

# YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE TEKNOLOJİLERİ

## Dersi 5

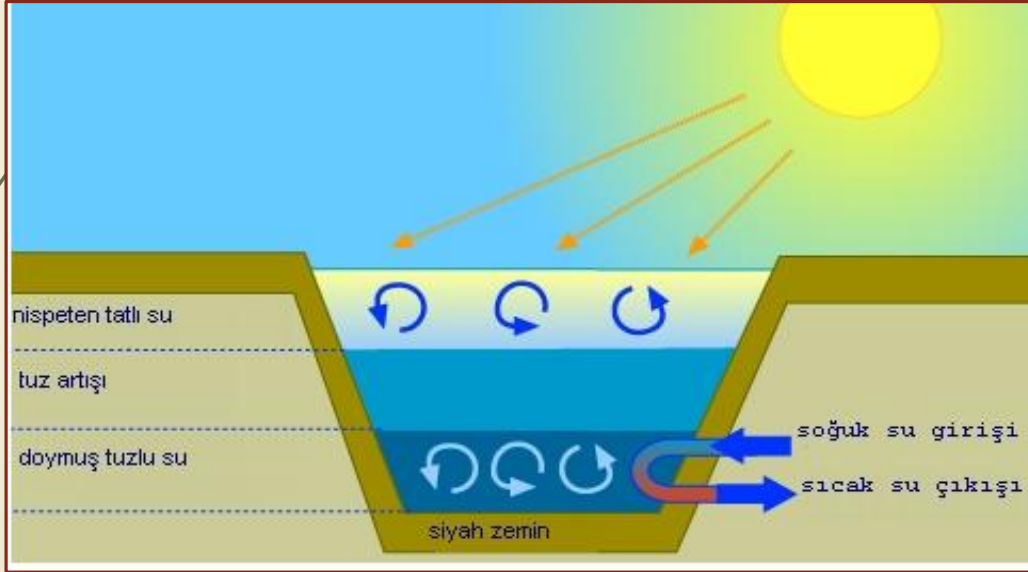
- 4.5.2 Yoğunlaştırıcı güneş enerjisi sistemleri (CSP) ve elektrik üretimi
- 4.5.3 Güneş ışınları ile doğrudan elektrik üreten sistemler ve uygulamaları
- Fotovoltaik hücreler ve paneller

Prof. Dr. Ayten ONURBAŞ AVCIOĞLU  
E-mail: [onurbas@agri.ankara.edu.tr](mailto:onurbas@agri.ankara.edu.tr)  
Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi  
Tarım Makinaları Ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü  
2017

## ► Güneş havuzları

2

- Güneş havuzları, güneş enerjisini ısı şeklinde toplayan ve depolayan sistemlerdir. Havuzlar genellikle 5-6 metre derinlikte olup suyla doludur. Havuzun zemini güneş ışınlarını tutması için siyah olarak imal edilmektedir. Burada 90°C'ye kadar sıcaklıkta su ısıtılabilir. Havuz içerisindeki sıcaklık değişimi farklı tuz konsantrasyonlarıyla elde edilmektedir (Şekil 4.15). Tuz oranının düşük olduğu üst yüzeylerde soğuk su, tuz oranının yüksek olduğu alt kısımlarda da daha sıcak su elde edilmektedir. Havuzun alt kısımlarında bulunan sıcak su direk ısı amaçlı kullanılacağı gibi elektrik enerjisi eldesinde de yararlanılabilmektedir. Güneş havuz sistemlerinin verimi %20 civarındadır (Muhtaroğlu, 2012).
- Dünyada güneş havuzlarının en yaygın olduğu ülkeler; İsrail ABD ve Avustralya'dır. İsrail'de 150 kW ve 5 MW, ABD'de 400 kW ve Avustralya'da ise 15 kW büyüklüğünde havuz sistemleri kullanılmaktadır (Anonim 2012b).



**Şekil 4.15** Güneş havuzu (<http://www.limitsizenerji.com/haberler/makaleler/1120-gunes-havuzlari>)

## ► Güneş bacaları

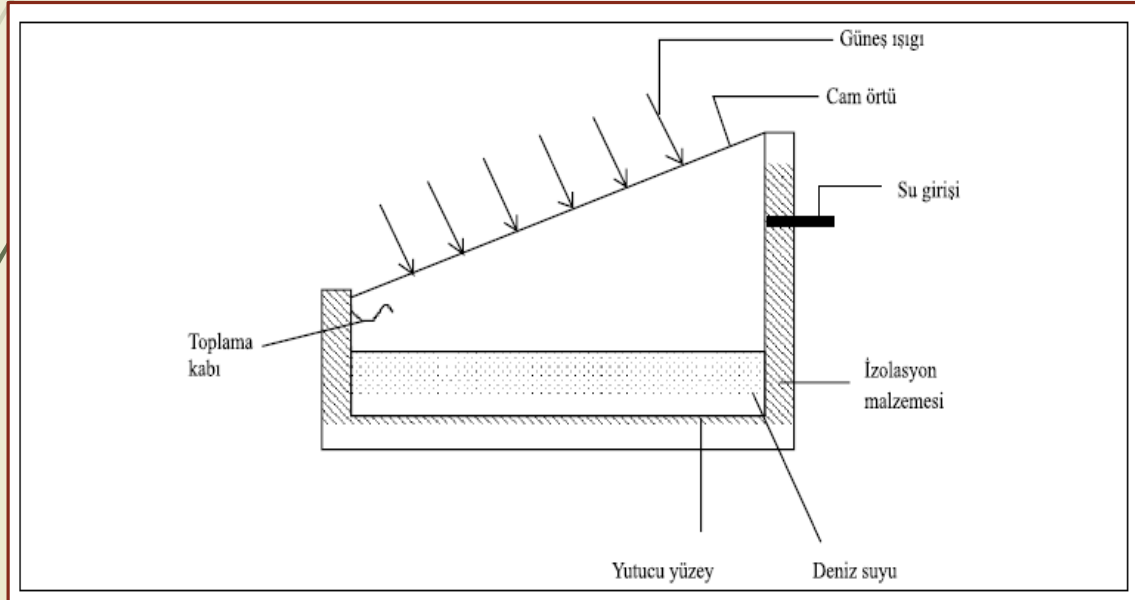
- Güneş bacası sisteminde; güneşin ısı etkisiyle meydana gelen hava hareketi elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Bu sistemde şeffaf yüzeyle oluşturulmuş bir bina içerisi dış ortam sıcaklığından daha yüksek bir sıcaklıkta ısınmaktadır. Eğimli çatıya sahip bu yapı içerisindeki ısınan hava yükselerek bacaya yönlendirilmektedir. Yükselen hava yaklaşık 15 m/s'lik bir hızda hava akımı rüzgar oluşturmaktadır. Bu hava hareketi bacaya yerleştirilen bir rüzgar türbini üzerinden elektrik enerjisine dönüştürülmektedir (Şekil 4.16). Yaklaşık 30-100 MW büyüklüğünde olabilen bu tesisler deneysel amaçlı kullanılmaktadır.



**Şekil 4.16** Güneş bacası (Anonim 2012b)

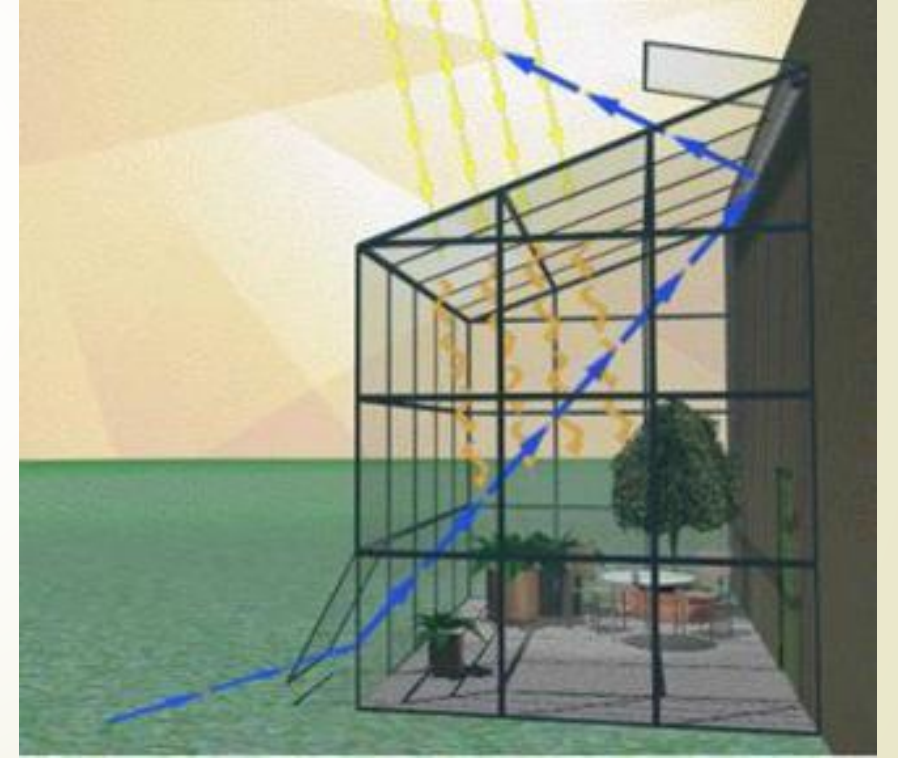
## ► Güneş ile su damıtma sistemleri

- Güneş enerjisinden yararlanılarak içilebilir tatlı su elde edilmesi diğer sistemlere göre daha çevreci ve ucuz bir yöntemdir. Güneş yoğunluğu fazla olan denize yakın yerlerde güneş enerjisinden yararlanılarak su damıtılması oldukça kolay ve ekonomik olmaktadır.
- Deniz suyunun içilebilir suya dönüştürülmesinde iki ayrı sistem kullanılmaktadır. Bu sistemlerden birincisinde tuzun ayrılması için; sırasıyla buharlaştırma, dondurma, kristalleştirme ve filtreleme işlemleri uygulanmaktadır. İkinci sistemde ise; elektrodiyaliz, ekstraksiyon, iyon değişimi ve difüzyon işlemleri uygulanmaktadır (Anonim 2009b).
- Su damıtılmasında kullanılan en basit sistem; sera tipi damıtma sistemidir (Şekil 4.17). Damıtıcının tabanı daha fazla güneş ışınlarını absorbe etmesi için siyah renkte yapılmaktadır. Damıtıcının üst kısmı ise hava sızdırmayacak bir şekilde ve tatlı suyun toplandığı kanala doğru eğimli olacak şekilde düzenlenmiştir. Cam bölümden geçerek gelen ışınlar damıtıcı içerisinde bulunan deniz suyu ve siyah taban tarafından absorbe edilmektedir. Isınan su buharlaşarak yükselmekte ve oluşan su buharları daha soğuk olan cam yüzeyinde yoğunlaşmaktadır. Yoğuşan su eğimli yüzeyden kayarak toplama kabında birikmektedir. Damıtıcı içerisindeki su ne kadar ısınır ise yoğuşan su miktarı da o kadar fazla olacaktır. Ayrıca dış çevre sıcaklığı azaldıkça da damıtma işlemi hızlanmaktadır (Anonim 2009b).



