. %1lik kayıp ise izolasyon kayıplarıdır. Günümüzde güneş kulesi sistemlerinde nitrat tuzu ve havanın ısı transfer akışkanı olarak kullanılması konusunda araştırmalar devam etmektedir. Nitrat tuzunun depolama amaçlı kullanılması durumunda, güneşsiz ve bulutlu günlerde ve güneş battıktan sonra da gerekli güç üretilir. Çalışmalarda hedef nitrat tuzlu sistemlerle 100-200MW'lık güçler üretmek olmaktadır. Günümüzde sistemin maliyeti yüksek olduğu için az sayıda güneş kulesi vardır. Bu sistemlerin kurulabilmesi için bölgenin uzun süre ve çok yoğun güneş ışınımı alması gerekir. Tablo 3.2'de dünyada kurulu güneş kulesi sistemleri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Tablo 3.2. Dünyada kurulu güneş kulesi sistemleri

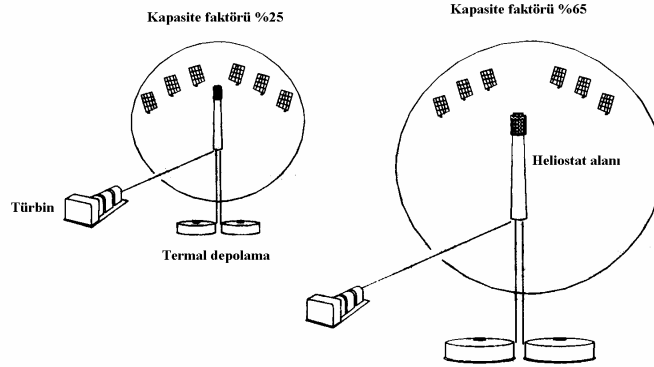
Proje	Ülke	Güç (MW)	Isı transfer akışkanı	Depolama ortamı	İşletmeye açılış
SSPS	İspanya	0.5	Sıvı Sodyum	Sodyum	1981
EURELIOS	İtalya	1	Buhar	Nitrat tuzu/Su	1981
SUNSHINE	Japonya	1	Buhar	Nitrat tuzu/Su	1981
Solar One	Amerika	10	Buhar	Yağ/Kaya	1982
CESA-1	İspanya	1	Buhar	Nitrat tuzu	1983
MSEE/Cat B	Amerika	1	Nitrat eriyiği	Nitrat tuzu	1984
THEMIS	Fransa	2.5	Yüksek teknoloji tuz	Yüksek teknoloji tuz	1984
SPP-5	Rusya	5	Buhar	Su/Buhar	1986
TSA	İspanya	1	Hava	Seramik	1993
Solar Two	Amerika	10	Nitrat tuzu eriyiği	Nitrat tuzu	1996

İlk güneş kulesi sisteminde; buhar türbini sisteminde kullanılan buhar direkt olarak üretilmiştir. "Solar One" sistemi 1982 yılından 1998 yılına kadar dünyanın çalışan en büyük güneş kulesi sistemi olup, toplayıcı içerisindeki su buhara dönüştürülerek Rankin çevrimli bir buhar türbini sisteminde kullanılmıştır. Burada her birinin yansıtıcı yüzey alanı 39.3 m² olan 1818 adet heliostat adı verilen güneşi izleyen aynalar kullanılmıştır. Gelecekte, güney batı Amerika'da 30-100 MW arasında bir güneş kulesinin planlanması düşünülmektedir. Dünyada Hindistan, Mısır ve Güney Afrika güneş kulesi sistemlerinin kurulması için aday ülkeler durumundadır. Teknolojik olarak 400 MW güce kadar güneş kulesi sistemi yapmak mümkündür. Çevre kirliliği yaratmayan enerji kaynakları gün geçtikçe daha fazla önemli olurken, tuz eriyikli güneş kulesi sistemlerinin maliyetli hala yüksek olmaktadır. Buna rağmen, enerji depolamalı güneş kulesi sistemlerinde yıllık kapasite faktörü %65 'e kadar çıkabilmektedir. Bu teknolojinin kullanılmasındaki önemli bir sorun da büyük bir yüzey alanına ve çok miktarda suya ihtiyaç duyulmasıdır. Çöllerde yeterli güneş enerjisi ve alan olmasına karşılık buralarda su temini zordur. Güneş kulesinde gerekli yüzey alanı hidrolik sistemlerle karşılaştırıldığında daha azdır. Şekil 3.15'de bir güneş kuleli hibrit sistem görülmektedir. Burada hem buhar hem de gaz türbini mevcut olup gaz türbininde sadece fosil yakıt kullanılmaktadır. Buhar türbininden güç üretiminde ise hem güneş enerjisi hem de fosil yakıt kullanılmaktadır.



