

Fotovoltaik sistemler ve uygulamaları

Celal Cezim, Elektronik Mühendisi
(ccezim@hotmail.com)

TMMOB

Elektrik Mühendisleri Odası

Eğitim ve seminer etkinlikleri

2013

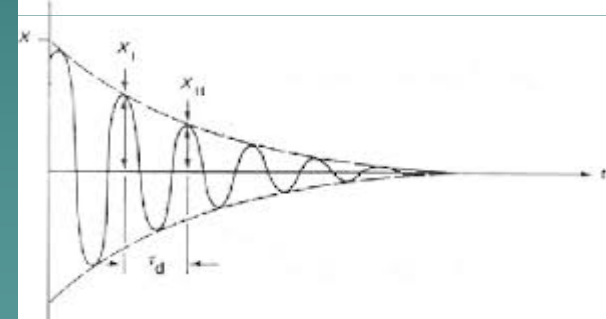
Konu başlıkları

- ◆ Güneşin oluşumu ve enerjisi
- ◆ Güneş enerjisinin kullanım alanları
- ◆ Güneş enerjisi teknolojileri
- ◆ Fotovoltaik sistemler
- ◆ Fotovoltaik sistemle elektrik üretimi
- ◆ Fotovoltaik sistemlerde tasarım ve projelendirme
- ◆ PV sistem kurulumu, bakım ve izleme
- ◆ Lisanssız elektrik üretimi ve mevzuat

Güneş: Evrenin kaosundan sıyrılmış yıldız



- ◆ Büyük patlama (Big-Bang) sonrasında bir kısım gaz ve toz bulutlarının çökmesiyle Güneş'in oluşum süreci başlamıştır. Gaz bulutu büzüşme sürecinde yoğunlaşmaya, yoğunlaşmanın büyük olduğu yerlerde oluşan momentumla dönmeye başlamış; yüksek basınçla sıcaklık artmış ve bir zaman sonra da ışımaya başlamıştır.



- ◆ Güneşte denge, içten dışa doğru olan ışınım kuvvetiyle içe doğru olan kütle çekim kuvveti eşitlendiğinde sağlanmıştır. Güneş yaklaşık 4,5 milyar yıldır bu kararlı durumunu sürdürmekte ve Samanyolu sistemindeki 200 milyar yıldızdan biri olarak enerji yaymaktadır[1].

Evrende bir enerji reaktörü

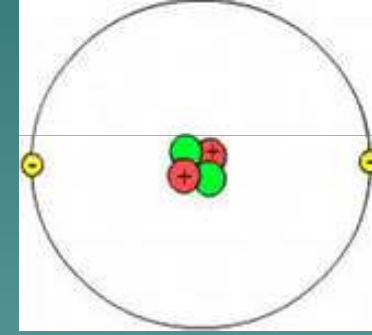
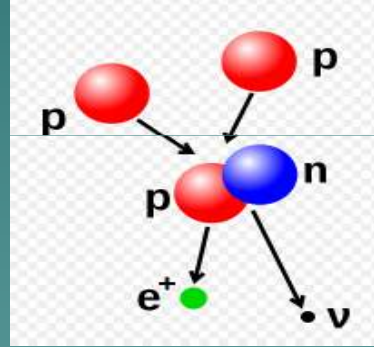
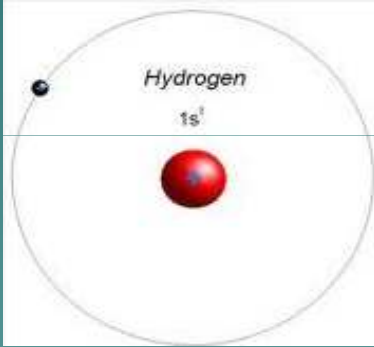
"Güneş tanrı Helios'un arabası değildir.
Güneş Peleponnez'den bile büyük,
yanan devasa bir toptur"
Anaxagoras



- ◆ Güneş, 14,5 milyar yıl önce meydana gelmiş 'Büyük Patlama'dan 10 milyar yıl sonra doğmuş olan evrendeki 200 milyar yıldızdan biridir.
- ◆ Güneşin dünyaya olan uzaklığı 150 milyon Km. ve çapı 1,5 Milyon Km'dir. Yaydığı ışın Dünyaya 8 dakika sonra gelmektedir.
- ◆ Güneş hacimsel olarak dünyadan 1 milyon kat daha büyük ve çekim kuvveti de dünyanın çekim kuvvetinin 28 katıdır.
- ◆ Yüzey sıcaklığı 5500 °C olan Güneşin çekirdek sıcaklığı ise 15,6 milyon °C'dir[1].

Güneşte enerji oluşumu

- ◆ Güneş evrende bir reaktör gibi kesintisiz çalışarak füzyon enerjisi açığa çıkarmaktadır(*).
- ◆ Füzyon tepkimeleri Güneş'te her an doğal olarak gerçekleşmektedir. Güneş'ten gelen ısı ve ışık, Hidrojen çekirdeklerinin birleşerek Helyuma dönüşmesi ve bu dönüşüm sırasında kütle kaybı karşılığı enerjinin ortaya çıkması sayesinde meydana gelmektedir.



- ◆ İki proton füzyona uğrayarak bir Nötron ve Protona dönüşürken bir pozitron ve elektron Nötrinosu açığa çıkarır. kütle kaybının karşılığı olan enerji Einstein'in ünlü $E=mc^2$ formülüyle hesaplanmaktadır.