**Şekil 4.17** Basit sera tipi güneş enerjili damıtma sistemi (Anonim 2009b, <http://cevre.alternaturk.org/gunesle-su-aritma/>)

- **Konutların güneşle pasif olarak ısıtılması ve soğutulması**
- Güneş ışınlarının yaz aylarında dike yakın, kış aylarında yatık gelmesine bağlı olarak mimari tasarımların gerçekleştirilmesidir. Yani sıcaklığın yüksek olduğu yaz günlerinde güneş ışınlarının konutlara girmesine engel olan, yine sıcaklığın düşük olduğu kış günlerinde ise konut içerisine güneş ışınlarının girişini sağlayan sistemler bulunmaktadır (Şekil 4.18). Türkiye'nin kuzey yarım kürede olması sebebiyle güneye bakan kısımlar kışın güneş ışınlarından daha fazla yararlanır. Bu sebeple mimaride güney cephe önemli bir kriterdir. Mantolama olarak bilinen, kış aylarında ısı kaybını minimum düzeye indiren, yaz aylarında ise evi serin tutan izolasyon yöntemi örnek olarak gösterilebilir (Muhtaroğlu, 2012).



**Şekil 4.18** Güneş mimarisi örnekleri (Anonim, 2012b)

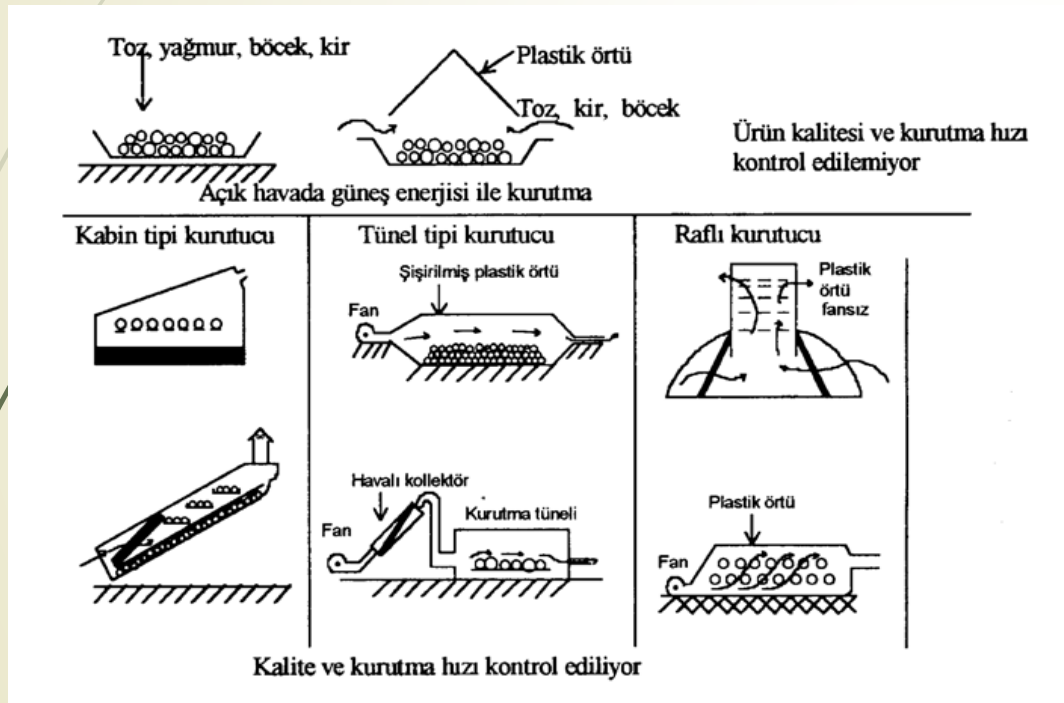
## ► Güneşle sera ısıtma

- Sera yetiştiriciliğinde, bitkilerin büyümesi, gelişmesi; verimin, kalitenin yüksek olması için en önemli koşul sıcaklık kontrolüdür. Yani seranın dışında kalan ortamın sıcaklığı düşük olsa bile iç sıcaklığının gereken değerin altına düşmemesi gerekir. Seraların ısıtılmasında fosil gibi geleneksel ısıtma yöntemlerinin maliyetinin fazla olması alternatif enerji kaynaklarına yönelime olanak sağlamıştır. Son yıllarda sera ısıtmasında güneş enerjisinden yararlanma payı oldukça artmıştır (Muhtaroglu, 2012).
- 
- Seranın plastik ya da cam örtüsü güneş ışınlarından en iyi şekilde faydalanılacak şekilde yapılır. Bu plastikten ya da camdan geçen güneş ışınları toprak tarafından emilir, ısıya dönüşür, ısının dağılması engellenerek yetiştirilen bitkilere gereken sıcaklıklar verilmiş olunur.
- 



## ► Güneşle kurutma

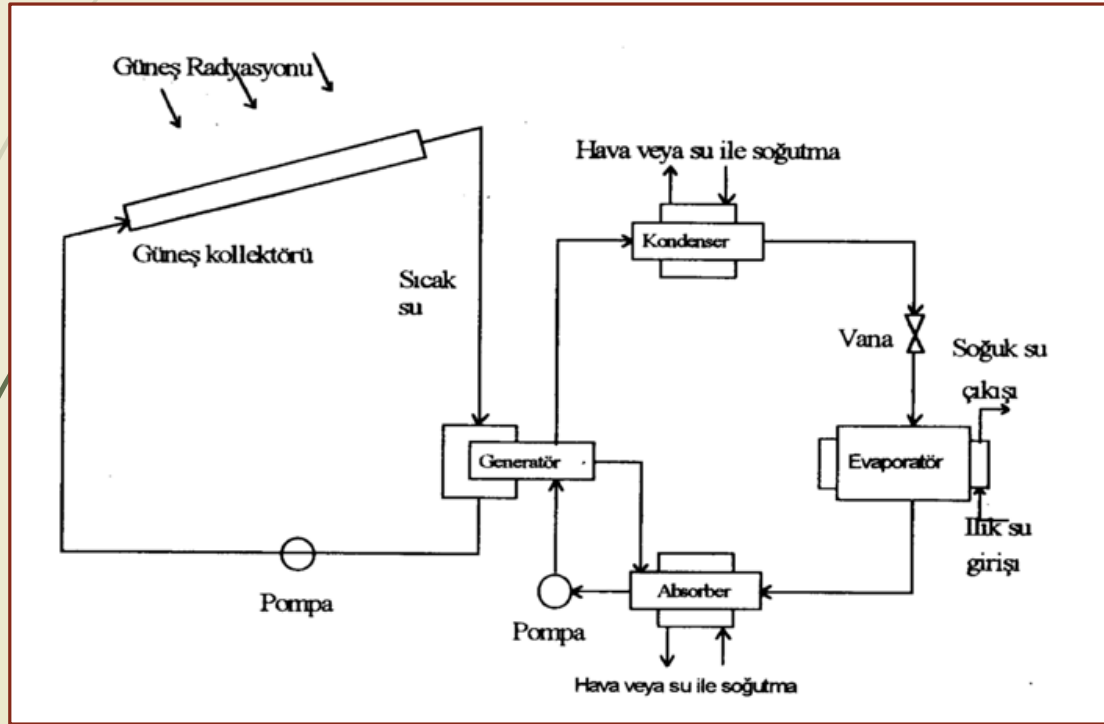
- Güneşle çeşitli materyallerin kurutulması; direk güneş altında bırakılarak (açık havada kurutma) yada güneşle ısıtılmış havanın doğal olarak yada bir fan yardımıyla ürün üzerinden geçirilmesiyle sağlanmaktadır. Güneş enerjisiyle ısıtılmış havanın doğal yada zorunlu olarak hareketlendirilerek ürün kurutulmasının yapıldığı sistemler güneş kurutucusu olarak adlandırılmaktadır. Farklı özelliklere sahip kurutma sistemleri Şekil 4.19'da verilmiştir.



**Şekil 4.19** Güneş enerjisi ile kurutma prosesleri ve çeşitli kurutucu dizaynları (Anonim 2009b, <http://www.gunessistemleri.com/kurutma.php>)

## ➤ Güneşle soğutma

- Güneş enerjili soğutma sistemleri gıdaların soğukta saklanması, buz üretimi, binaların soğutulması, iç mekan soğutulması gibi alanlarda kullanılır. Soğuk hava depoları, turistik tesisler, yazlık evler kullanım alanlarıdır (Muhtaroğlu, 2012).
- Güneş enerjisinden yararlanılarak soğutma işleminin yapılmasında pek çok yöntem kullanılabilir. Bunlar; Rankine çevrimli mekanik buhar türbinli sistem, absorpsiyonlu sistem, termoelektrik sistem, ejektörlü sistem, adsorpsiyonlu sistem, Brayton çevrimli mekanik sistem, gece ısıtım etkili sistemler ile fotovoltaik ünitelerdir.
- Bu yöntemler içerisinde en yaygın olarak kullanılanı basit ve veriminin yüksek olması nedeniyle absorpsiyonlu soğutma yöntemidir (Şekil 4.20). Bu sistem; jeneratör, absorbe edici, evaporatör ve kondansörden oluşmaktadır. Absorbe edicideki çözelti sıvısı pompayla hareketlendirilerek jeneratöre gönderilmektedir. Güneş enerjisinin sağladığı ısı enerjisi ile karışımın ayrılan akışkan kondensöre yönlendirilir. Yoğuşan akışkan evaporatöre geçer ve buharlaşır. Buharlaştırma sırasında ortam ısını alan akışkan soğutma işlemini gerçekleştirir (Anonim 2009b).