Şekil 3.15. Güneş kuleli hibrit sistem

Şekil 3.16'de farklı kapasite faktörlerinde tasarlanmış iki güneş kulesi sistemi görülmektedir. Kapasite faktörünü verilen bir türbin boyutunda artırmak için şu yollar izlenir. a) heliostat sayısını artırmak, b) termal depolama tankını büyütmek, c) kuleyi yükseltmek, d) alıcı boyutlarını büyütmek. Böylelikle kapasite faktörünü %25'den %65'e çıkarmak mümkün olacaktır.

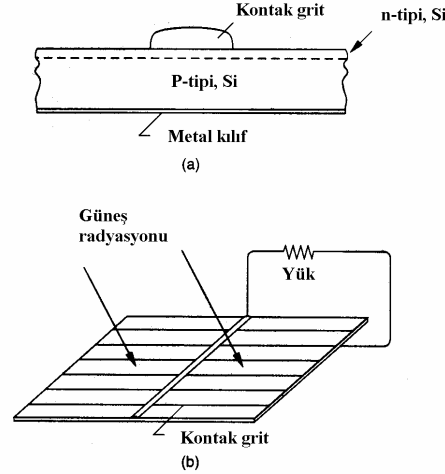


Şekil 3.16. Farklı kapasite faktörlerinde tasarlanmış güneş kuleleri

Yoğunlaştırılmış güneş gücü teknolojileri, büyük ölçekli güç sistemlerinde (10 MW ve üzerinde) oldukça ekonomik olup kurulu gücün maliyeti bugünkü teknoloji ile 2-3\$/Watt'dır. Yani 10MW'lık bir sistemin maliyeti 3 milyon USD olup burada üretilen elektriğin maliyeti ise 9-12cent/kWh'dir. Doğal gazlı kombine bir yoğunlaştırılmış güç sistemlerinde bu değer 8 centin altına düşmektedir. Teknolojideki gelişmeler ve düşük fiyatlı termal depolama sistemlerinin kullanılması ile yoğunlaştırılmış güneş enerjili sistemler günün daha fazla saatinde çalışma imkanı sağlayacaktır. Böylece elektriğin kWh'ini 4-5 cent civarına düşürmek mümkün olacaktır.

3.4 Fotovoltaik pil uygulamaları

Güneş enerjisinin fotoelektrik dönüşümünde kullanılan fotovoltaj piller, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren düzeneklerdir. Fazla elektron bulunan n-tipi yarı iletken ile fazla boşluk bulunan p-tipi yarı iletken yan yana geldiği zaman tek bir kristal meydana getirmesi ve fazla elektronların boşluklara atlamasıyla doğru akım meydana gelir. Güneş pillerinin verimleri; tasarım, madde yapısı ve imalat şartlarına bağlı olarak % 6 – 35 arasında değişir. Şekil 3.17'da bir fotovoltaj pilinin yapısı görülmektedir.