(*) 1,007825U kütleli 4H'den 4,002603U kütleli 1He oluşurken 0,028697 U(atomik kütle birimi) kadar kütle artmaktadır. [U=166054x10⁻²⁴ gr]

Güneşte enerji oluşumu

Nükleer reaksiyonlar

- ◆ Atom çekirdeğindeki proton ve nötron sayıları değiştirilebilse de bu çok büyük bir enerji gerektirir ve bu olay sonucunda, çekirdeğin değişmesi için emilen enerjiden daha fazla enerji dışarı salınır.
- ◆ Çekirdeğin daha az sayıda nükleon içeren çekirdeklere bölünmesine **fizyon** denir. Birden fazla çekirdeğin birleşerek daha çok nükleon içeren çekirdeklere dönüşmesine ise nükleer **füzyon** denir.
- ◆ Füzyonun gerçekleşmesi için gerekli olan enerji, nükleer **fizyon** için gerekli enerjiden çok daha fazladır.
- ◆ Füzyon sonucunda ortaya çıkan enerji fizyonun ortaya çıkardığı enerjiden fazladır.
- ◆ Yıldızlardaki muazzam enerji salınımının kaynağı füzyondur. Düşük enerjili yıldızlarda küçük atom numaralı çekirdekler (hidrojen, helyum), yüksek enerjili yıldızlarda ise daha büyük atom numaralı (karbon, oksijen) çekirdekler füzyona uğrar.
- ◆ Yıldızdaki çoğu çekirdek demire dönüştüğünde, demirin füzyonu için gerekli yüksek enerji sağlanamadığından yıldız kütesine göre bir beyaz cüce, kızıl dev veya kara delik dönüşür[3].

Güneşin enerji kapasitesi

Füzyon sürecinin atık kütlesi (artık enerji)

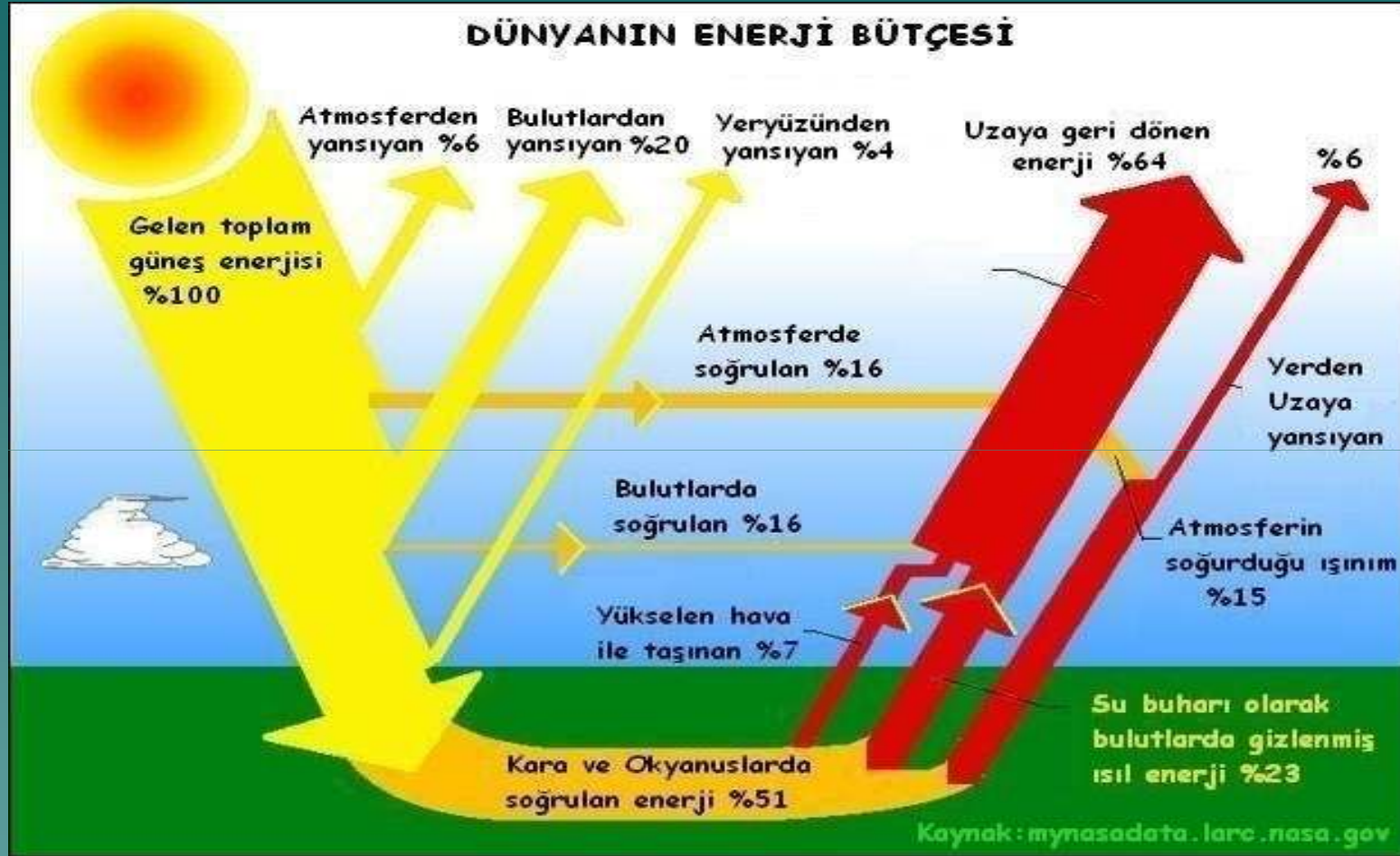
- ◆ Güneşte bir saniyede oluşan 10^{38} adet füzyon tepkimesi ile $3,86 \times 10^{26}$ Joul'luk enerji açığa çıkar. [1 J = 259×10^9 reaksiyon]

Bu bir saniyelik devasa enerji, 564 ton H'nin 560 ton He'ye dönüşmesi sürecinde açıkta kalan 4 milyon ton Hidrojen kütlesinin enerjidir.