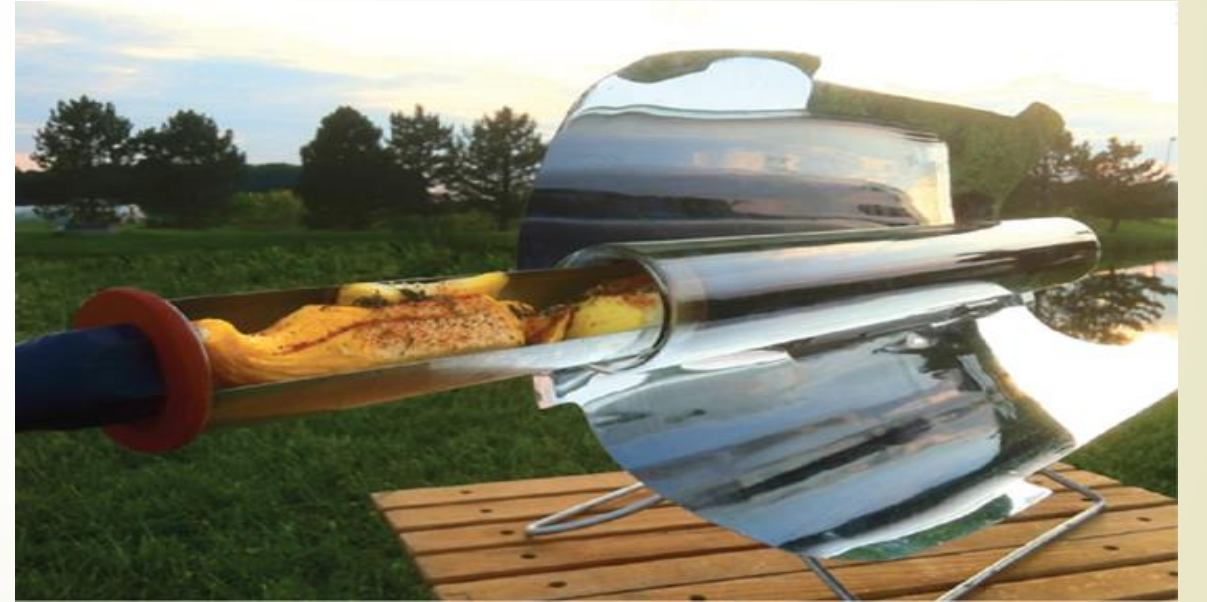
**Şekil 4.20** Güneş enerjili absorpsiyonlu soğutma sistemi (Anonim 2009b, <http://www.alternaturk.org/gunes-enerjisi-sogutma.php>)



## ► Güneş ocakları

9

Güneş pişiricileri olarak da bilinen güneş ocakları (Şekil 4.21), güneş enerjisinden etkin olarak yararlanabilmek için özellikle kırsal kesimlerde kullanılır. Prensipte güneş ışınım enerjisini ısı enerjisine dönüştürür. Piknik ve kamp alanlarında, uzun süreli deniz yolculuklarında ve kırsal alanlarda yemek pişirmek, çay demlemek, su dezenfekte etmek, şoklanmış yiyecekleri çözmek, sütü pastörize etmek, meyve ve sebze kurutmak, salça yapmak, sıcak su hazırlamak gibi işlemlerde tercih edilir. Elektrik, petrol, kömür, odun gibi yakıtların kullanımına göre gerek maddi açıdan gerekse çevreye zarar vermemeleri bakımından oldukça avantajlıdır (Akova, 2008; Muhtaroğlu, 2012).



**Şekil 4.21** Güneş ocağı ve güneş mangalı (<http://www.lokmanbas.net/tags/gunes-ocagi>, <http://www.gercekbilim.com/etiket/gunes-ocagi/>)

## 4.5.2 Yoğunlaştırıcı güneş enerjisi sistemleri (CSP) ve elektrik üretimi

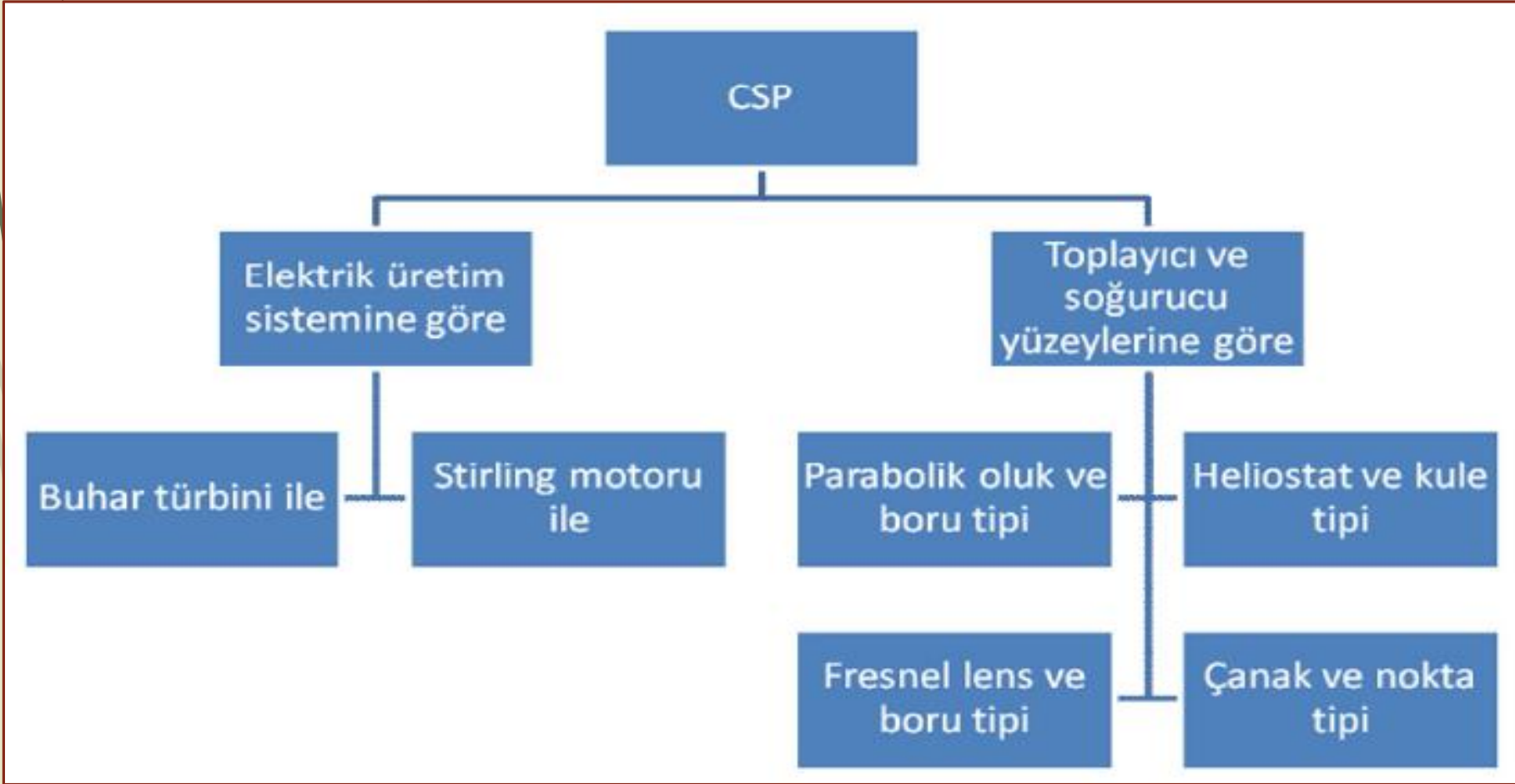
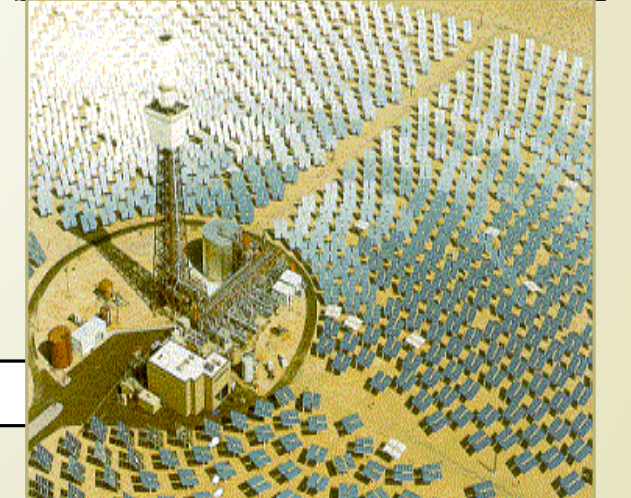
10

- ▶ Güneş enerjisi sistemleri arasında **ısıl yöntemle elektrik üretmek** ancak yoğunlaştırıcı sistemler ile mümkündür. Yoğunlaştırıcı ısı sistemler doğrusal veya noktasal olabilirken, bazen **buhar türbinleri** (Rankine çevrimi) için su/kızgın buhar, bazen de Stirling veya Brayton çevrimleri için gaz ısıtarak çalışmaktadır. Güneşten alınan ısı güç üretme birimine bazen kızgın yağ veya tuz aracılığı ile bazen de doğrudan buhar ile geçmektedir.
- ▶ Yoğunlaştırılmış güneş kolektörleri ile **200°C-1500°C arasında yüksek sıcaklıklar** elde edilebildiği için termodinamik güç çevrimleri kullanılarak elektrik üretmek mümkün olmaktadır. Günümüzde çalışmakta olan bütün nükleer ve termik santraller aynı elektrik üretim prensibine dayandığı için CSP sistemlerinden elde edilen ısının elektriğe dönüştürülmesi için gereken deneyim mevcuttur. CSP sistemlerinin ısı güç çevrimlerini kullanarak elektrik üretmesinin diğer bir faydası ise, **aynı düzeneğin güneş ışımalarının uzun süre yetersiz düzeyde gerçekleşmesi durumunda doğal gaz ya da katı yakıt gibi fosil enerji kaynaklarını destek olarak kullanabilmesidir**. Ayrıca CSP'lerde, PV sistemlerinden farklı olarak güneş enerjisinin ısı formunda depolanabileceği düzenekler mevcuttur. **CSP sistemler aynı zamanda "Güneş Isıl Güç Santralleri"** olarak ta bilinmektedir. Elektrik üretimi açısından yoğunlaştırıcı sistemler için Şekil 4.22'deki gibi bir sınıflandırma uygun olacaktır (Anonim, 2012b):

- Yoğunlaştırmalı (veya yoğunlaştırıcı) güneş enerjisi teknolojileri (CSP: concentrated solar power), **doğrusal yoğunlaştırıcılar ve noktasal yoğunlaştırıcılar** olarak ikiye ayrılmaktadır.

**Doğrusal yoğunlaştırıcıları, parabolik oluk kolektörler;**

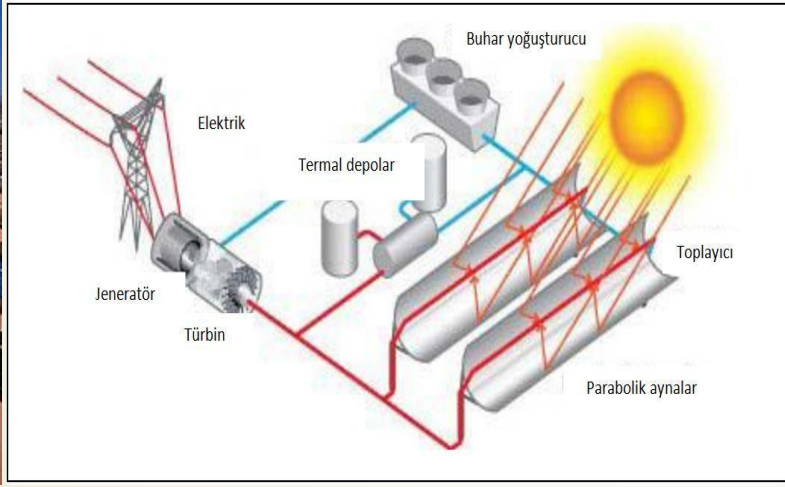
**noktasal yoğunlaştırıcıları ise, çanak kolektörler ve merkezi alıcı sistemler (heliostats)** (Anonim, 2012b).