Şekil 3.17. Fotovoltaj pil (a) pilin yapısı, (b) elektrik üretimi

Güneş pillerinin 35 yıllık gelişiminde, özel ve kamu destekli araştırma ve geliştirme çalışmaları esas olmuştur. Güneş pili fiyatlarındaki düşüş ve elektrik üretiminde temiz bir enerji kaynağı olmasından dolayı kullanımında son yıllarda önemli bir artış görülmektedir. Güneş pilleri pahalı olmalarına karşın en önemli üstünlükleri; hiç bir hareketli parçaya sahip olmamaları, sorunsuz olarak az bakımla 25- 30 yıl kullanılabilmeleri ve çalışma süreleri boyunca doğaya hiç bir kirlenici atık bırakmamalarıdır.

Güneş pillerini oluşturan hücreler; ışığı emen, elektronları uyaran ve böylece akım taşımak için boşluklar oluşturan iki veya daha fazla özel hazırlanmış yarı iletken madde katmanını içerir. İki ayrı özelliğe sahip yarı iletken maddenin temas yüzeyi, elektronların bir devrede dolaşmasını sağlayacak bir gerilim oluşturur. Bu gerilimi kullanmanın bir yolu cihazda iki veya daha fazla ince yarı iletken madde katmanını kullanmaktır. Bu hücrelerin alanı bir kaç cm² den 3-4 m² ye kadar değişmekte ve silikon, galyum arsenit, şekilsiz silikon, bakır indiyum diselenit, kadmiyum tellürit ve bir çok farklı yarı iletken maddeden yapılmaktadır. Birçok hücreyi bir molekülde bağlamak daha yüksek bir güç çıkışı sağlar ve hücreler için koruyucu kaplama oluşturur.

Fotovoltaj piller, modüller halinde olduğundan ihtiyaca göre boyutlandırılabilir. Yeni sistemlerin tasarımı, kurulumu ve çalıştırılması veya var olan sistemlere ek yapılmasında geçen süre diğer konvansiyel güç üretim tekniklerinde gereken sürenin küçük bir kısmıdır. Ayrıca bu sistemlerin basitliği, düşük çalışma ve bakım maliyeti sağlar. Fotovoltaj jeneratörleri çevirme işleminde, hiç bir hareketli parçası olmadığından dolayı bakım, tamir ve yedek parça maliyeti daha düşüktür. Çalışma maliyeti sıfırdır çünkü yakıt masrafının olmaması birim kWh başına enerji maliyetini düşürmektedir. Tipik bir sistemin kullanım süresi yaklaşık 20 yıldır. Güneş pili sistemlerinin maliyeti, temel olarak iki kısımda incelenebilir. İlki güneş pili modüllerinin maliyeti, ikincisi invertörler, elektronik denetim aygıtları, depolama, kablolama, arazi, altyapı hazırlama gibi sistem destek elemanlarının maliyetidir. Genelde güneş pillerinin maliyeti toplam sistem maliyetinin yarısını oluşturmaktadır. Ancak maliyet hesabında çevre etkileri dikkate alınmamaktadır. Yıllık güneş pili piyasasının 500 milyon dolar civarında ve güneş pili üretim kapasitesinin yıllık 50-100 MW olduğu sanılmaktadır.

3.4.1 Fotovoltaik pillerin uygulama alanları

Fotovoltaik pillerin uygulama alanları; kırsal bölgelerin elektrifikasyonu, zirai uygulamalar (süt, gıda korunması), haberleşme cihazları, uyarı ve sinyalizasyon sistemleri, meteoroloji aletleri, park ve otoyolların aydınlatması, su pompalanması ve küçük tip el aletleridir.