- ◆ Güneşte açığa çıkan bu enerji ($3,86 \times 10^{26}$ Joul/saniye) güneşten küresel olarak yayılmaktadır.
- ◆ Güneşten yayılan enerjinin sadece 2,2 milyarda biri Dünyaya gelmekte ve gezegenimizin temel enerji kaynağını bu enerji oluşturmaktadır[cc].



Güneş enerjisinin Dünya serüveni

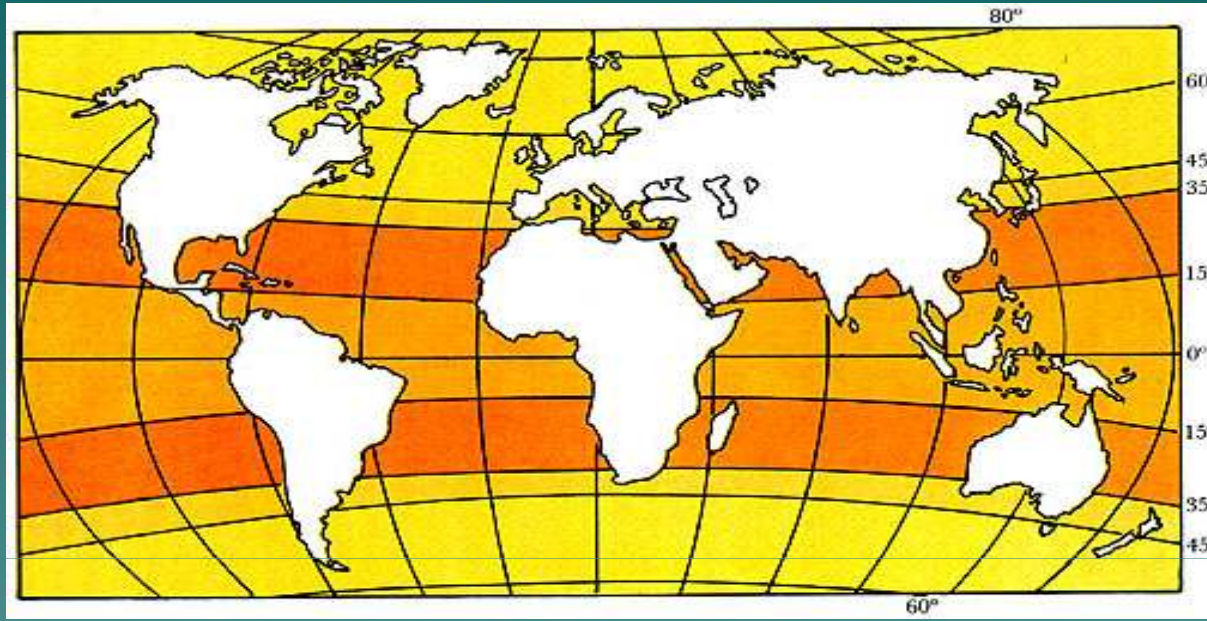


Şekil 1-1: Yeryüzünün enerji bütçesi

Güneş enerjisinin yeryüzü potansiyeli

- ◆ Şekil 1-1'de, Dünya atmosferinin henüz yüzeyine gelmiş ve buradaki değeri $1370 \text{ Joule/m}^2\text{-saniye}$ (1370 W/m^2) olarak ölçülmüş olan güneş enerjisinin atmosfer ve yeryüzündeki yolculuğu anlatılmaktadır.
- ◆ Yapılan hesaplar, Güneşin dünyaya 1,5 saat süreyle gönderdiği enerjinin tüm ülkelerin 1 yılda ve Türkiye'nin 100 yılda tükettiği enerji kadar olduğunu göstermiştir.
- ◆ Bir başka karşılaştırmayla 13 milyar ton taş kömürünün sağladığı enerjiyi güneş yeryüzüne 1 saatte göndermektedir.