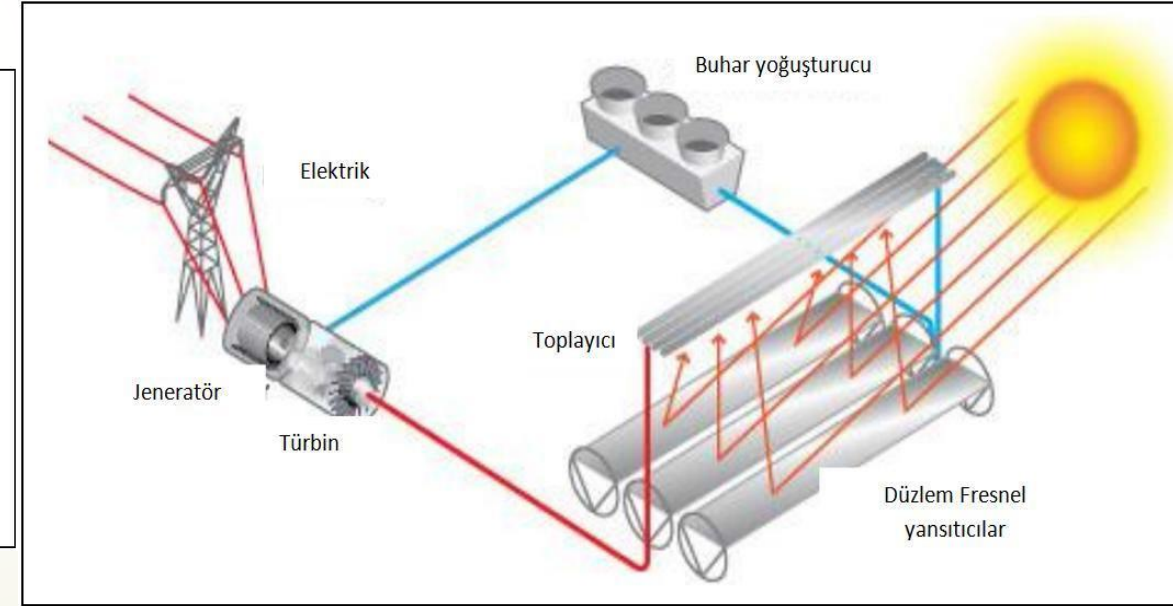
**Şekil 4.22** Elektrik üretimi açısından yoğunlaştırıcı sistemlerin sınıflandırılması (Anonim, 2012b)

## Doğrusal yoğunlaştırıcılar (Parabolik Oluk Kolektörler)

- Sistemde, düşen güneş ışınlarının maksimum değerde kullanılabilmesi için **ışınları bir hat üzerinde yoğunlaştıran** parabolik oluk mevcuttur. Ayrıca güneş ışınlarını takip etmek açısından güneşin izlenmesini sağlayan sistem mevcuttur. Kolektörün odağında boru vardır. Kolektördeki yansıtıcı yüzey sayesinde güneş ışınları bu boruya doğru yoğunlaşır. Bu boruların içinde genellikle yağ bulunmaktadır. Isı bu yağda toplanır ve elektrik üretmek üzere santrallere gönderilir. Bu sistemlerle **350-400°C sıcaklıklar** elde edilebilir (Akova, 2008; Muhtaroglu, 2012).
- Doğrusal yoğunlaştırmalı sistemler için parabolik yoğunlaştırıcı sistemin şematik gösterimi Şekil 4.23'de, fresnel yansıtıcılı sistemin şematik gösterimi ise Şekil 4.24'tedir.



Şekil 4.23 Parabolik oluk kolektör santrali ve şematik gösterimi (Anonim, 2012b)



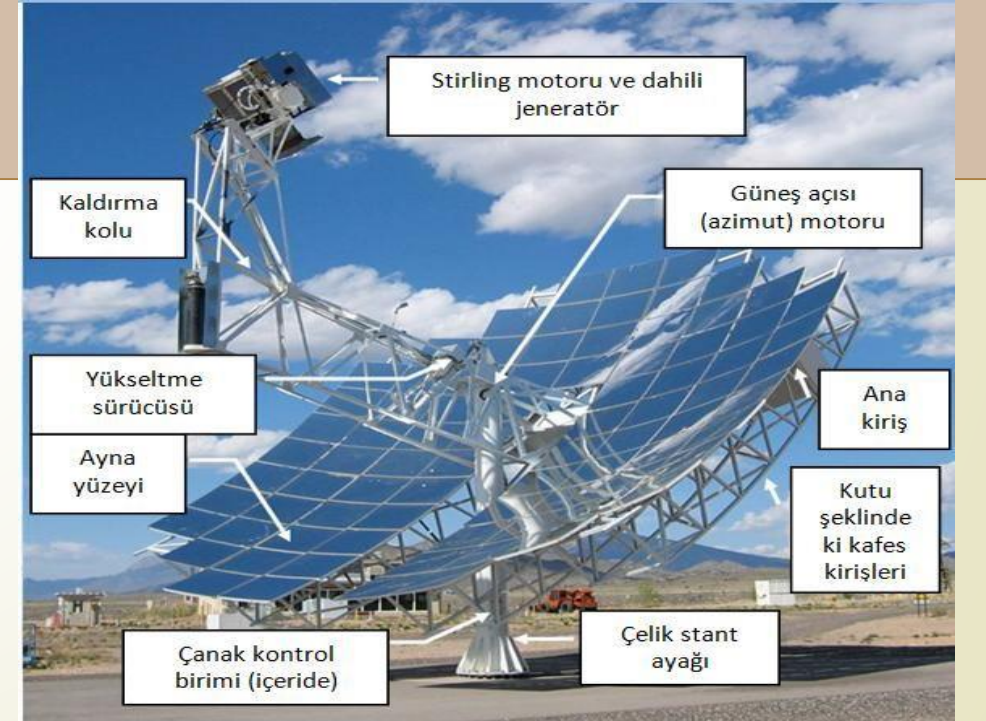
Şekil 4.24 Düz Fresnel yansıtıcıların yer aldığı, buharlı güç çevrimi kullanılan bir CSP sisteminin şematik gösterimi (Anonim 2012b)

- Fresnel aynalı yoğunlaştırıcılar doğrusal güneş ışınımı yoğunlaştıran sistemlerdir. İmal edilme süreçlerinde fresnel lenslere benzer şekilde bir düzlem üzerinde farklı yatay açılara sahip yansıtıcı çıkıntılara sahip yekpare parçalardır. Genellikle polikarbon gibi nispeten üretim maliyetinin düşük, üretiminin kolay olduğu malzemelerden yapılmaktadırlar. Parabolik oluklu yansıtıcı yüzeylerde olduğu gibi güneşi tek ekseninde takip ederler. Çok sayıdaki yan yana dizilmiş dar aynalar üzerine düşen ışınlar üstte bulunan toplayıcıya odaklanarak yüksek sıcaklıklar elde edilir.
- 
- Bu teknoloji Dünyada Nevada Solar One santralleri, Kaliforniya SEGS Santrali ve İspanya'da pek çok santralde kullanılmaktadır. Yurdumuzda Hitit Solar-Zorlu Enerji Firması Denizli ve Manisa'da birkaç pilot tesis kurmuş ve geliştirmektedir. Ayrıca birkaç KOBİ ölçekli sanayi kuruluşunda yürütülen Ar-Ge çalışmaları mevcuttur (Anonim, 2012b).

## ➤ Noktasal yoğunlaştırıcılar

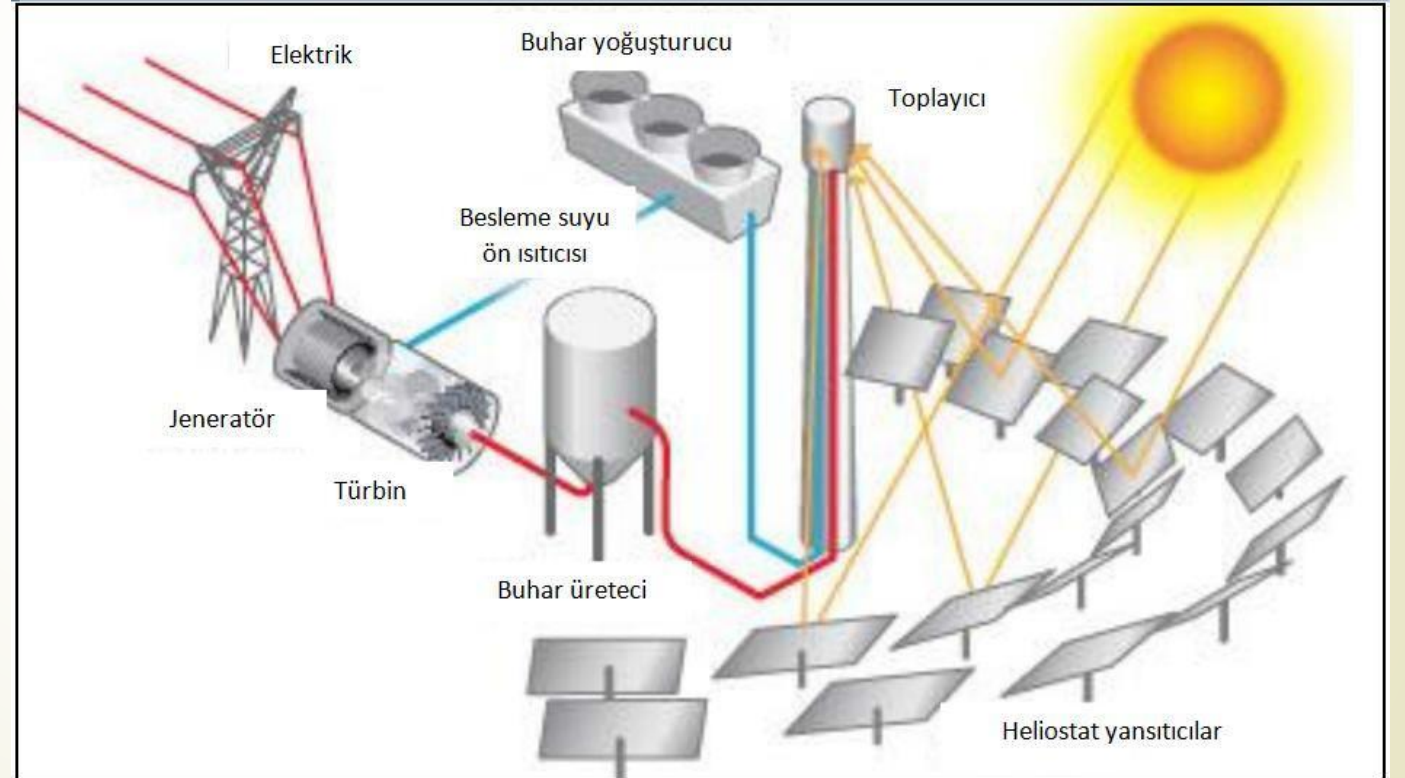
### ➤ Parabolik Çanak Sistemleri:

- Parabolik çanak sistemler; güneşi gün boyunca takip ederek ışınları odak merkezinde toplayan sistemlerdir. Güneş ışınlarının odaklanması; heliostat adı verilen, güneşi bilgisayar yardımıyla takip eden aynalar yardımıyla yapılır, ısı çanak merkezinde bulunan absorban boru içindeki sıvıya aktarılır ve eşanjörler yardımıyla yüksek basınçlı ve yüksek sıcaklıklı buhar elde edilir. Buhar jeneratöre gönderilir ve elektrik üretimi sağlanır. Bu sistem sayesinde **600-700°C sıcaklıklara** ulaşılabilir (Muhtaroğlu, 2012).
- Çanak motorlar güneşi iki ayrı doğrultuda takip etmektedirler. Yoğunlaştırıcılar parabolik olarak düzenlenmektedir ve birden fazla yansıtıcı yüzey bulunmaktadır. Motor olarak **Stirling yada Brayton** sistemlerden yararlanılmaktadır. Bu sistemlerde elektrik üretimi için kullanılan motorlar doğrudan çanak üzerindedir. Bu nedenle, toplayıcı yüzeyler ile güç ünitesinin aynı birimde yer alması bakımından fotovoltaik sistemler gibi her birimden elektrik elde edilir. Stirling motorlarının yer aldığı çanak toplayıcı sistemlere örnek bir görsel olarak Şekil 4.25'de verilmiştir.