Fotovoltaik pillerle sulama sisteminin başlıca bileşenleri, pompa, pompayı çalıştıran elektrik motoru ile motora elektrik enerjisi temin eden fotovoltaik elemanların oluşturduğu fotovoltaik jeneratördür. Bu sistem, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür. Tüm güneş enerjisi sistemlerinde olduğu gibi sistemin en önemli parçası enerji deposudur. Güneş enerjisinin kesikli olması ve genelde tüketim talebine paralel gelişmemesi nedeniyle sistemde bir enerji deposuna ihtiyaç duyulmaktadır. Fotovoltaik sulama sisteminde en basit depolama alternatifi, gerekli potansiyel enerjiyi sağlayacak yüksekliğe yapılmış su deposudur. Ancak sistemde akümülatör kullanılarak elektrik enerjisi depolanması halinde gerekli jeneratör gücü azalacağından, daha ekonomik bir sulama elde edilebileceği belirtilmektedir. Pompa, su deposu ve borularının hesaplanarak yerleştirilmesi bilinen sulama tekniklerine uygun olarak yapılır. Fotovoltaik sulama sistemlerinde önemli olan fotovoltaik panelin yerleştirilmesidir. Panelin gün boyunca gölge altında kalmamasına dikkat edilerek ön yüzü güneşe dik olarak yerleştirilir. Aynı zamanda panelin yatayla yaptığı açı maksimum güneş ışınımını alması yönünden önemlidir. Panelin eğimi, eğer sistem tüm yıl kullanılıyorsa enleme eşit, yaz aylarında kullanılıyorsa enlem- 15°, kış aylarında kullanılıyorsa enlem + 15° alınır.

Fotovoltaik pillerin diğer bir uygulama alanı ise güneş elektrik santralleridir. Fotovoltaik santraller 1982 yılında Kaliforniya'da 1MW'lik Edison Lugo santralini Los Angeles ile San Francisco arasında kurulan 6.5 MW'lık Carisa Plains santrali izledi. Amerika dışında başka ülkelerde de bu tip santraller bulunmasına karşılık toplam kurulu güçleri güneş termik santrallerinin % 10'unu aşmamaktadır. Fotovoltaik üreteçler merkezi santrallerden çok oto prodüktörler için uygun olup birim kurulu güç maliyetinin termik tiplerden 3.7 – 5.2 kat daha yüksektir.

Avrupa'nın güneş pili üretimi 1992 yılında yaklaşık 17 MW değerine ulaşmıştır. Bu rakam toplam dünya üretiminin üçte biri olmuştur. Bu üretimin % 75'i gelişmekte olan ülkelere ihraç edilmiştir. En fazla üretim kapasitesi Almanya, İtalya, İsviçre ve İspanya'dadır. PV teknolojisi temiz teknoloji olduğundan, karbondioksit vergisi ve emisyon yönünden gelecek yıllarda fosil yakıtlara göre daha cazip duruma gelecektir.

İngiltere'de Ford firması, fabrika çatısına yerleştirdiği toplam 100 kW gücündeki güneş pilleri ile yılda 110 000 kW saat enerji üretmektedir. Fabrika çatısının % 8'ini kaplayan pillerin 30 yıl boyunca kullanılması durumunda fabrikanın karbondioksit salınımı 3000 ton azalacağı hesaplanmıştır. Avrupa'daki bu tür fabrika yapıları içinde en büyük uygulamalardan biri olan bu sistemin maliyeti 1.5 milyon İngiliz lirasıdır. Proje, BP-Solar firmasınınca yürütülmüş ve güneş panelleri, bu firmanın Madrid'deki tesislerinde üretilmiştir.

Dünyanın en geniş alanlı güneş pili çatısı, yılda 1.000.0000 kWh 'lik elektrik enerjisi üretecek şekilde Almanya'da kurulmuştur. Toplam 7916 m² 'lik alanı kaplayan 7812 güneş modülünden oluşan sistemin maliyeti 14 milyon Alman markıdır. Ayrıca evlerin çatılarına konulan güneş pilleri, ürettikleri elektriğin üçte birini kendileri için kullanmakta geri kalanını ise enterkonnekte sisteme vererek ulusal elektrik enerjisi üretimine katkıda bulunmaktadır.