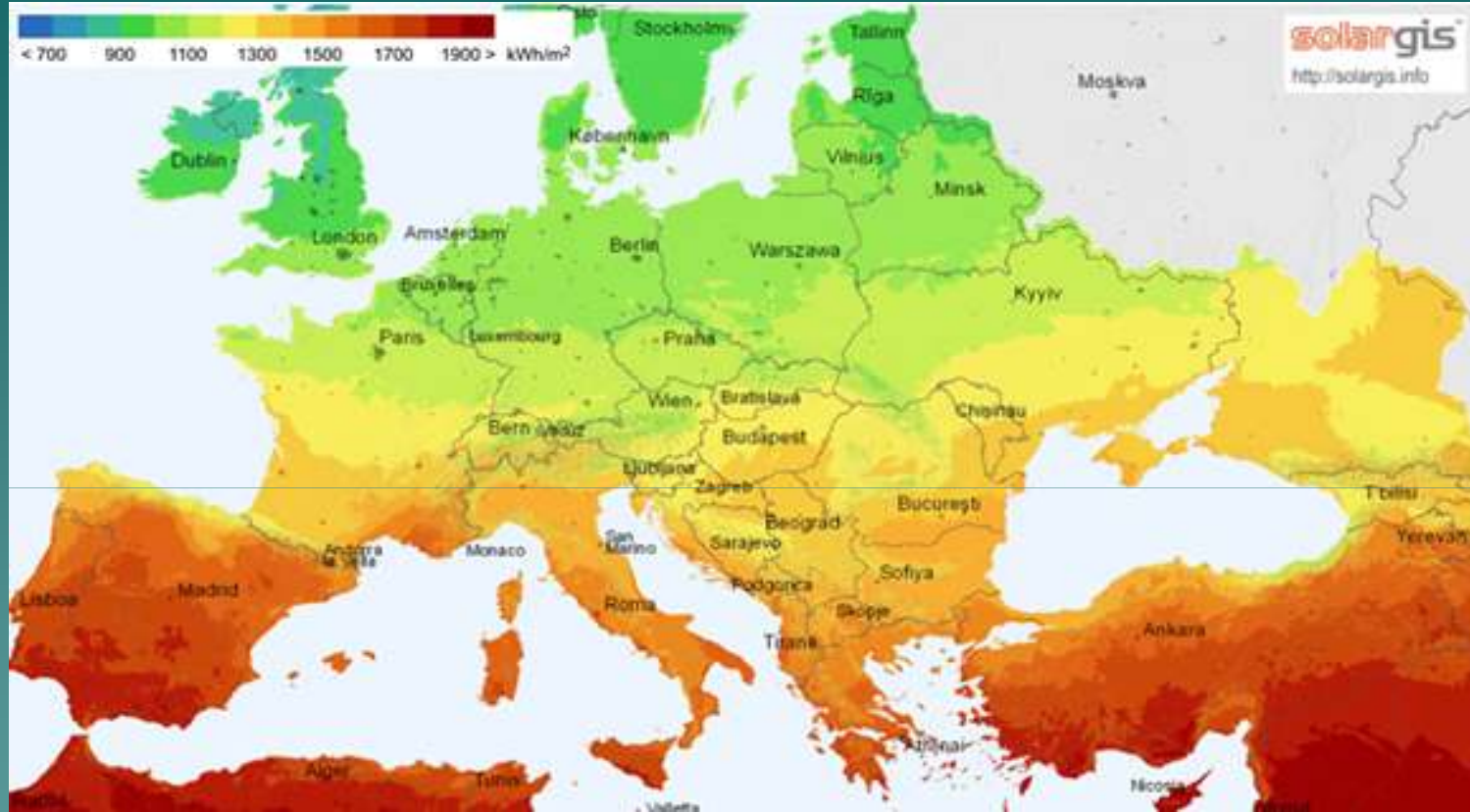
Güneş enerjisinin küresel dağılımı



[Kaynak: Solar energy world distribution/solar water-Inesco]

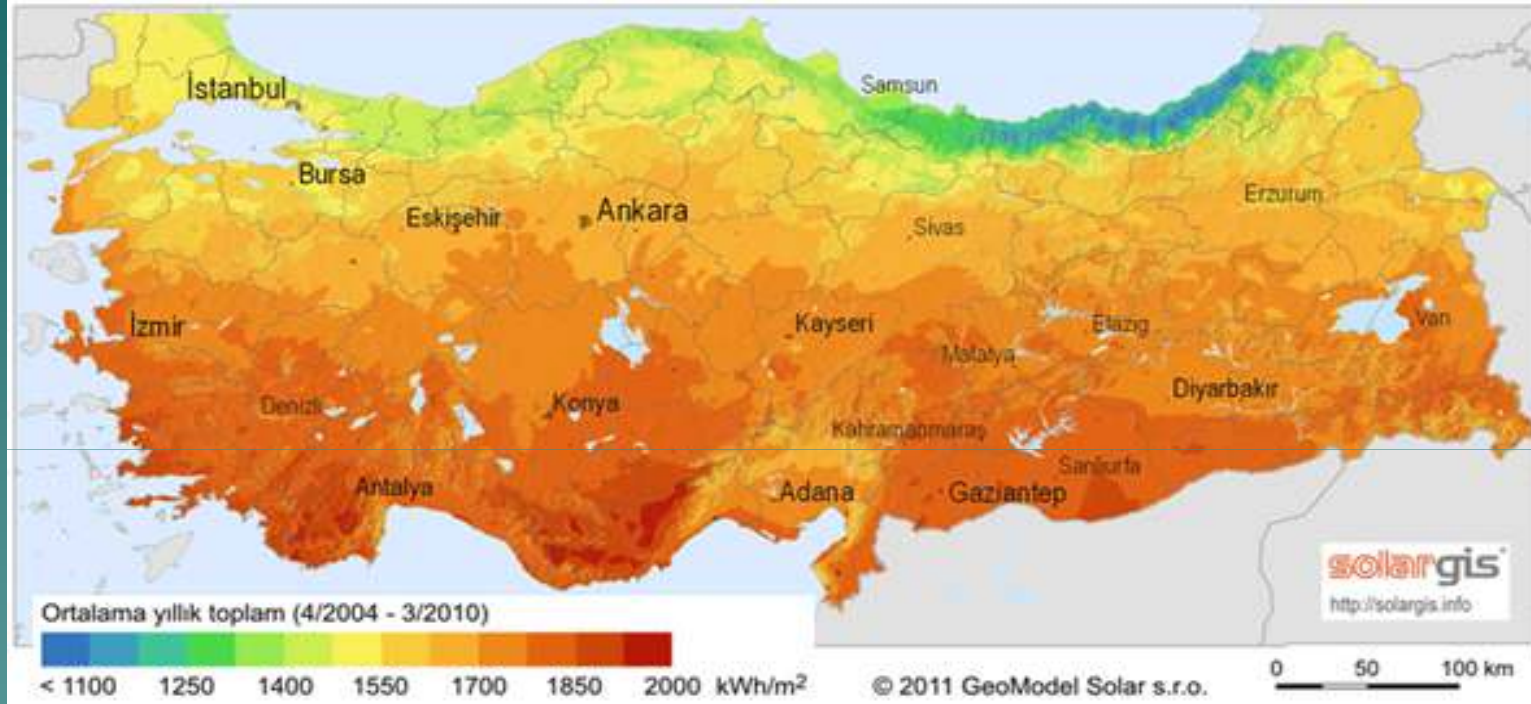
- ◆ Dünyaya gelen güneş ışınım dağılımı homojen olmayıp zaman ve geliş açısı bakımından değişkenlik göstermektedir. Haritadaki kırmızı kuşak 3000 saat/yıl, turuncu kuşak ise 2500 saat/yıl güneşlenme süresini ifade etmektedir. Dünyanın çapına eşit bir dairesel alan üzerine çarpan güneş gücü, 178 trilyon KW düzeyindedir [Güneş pilleri-Murat Kaya].
- ◆ Ekvator çizgisini merkez alan 45 derece Kuzey/Güney bandındaki ışınım, iklim ve yeryüzü farklılıklarına göre değişim göstermektedir.