## ➤ Merkezi Alıcı Sistemleri:

- Merkezi alıcı sistemler alıcıyı taşıyan radyasyon toplama merkezi **olan bir kuleden** ve güneş ışınlarını alıcıya yansıtan **heliostatlardan (aynalar)** oluşur. Bu heliostatlar kuleyi çevreleyecek şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 4.26). Heliostatlar bilgisayar kontrolünde olup güneşi sürekli takip ederler. Bu aynalar güneş ışınlarını kule radyasyon toplama merkezine odaklar. Bu sayede **350°C'den 6000°C'ye** kadar sıcaklıklarda enerji elde edilebilir (Akmeşe, 2006). Alıcıda içinden tuzlu eriyik geçen boru yumağı mevcuttur. Bu eriyiğin ısı enerjisi elektrik üretmek için **buhar türbini** sisteminde kullanılır (Muhtaroglu, 2012).
- Şekil 4.27'de kule tipi toplayıcı ve heliostatların yer aldığı bir CSP'nin şematik gösterimi bulunmaktadır.

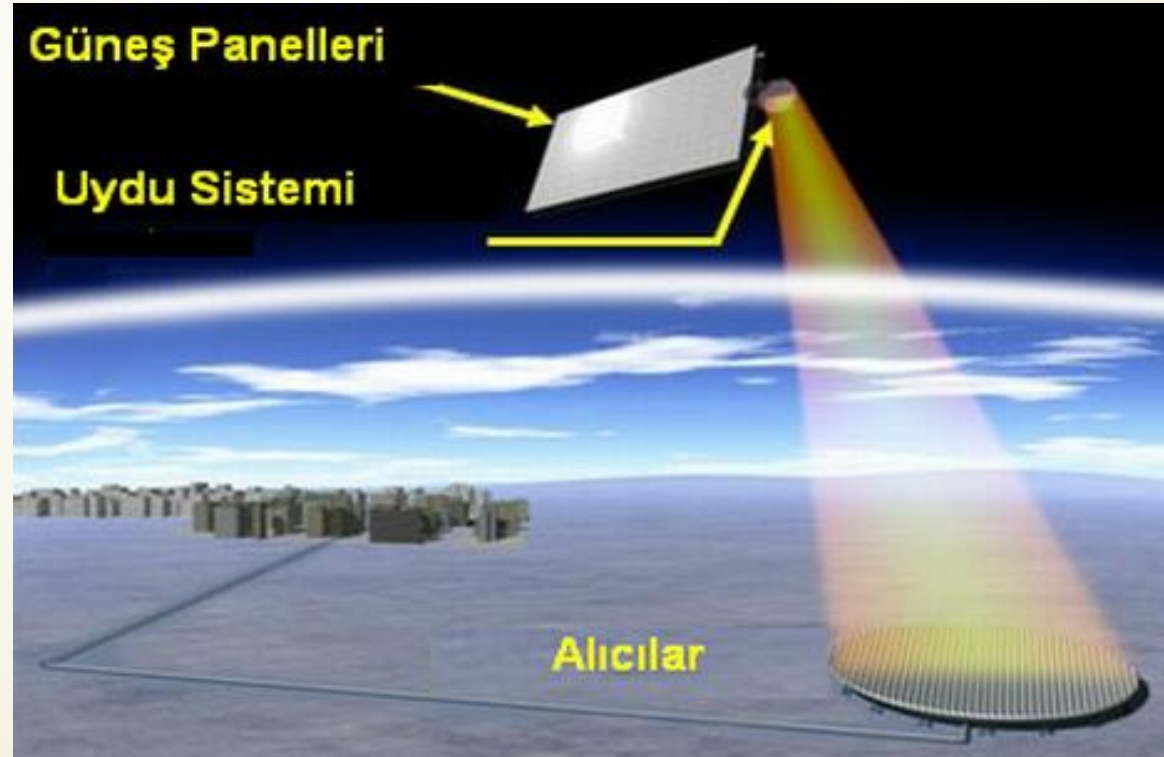


Şekil 4.26 Merkezi alıcı güneş santrali (Muhtaroglu, 2012)

Şekil 4.27 Kule tipi merkezi odaklamalı bir CSP sisteminin şematik gösterimi (Anonim 2012b)

## ► Güneş Uydu Sistemleri:

- Dünyada gece-gündüz kavramının yaşanması sebebiyle güneş enerjisinden kesintisiz yararlanmak mümkün olmamaktadır. Bu sebeple dünyanın yörüngesine yerleştirilecek bir uydu yardımıyla enerji üretilmesi planlanmaktadır. Bu sistemde uydu güneş enerjisini yeryüzüne mikrodalga ışını olarak gönderecektir. Yeryüzünde bulunan alıcı istasyonları sayesinde mikrodalga ışının elektrik enerjisine dönüştürülmesi hedeflenmektedir (Şekil 4.28). Tasarım aşamasında olan bu proje hayata geçtiği takdirde dünyanın enerji gereksiniminin tamamen karşılanacağı düşünülmektedir (Akova, 2008).

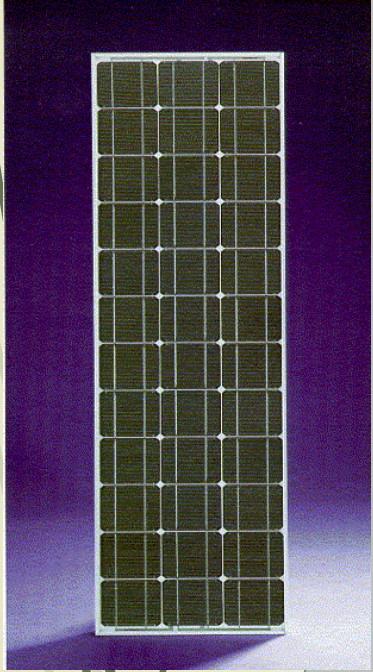


Şekil 4.28 Güneş enerjisinden yararlanmada uydu sistemleri (Muhtaroğlu, 2012)



## 4.5.3 Güneş ışınları ile doğrudan elektrik üreten sistemler ve uygulamaları

17



- Güneş enerjisi kullanarak elektrik enerjisi üretmeyi sağlayan sistemlere genel olarak **fotovoltaik (PV) sistem** denilmektedir. PV sistemin en küçük yapı taşı elektrik akımının üretildiği kısım olan **PV hücredir**. PV hücre çok küçük değerli **doğru akım** (DA) üretir. Bu akım değerini arttırmak için **PV hücreler birbirleri ile seri ya da paralel bağlanırlar ve böylelikle PV panel oluşturulmuş olur** (Başaran, 2013).

Fotovoltaik dönüştürücüler dayanıklı, çok az bakım gerektiren ve basit tasarımları olan cihazlardır. Mekanik olarak hareket eden parçaları yoktur ve ses yapmazlar. Fotovoltaikler herhangi bir salım yapmadıkları ve kirlilik yaratmadıkları gibi uzun kullanım ömrüne sahiptirler. En büyük avantajları ise mikrowatt değerlerinden megawatt değerlerine kadar güçlerde dizayn edilebilen bağımsız sistemler olmalarıdır. Ancak etkin ve verimli bir sistem kurulabilmesi için geniş bir alana ihtiyaç duyulmaktadır (Öcal, 2012).

➤ **Fotovoltaik güç sistemleri;** IEA-PVPS (International Energy Agency-Photovoltaic Power Systems Programme) tarafından 4 grupta tanımlanmaktadır (Anonim 2012b).

➤ **1. Eysel bağımsız fotovoltaik güç sistemleri:** Şebekeden bağımsız olarak konut yada köy benzeri yerleşim alanlarının elektrik gereksinimini karşılamak üzere planlanan ve elektriğin bataryalarda depolandığı bağımsız enerji sistemleridir (Şekil 4.29).

➤ **2. Eysel olmayan bağımsız fotovoltaik güç sistemleri:** Elektrik şebekesinin bulunmadığı yada uzak olduğu yerlerde kurulan, elde edilen enerjinin direk kullanıldığı yada depolandığı bağımsız sistemlerdir (Şekil 4.30).

➤ **3. Dağıtık şebeke bağlantılı fotovoltaik güç sistemleri:** Şebekeye bağlı çeşitli konut yada binalar için düzenlenmiş enerji sistemleridir (Şekil 4.31).

➤ **4. Merkezi şebeke bağlantılı fotovoltaik güç sistemleri:** Büyük alanlarda güneş tarlaları olarak düzenlenen şebekeye bağlı büyük enerji sistemleridir (Şekil 4.32).