Güneş enerjisinin Avrupa dağılımı



- ◆ Güney Avrupa ve Türkiye'nin büyük bölümü, fotovoltaik sistemler açısından verimli alanlar olarak değerlendirilmekte; termal güneş enerjisi sistemleri için daha çok Güney kesimler önerilmektedir.

Güneş enerjisinin Türkiye dağılımı



- ◆ Türkiye Güneş Haritası'ndaki ışınım dağılımı Güney'den Kuzey'e doğru doğal olarak (enlem derecesine göre) azalmakla birlikte, ışınım şiddeti de iklim ve yeryüzü şekline göre değişmektedir.

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli

- ◆ Türkiye topraklarına gelen toplam güneş enerjisi, Dünyaya gelen toplam güneş enerjisinin %0,6'sı olup $8,58 \times 10^{14}$ J/s olarak olduğu hesaplanmıştır. Işınım şiddeti açısından elektriksel güç değeri ise;

$$7,8 \times 10^5 \times 10^6 \text{ m}^2 \times 1100 \text{ W/m}^2 = 8,58 \times 10^{14} \text{ W-Türkiye'dir .}$$

- ◆ Petrol eşdeğeri (TEP) cinsinden de yıllık toplam enerji potansiyeli 36,2 milyon TEP'dir.
- ◆ Bir başka ifadeyle, Türkiye coğrafyasına gelen yaklaşık 1,5 saatlik güneş enerjisinin, Türkiye'nin 1 yıllık tüm enerji ihtiyacını veya 6 yıllık elektrik enerjisi tüketimini karşılayacak potansiyeldedir.

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli

Türkiye güneş ışınımı dağılımı

- ◆ Ekvatordan kutuplara doğru 1100-0 W/M2 arasında değişen güneş ışınımı dağılımının Türkiye'deki değeri ortalama 430 W/m2'dir.
- ◆ Işınımın bölgelere göre dağılımı da Tablo 1-1'de de görüleceği gibi Güneyden Kuzeye doğru azalan farklılık göstermektedir.
- ◆ Tablodaki değerler güneş enerjisinden elektrik elde etmek isteyenlerin yararlanabileceği bilgilerdir.
- ◆ Bulduğumuz bölgede bir PV sistem kurmak için önce bölgenin güneş değerlerine göre bir fizibilite çalışması yapılır ve sistem kurulum kararı bu çalışmanın sonucuna göre verilir.

Bölgeler	Ortalama Güneş Işınım Şiddeti (W/m ²)		
	Yıllık	Temmuz	Aralık
Güneydoğu Anadolu	477	767	283
<i>Akdeniz</i>	463	723	183
İç Anadolu	457	720	160
Ege	450	723	167
Doğu Anadolu	447	667	163
Marmara	363	593	133
Karadeniz	343	510	157

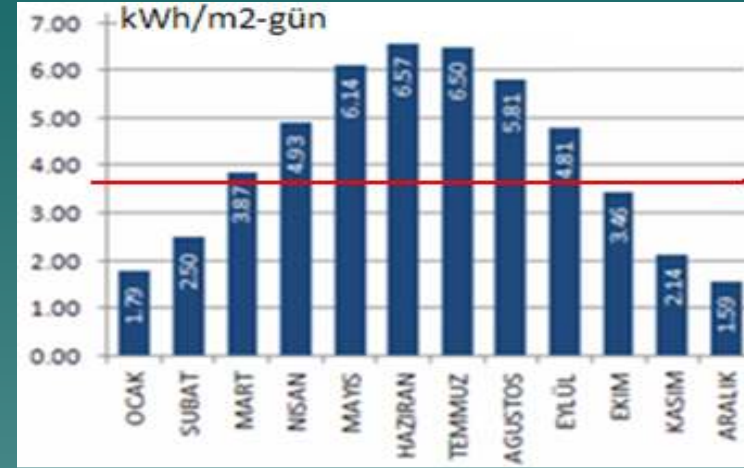
Tablo 1-1: Bölgelere göre güneş ışınım dağılımı[17]