Şekil 4.29 Eysel bağımsız fotovoltaik güç sistemleri (Anonim 2012b)



Şekil 4.30 Eysel olmayan bağımsız fotovoltaik güç sistemleri (Anonim 2012b)



Şekil 4.31 Dağıtık şebeke bağlantılı fotovoltaik güç sistemi (Anonim 2012b)



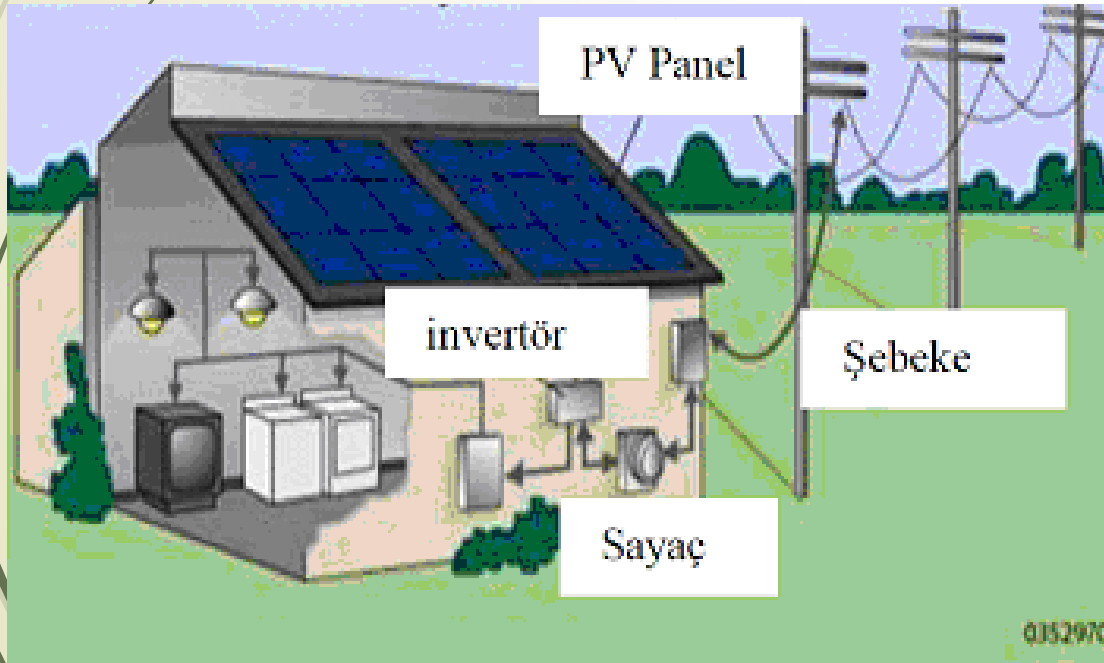
(a)



(b)

Şekil 4.32 Fotovoltaik santraller (a)-Waldpolenz, Almanya (40 MW), (b)-Rovigo, İtalya (70 MWp) (Çalışkan, 2011)

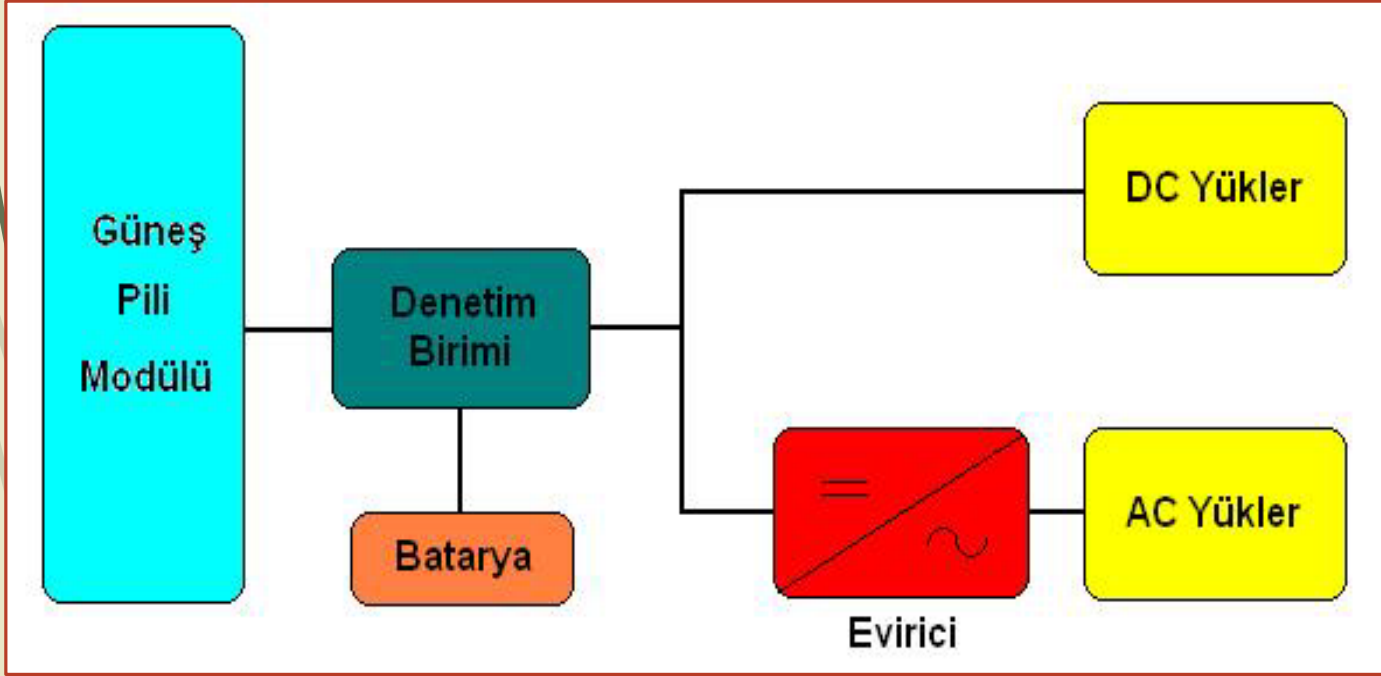
- Asıl amacı bir konutun elektriksel ihtiyacını karşılamak olan **evsel PV sistemler**, ürettikleri fazla elektrik enerjisini şehir şebekesine satabilir. Yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alırlar. Panellerden üretilen DC elektrik AC elektriğe çevrilir. Enerji depolamasına gerek duyulmaz, çünkü fazla enerjiyi doğrudan şehir şebekesine gönderebilir. Bu sistemlerin gücü 1-50 kW arasında çeşitlenmektedir. Evsel PV güç sistemlerini oluşturan yapılar aşağıdaki gibidir;
- Gerekli olan güce göre düzenlenmiş güneş panelleri,
- Çevirici (DC/AC dönüşümü),
- Elektronik kontrol cihazları,
- Sayaç (Şekil 4.33.).
- Sayaçlar şebekeden çekilen elektriği ve şebekeye verilen elektriği ölçmek için iki tanedir. Elektronik cihazlar ise sistemin herhangi bir şekilde arızalanması durumunda sistemi durdurur ve böylece şebekeye bağlı diğer abonelerin etkilenmemesini sağlar (Muhtaroğlu, 2012).



**Şekil 4.33** Şebekeye bağlı evsel PV sistem (Grozdev, 2010)

- **Şebekeden bağımsız sistemler** genellikle şehir şebekesinden uzak enerji gereksinimi fazla olan yerlerde kullanılır. Sistemlerin ürettiği enerji aralığı çok geniş olup 1 W'tan 100 kW'lara kadar ulaşabilir (Grozdev, 2010). Şekil 4.34'de görülen bağımsız PV sistemleri genel olarak güneş panelleri, şarj kontrol ünitesi, akü ve gerektiği takdirde eviriciden (invertör) oluşur. Sistemde üretilen elektrik güneş ışığının yetersiz olduğu zamanlarda kullanılmak üzere aküde depolanır. Akünün aşırı şarj ya da deşarj olmasını önlemek için şarj kontrol ünitesi mevcuttur. Eviriciler ise panellerin ürettiği DC elektriği gerekli yerlerde kullanılmak üzere AC 'ye çevirirler. Böylece aynı anda hem doğru akımdan, hem de alternatif akımdan yararlanılabilir (Muhtaroğlu, 2012).

Şebekeden bağımsız sistemlerin birçok uygulama alanı vardır. Bunlardan bazılarını aşağıdaki şekilde sıralanabilir (Akgün, 2006):



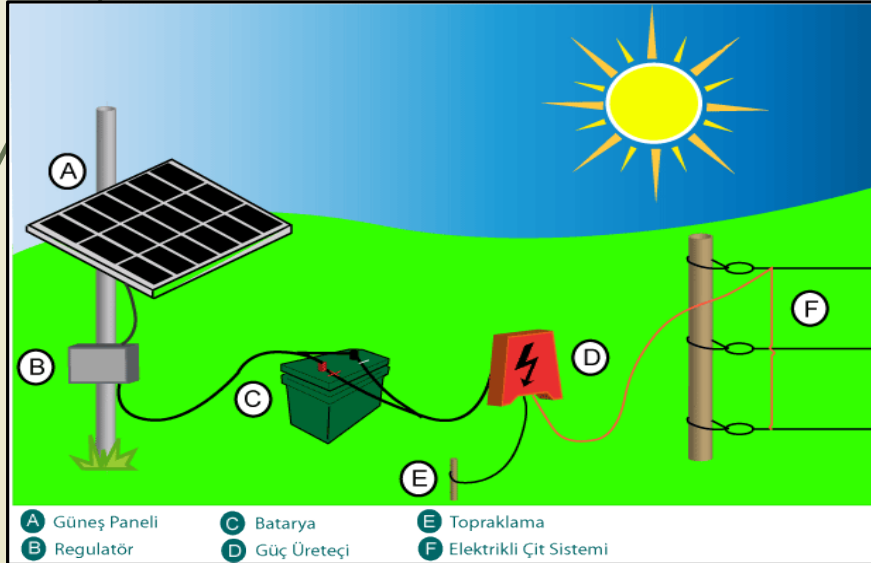
Şekil 4.34 Şebekeden bağımsız PV sistem (Özgöçen, 2007)

- ☐ Bina içi ve dışı aydınlatma,
- ☐ Kırsal radyo, telefon, telsiz sistemleri,
- ☐ Haberleşme istasyonları,
- ☐ Petrol boru hatlarının katodik korunması,
- ☐ Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan telemetrik ölçümler,
- ☐ Meteorolojik gözlem istasyonu,
- ☐ Tarımsal sulama pompaj sistemleri,
- ☐ Orman gözetleme kuleleri,
- ☐ İlaç ve aşı soğutma,
- ☐ Deprem ve hava gözlem istasyonları,
- ☐ Deniz fenerleri,
- ☐ Yerleşim yerlerinden uzaktaki yerlerde elektrikli cihazların çalıştırılması,
- ☐ İlk yardım, alarm ve güvenlik sistemleri,
- ☐ Trafik ikaz sistemleri,
- ☐ Askeri sistemler,
- ☐ Otomobiller,
- ☐ Uzay çalışmaları.

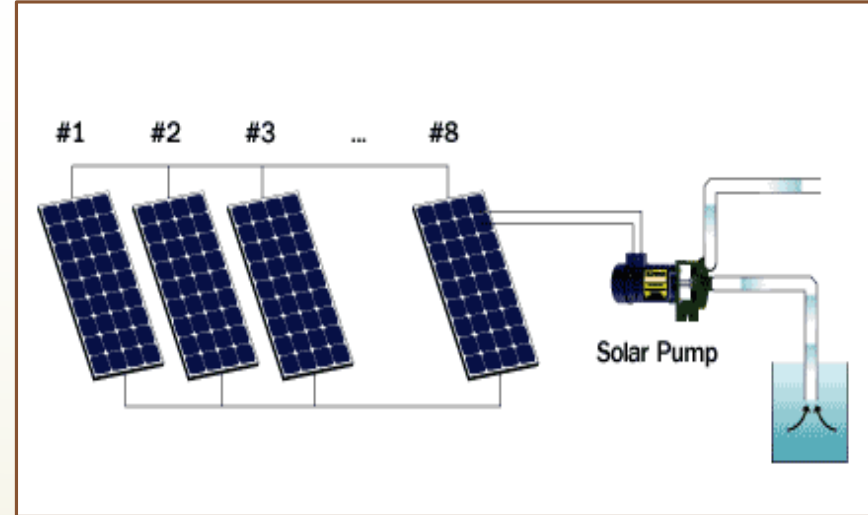
Güneş pillerinin uygulama alanları; kırsal bölgelerin elektrifikasyonu, zirai uygulamalar (süt, gıda korunması), haberleşme cihazları, uyarı ve sinyalizasyon sistemleri, meteoroloji aletleri, park ve otoyolların aydınlatması, su pompalanması ve küçük tip el aletleridir.

Güneş pillerle sulama sisteminin başlıca bileşenleri, pompa, pompayı çalıştıran elektrik motoru ile motora elektrik enerjisi temin eden fotovoltaik elemanların oluşturduğu fotovoltaik jeneratördür.

### Elektrikli çit aleti



### sulama sistemi

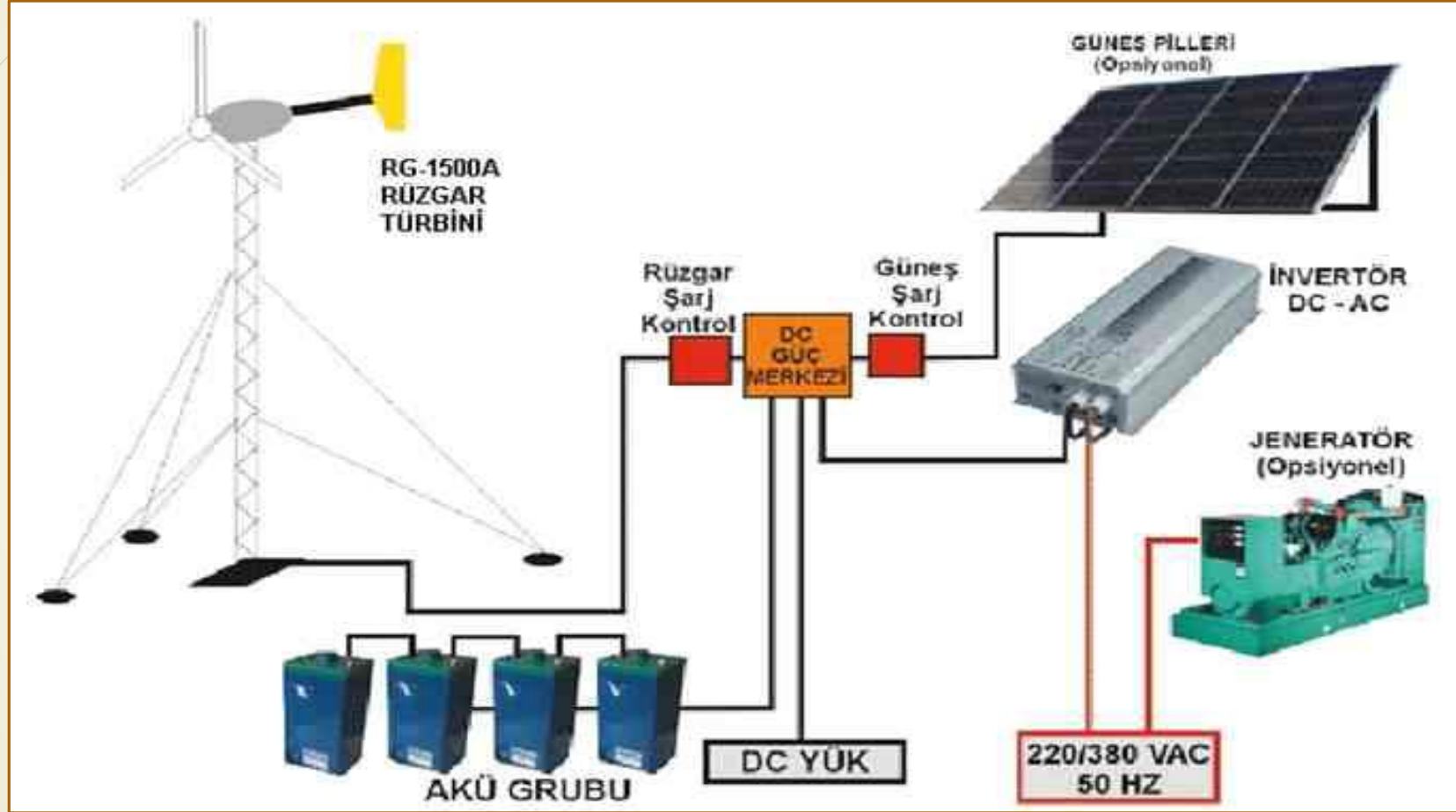


## Sulama amaçlı düzenlenmiş güneş pilleri

22



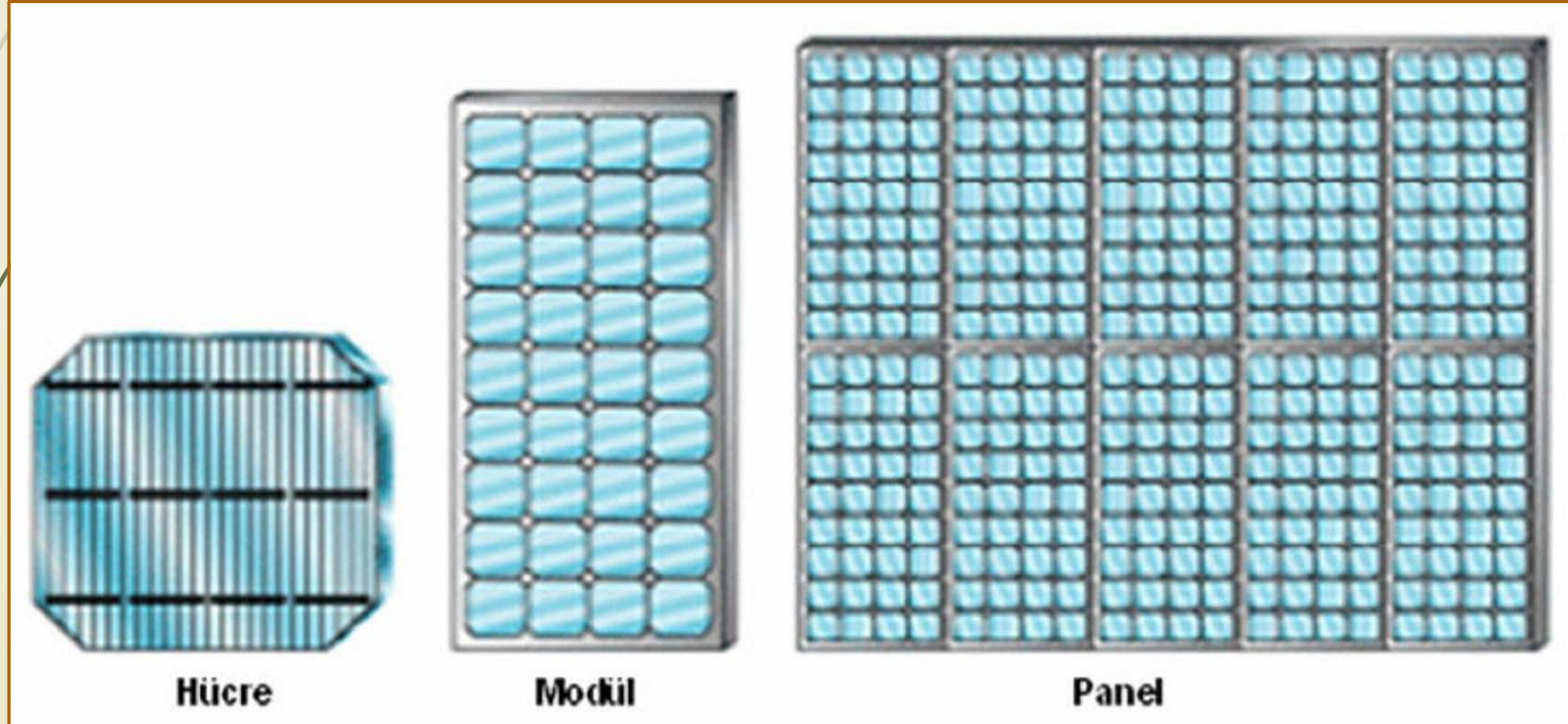
- **Hibrit Bağlı Sistemler** olarak da adlandırılan **karma PV sistemlerde** panellerin dışında elektrik üreten başka sistemler de vardır (Şekil 4.35). Birincil elektrik üreticisi panellerdir, bunlara ek olarak sisteme ikincil enerji sağlayan yenilenebilir enerji üreten rüzgar türbini ya da dizel jeneratör gibi tükenen enerji kaynağı kullanan bir sistem de olabilir (Çolak, 2010).



Şekil 4.35 Karma PV sistem (Muhtaroğlu, 2012)

## ► Fotovoltaik hücreler ve paneller

- Yüzeyine düşen güneş ışınlarını direk olarak elektrik enerjisine dönüştürebilen, bu amaçla yarı iletken malzemelerden üretilmiş yapılar **güneş pili** olarak adlandırılmaktadır. Genellikle **kare dikdörtgen ve daire biçiminde** olurlar. Alanları **100 cm<sup>2</sup>** kalınlıkları **0.2-0.4 mm** civarındadır.
- Güneş pilleri fotovoltaik (PV) ilkeyle çalışmaktadırlar. Yani; güneş hücreleri üzerine ışık geldiğinde pilin uçlarında elektrik gerilimi oluşmaktadır. Güneş pilinin yapısına göre değişmekle birlikte, güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümündeki verim %5-32 arasındadır. Bu değer laboratuvar ortamında %45'lere çıkabilmektedir. Güneş pillerinden daha yüksek güç alabilmek için hücreler seri veya paralel bağlanarak yapılandırılmaktadır. Böylece 1 W'tan MW'lara kadar güçler elde edilebilmektedir. Oluşturulan bu yapı güneş paneli yada güneş modülü olarak adlandırılmaktadır (Şekil 4.36). Güneş hücreleri elektronik devreye bağlı olmadan yani doğrudan güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirdiği için ömürleri oldukça uzundur (Muhtaroglu, 2012).