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli

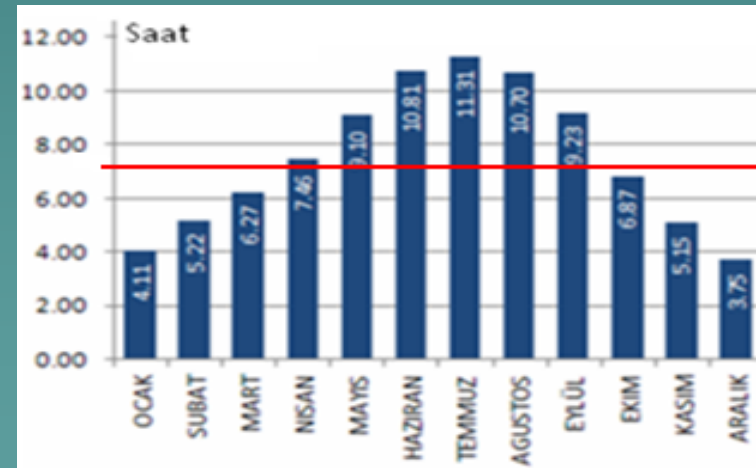
- ◆ Yer kürenin 36°-42° kuzey enlemleri arasında bulunan Türkiye'nin yıllık ortalama güneş ışınımı 1310 kWh/m²-yıl (10¹⁵ kWh/yıl/Türkiye),

Ortalama yıllık güneşlenme süresi ise 2.640 saat/yıl'dır.

- ◆ Günlük olarak ise güneşlenme süresi 7,2 saat/gün, enerji miktarı 3,6 kWh/m²-gün'dür.
- ◆ Yılın 10 ayı boyunca teknik ve ekonomik olarak ülke yüzölçümünün %63'ünden ve tüm yıl boyunca %17'sinden yararlanma potansiyeli taşımaktadır[2].



Şekil 1-2: Yıllık ortalama 3,6 kWh/gün



Şekil 1-3: Yıllık ortalama 3,6 kWh/gün

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli

Bölgelere göre güneş enerjisi dağılımı

Bölge	Toplam ortalama güneş enerjisi	En çok güneş enerjisi (Haziran)	En Az güneş enerjisi (Aralık)	Ortalama güneşlenme süresi	En çok güneşlenme süresi (Haziran)	En az güneşlenme süresi (Aralık)
	kWh/m ² -yıl	kWh/m ²	kWh/m ²	saat/yıl	saat	saat
Güneydoğu Anadolu	1.460	1.980	729	2.993	407	126
Akdeniz	1.390	1.869	476	2.956	360	101
Doğu Anadolu	1.365	1.863	431	2.664	371	96
İç Anadolu	1.314	1.855	412	2.628	381	98
Ege	1.304	1.723	420	2.738	373	165
Marmara	1.168	1.529	345	2.409	351	87
Karadeniz	1.120	1.315	409	1.971	273	82

Tablo 1-2: Güneş enerjisinin bölgelere göre dağılımı [4]

- ◆ Tabloda da görüldüğü gibi, Türkiye'deki güneş etkinliği bölgelere göre ciddi farklılıklar göstermekte; bu nedenle güneş enerjisinden teknolojik olarak yararlanmak ve optimal verime ulaşmak için yer seçimi önemli olmaktadır.