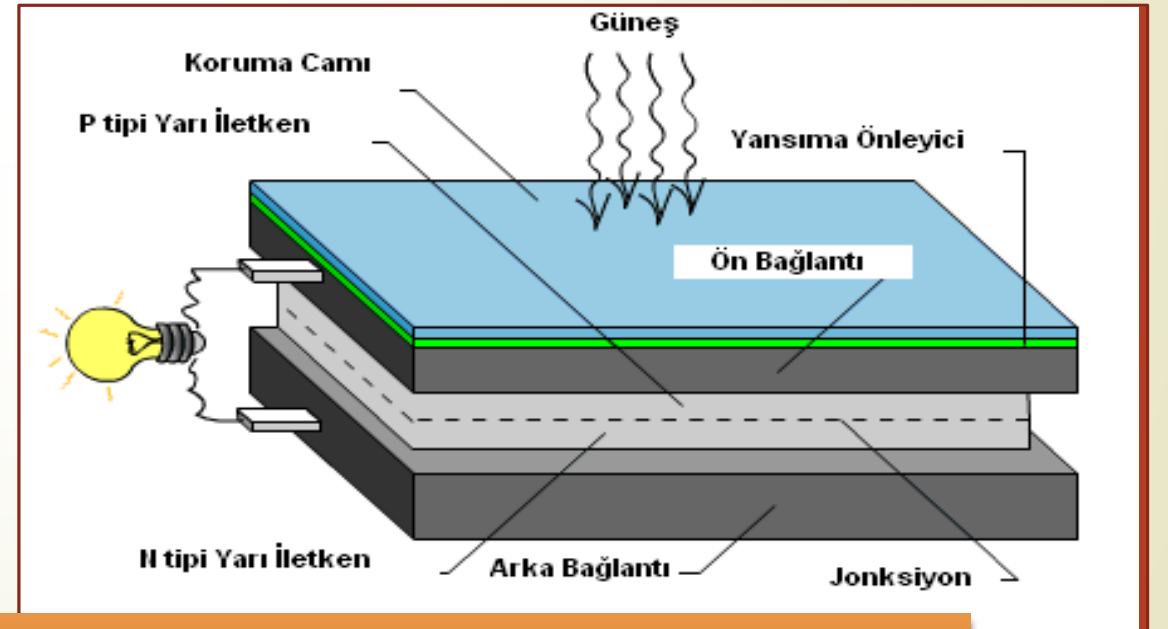
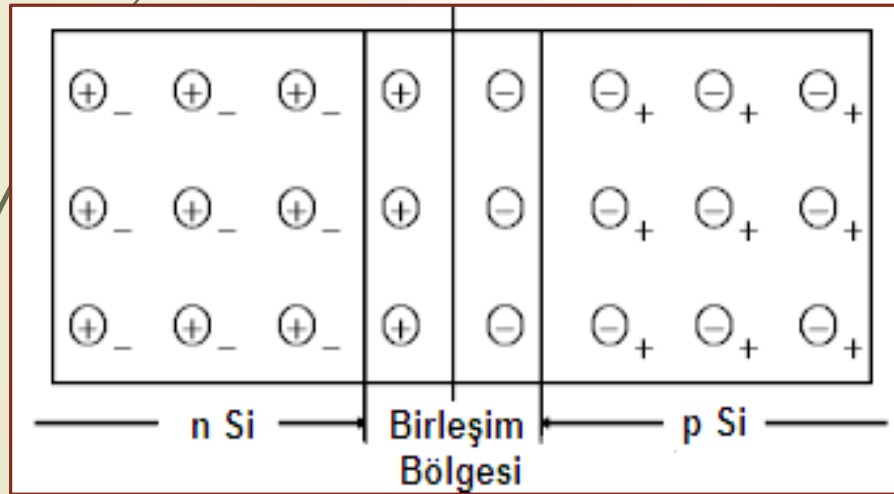


**Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya güneş pili modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir.**



- PV hücreler yarı iletken maddeler kullanılarak üretilmektedir. Tipik olarak p tipi ve n tipi iki ince yarı iletken maddenin birleştirilmesiyle elde edilirler. Bu iki yarı iletken madde arasında elektron transferi gerçekleşir. PV hücre yapımında birçok yarı iletken madde kullanılabilmesine rağmen, yaygın olarak kristal silikon kullanılmaktadır. Kristal silikon hücre, yapımında kullanılan silisyumun üretim teknolojisine bağlı olarak, tek kristal silikon (sc-Si) ve çok kristal silikon (mc-Si) gibi gruplara ayrılmaktadır. 2010 yılında dünya genelinde satılan PV panellerin %87'si kristal silikon teknolojisi ile üretilmiştir. Kristal silikon malzemelerin verimleri %14 ile %19 arasında değişmektedir.
- 
- PV hücre yapımında kullanılan bir diğer bir malzeme ise, Amorf silisyumdur (a-Si). Amorf silisyum ince film teknolojisinde kullanılan bir malzemedir. Amorf silisyumun kullanıldığı panellerin verimleri %4 ile %8 arasında değişmektedir. Laboratuvar ortamında verimleri %12 seviyesine kadar çıkabilmektedir. Bazı şirketler çatı ve dış cepheler gibi kavisli yerlerde kullanılmak üzere a-Si kullanılan paneller üretmektedirler. İnce film teknolojisinde kullanılan diğer bir malzeme ise Kadmiyum Tellürüdir (CdTe). Kadmiyum Tellürü ince film teknolojisi diğer ince film teknolojilerine göre daha ucuz ve daha yüksek hücre verimine sahiptir (%16.7). Kadmiyum tellürüde, çinko madenciliğinin yan ürünü olan kadmiyum ve bakır madenciliğinin yan ürünü olan tellürü hammadde vardır. Bu malzemenin en önemli problemi, tellürüde kadmiyuma göre daha az üretiliyor olması ve uzun yıllar üretiminin bakır sektörüne bağlı olmasıdır. İnce film teknolojisinde kullanılan bir diğer malzeme ise, Bakır İndiyum Selenid (CIS). Tüm ince film PV teknolojileri arasında CIS PV teknolojisi en yüksek verimi sağlamaktadır. Günümüzde panel verimleri %7 ile %16 arasında değişmekle birlikte, laboratuvar ortamında %20.3 seviyesine ulaşılmıştır.
- Yukarıda açıklanan teknolojiler kadar yaygın kullanılmamakla beraber, yoğunlaştırıcı PV hücre teknolojisi ve organik PV hücre teknolojisi olmak üzere iki tip üretim teknolojisi daha vardır. Yoğunlaştırıcı hücre teknolojisinde gün ışığı mercek gibi araçlarla yoğunlaştırılmaktadır. Ancak bu tip hücrelerin olumsuz tarafı, ışığı sürekli dik açıyla alma gereksinimleridir. Organik PV hücreler, organik ya da polimer materyaller kullanılarak yapılmaktadır. Çok pahalı olmamakla birlikte verimleri ticari PV panellerde %4-5, laboratuvar ortamında %6-8 arasındadır. Bu nedenle kullanımları pek yaygınlaşmamıştır (Başaran, 2013).

- Yarı iletken maddelerin PV hücrede kullanılabilmesi için n veya p tipi olarak düzenlenmektedir. Bu amaçla katkı maddeleriyle p-n birleşim yüzeyleri oluşturulur. Şekil 4.37' de, p ve n tipi katkılandırılmış silisyum maddelerinin birleşim yüzeyinin oluşumu görülmektedir.
- Birleşim Bölgesinde bulunan ters yüklü majorite taşıyıcılar kısa bir sürede birleşerek yok olurlar. Ancak geride bıraktıkları "sakat atomlar" nedeniyle p bölgede negatif, n bölgede ise pozitif bir yük yoğunluğu oluşur. Böylece birleşim yüzeyinin iki tarafı arasında bir potansiyel fark meydana gelir. Birleşim bölgesi derinliğince oluşan bu potansiyel fark, bu bölge dışındaki yük taşıyıcıların karşı tarafa geçerek birleşmeleri sonucu yok olmalarını önler; diğer bir deyişle ters yüklerin birbirlerini çektikleri kuvvete eşdeğer bir kuvvet oluşturarak kristali dengede tutar. Silisyum kristalin ölçülebilecek bir gerilim veya güç üretebilmesi için dışarıdan ışık akısı biçiminde enerji akışına ihtiyaç vardır. Bu durumda üreyen yeni yük taşıyıcıları (majorite taşıyıcılar) Difüzyon Geriliminin etkisi ile zıt kutuplu bölgelere kayarak terk ettikleri bölgelerin zıt işaretlerde kutuplanarak kristalin polarize olmasına yol açarlar. Bu gerilim kristalin "Açık Devre Gerilimi  $U_{oc}$ " olarak adlandırılır. Çok kısa bir sürede sonuçlanan bu polarizasyon ile kristalin dış yüzeyleri arasında ölçülebilir bir gerilim farkı oluşur. Hücre çıkışına bir yük bağlanırsa elektrik akımı meydana gelmiş olur (Başaran, 2013).



Şekil 4.37 p ve n tipi katkılandırılmış silisyum maddeleri (Başaran, 2013) ve güneş pili kesiti (Çalışkan, 2011)



Türkiye'de ilk binaya entegre fotovoltaik sistem uygulaması Muğla üniversite yerleşkesi (25.6 kW) (2001) (DPT)



Türkiye'de İlk Kez Kuruluyor

Türkiye'nin ilk güneş enerjisi santrali İstanbul-İkitelli (500 kW) (2011) TUBİTAK

## TÜRKİYE'DEN ÖRNEK UYGULAMALAR

Türkiye'de en büyük binaya entegre şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem uygulaması Muğla Üniversitesi (40 kW)



**Konya Karatay Kızören Güneş Enerji Santrali** Konya'nın Karatay ilçesi Kızören bölgesindedir. [Tekno Enerji](#) firmasına ait santral **17,82 MWe** kurulu gücü ile Türkiye'nin 461. Konya'nın ise 4. büyük enerji santralidir.



## ÖRNEK UYGULAMALAR

Dünyanın en uzun **güneş ağacı**: London- Kanada

8,6 kW güç üretebilen 3 adet **güneş paneli** ve 1 adet güneş ağacından oluşan sistem



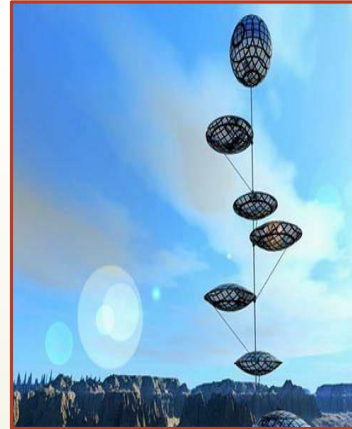
### solar cam kiremitler

**güneş enerjisi** ile ısı depolamasını sağlayan sistem-su ısıtma

### Güneş Sarmaşığı



### Güneş Balonları



### Güneş otobüsü

Japonya Okayama



## DÜNYADAN ÖRNEK UYGULAMALAR

29



İspanya 11 MW ve 20 MW'lık iki güneş enerji kulesi



**THEMIS Güneş Enerji Kulesi,**  
**Pyrénées-Orientales, Fransa**  
**2MW**

A.B.D. Mojave çölü Güneş enerjisi santrali. 1.818 toplayıcı-10 MW



Odeillo, Fransa'daki Güneş Fırını  
Hedefin sıcaklığı 2.000°C



**Sarnia PV power plant**  
**80MW, Kanada 2009**





Floransa



2011-Adıyaman Üniversitesi teknoloji fakültesi  
Biri 4 kişilik diğeri ise 12 kişilik. Adları ise  
'Fırat' ve 'Komagene'.

Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Teknolojileri Dersi Prof. Dr.  
Ayten Onurbaş Avcioğlu



2012-Ege Üniversitesi, güneş enerjisi ile çalışan bir  
araç üretti. 30 kilometre hız yapabilen çevreci  
araç, Seferihisar'da turistlerin hizmetinde olacak.



Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Teknolojileri  
Dersi Prof. Dr. Ayten Onurbaş Avcioğlu