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli

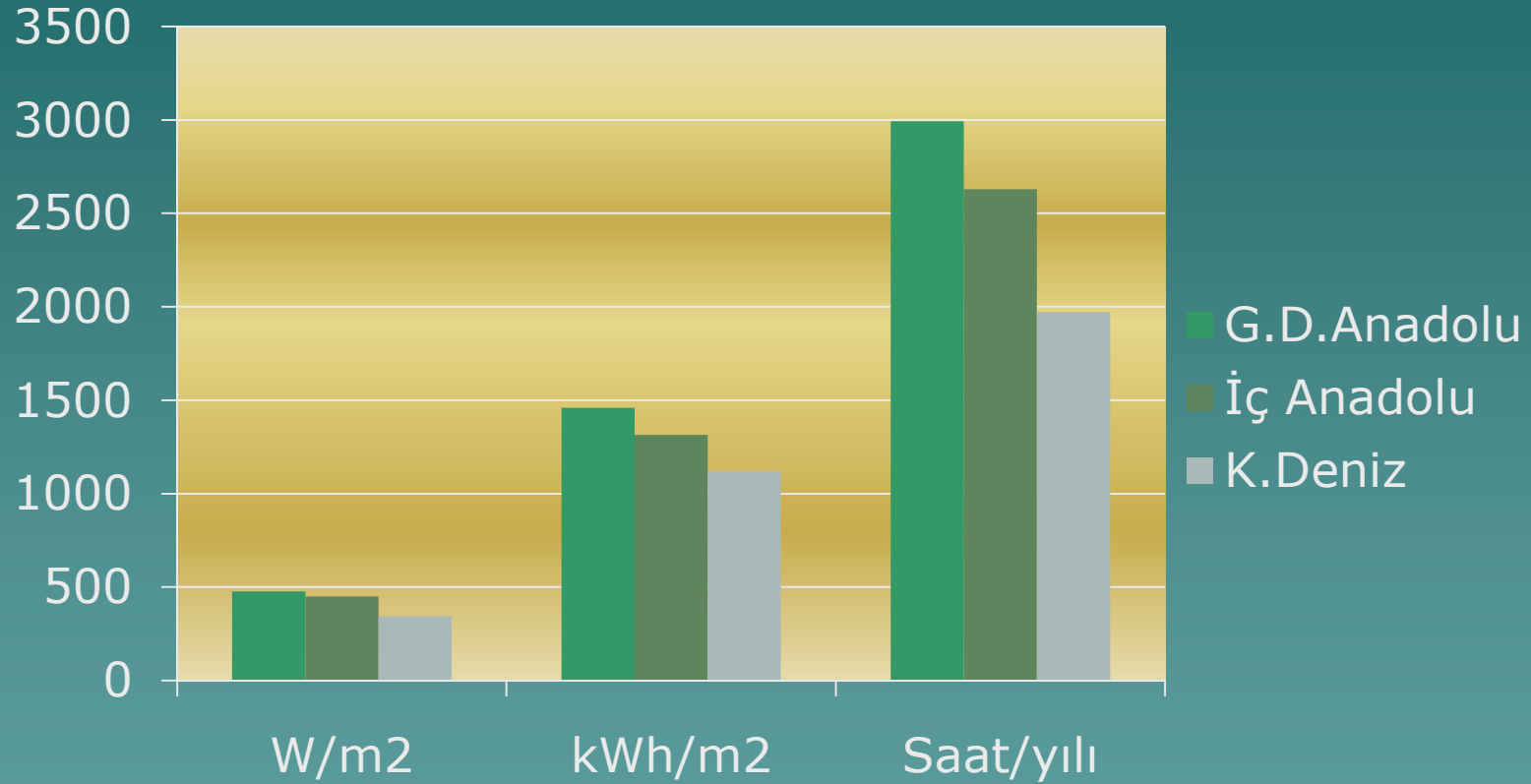
Bölgelere göre güneş enerjisi dağılımı

Bölgeler	Ortalama güneş ışınım şiddeti (W/m ² -yıl)	Yıllık ortalama güneş enerjisi (kWh/m ² -yıl)	Ortalama güneşlenme süresi (saat/yıl)	Ortalama güneşlenme süresi (S/gün)
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	477	1460 1428	2993	8,2
Akdeniz Bölgesi	463	1390 1369	2956	8,1
Doğu Anadolu Bölgesi	457	1365 1218	2664	7,3
İç Anadolu Bölgesi	450	1314 1182	2628	7,2
Ege Bölgesi	447	1304 1224	2738	7,5
Marmara Bölgesi	363	1168 875	2409	6,6
Karadeniz Bölgesi	343	1120 676	1971	5,4

Tablo 1-3: Güneş enerjisinin bölgelere göre dağılımı

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli

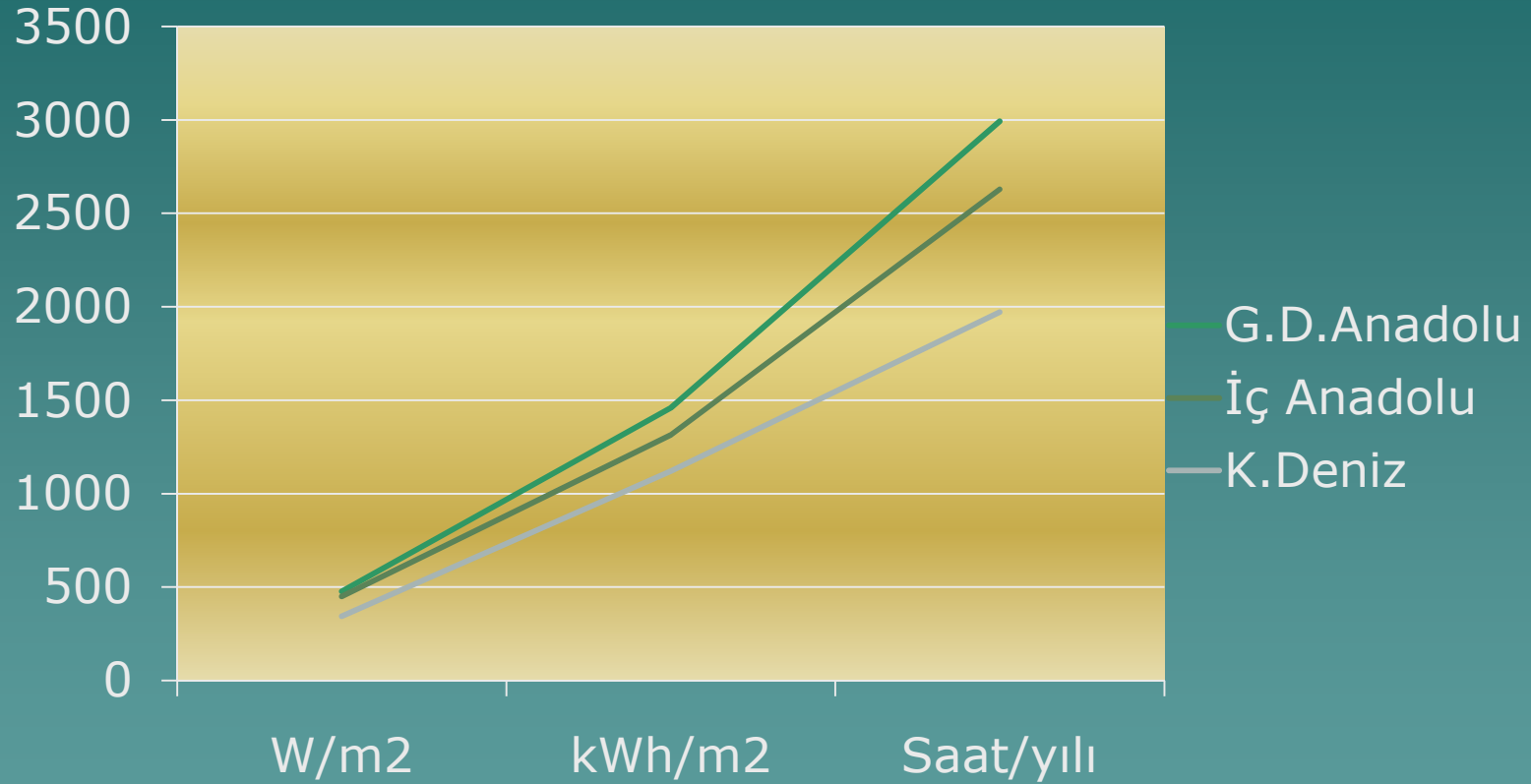
Bölgelere göre güneş enerjisi dağılımı



Grafik 1-1: Güneş etkinliğinin üç bölge için ölçüm eğerleri

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli

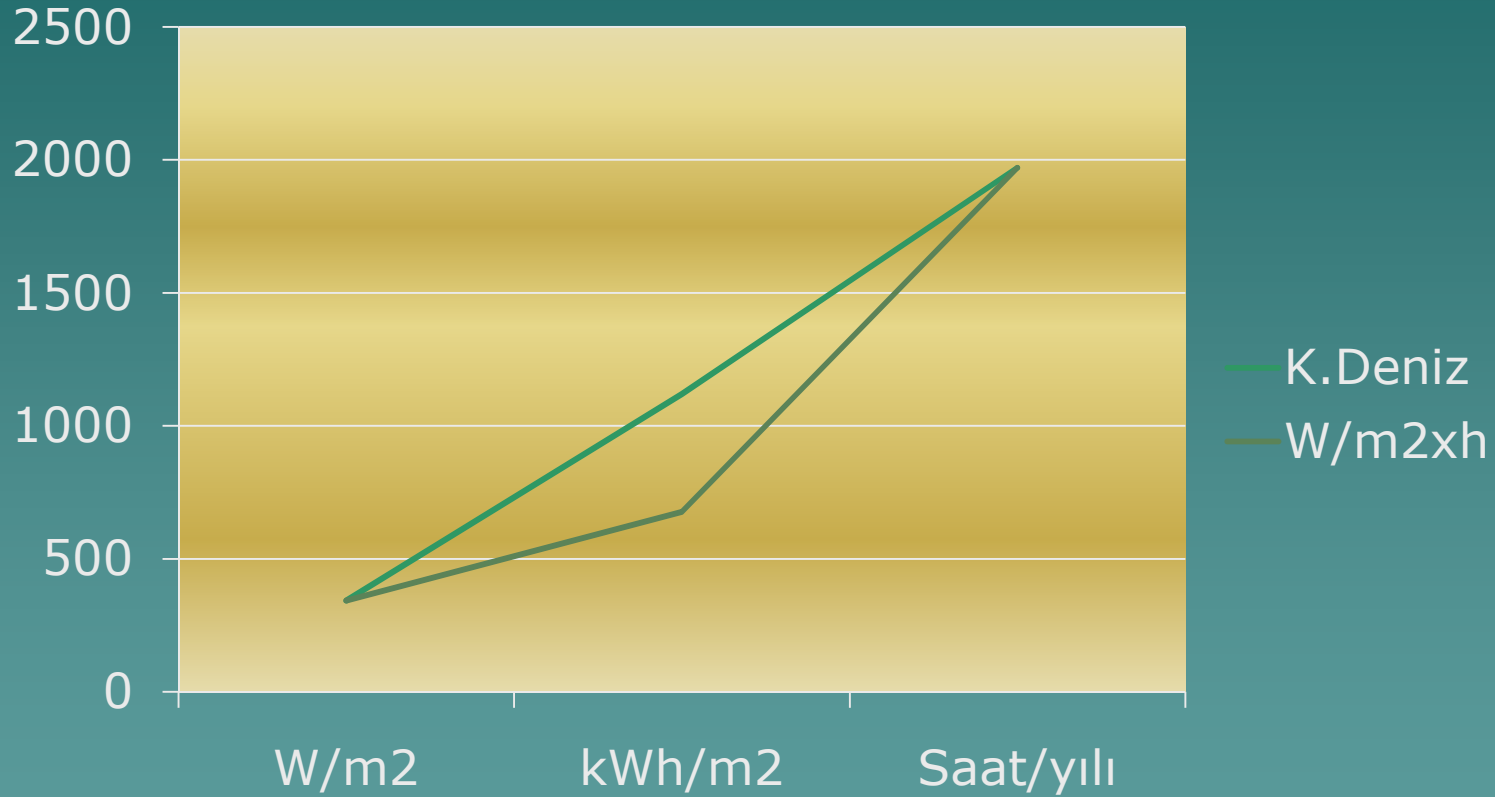
Bölgelere göre güneş enerjisi dağılımı



Grafik 1-2: Güneş etkinliğinin üç bölge için ölçülmüş değer eğrileri

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli

Bölgelere göre güneş enerjisi dağılımı



Grafik 1-3: K.Deniz Bölgesi ölçüm ve hesaba göre kWh/m2 değerleri

Güneş enerjisinin önemi

Güneş enerjisi ve çevre

- ◆ Kömür, petrol, gaz gibi fosil yakıtlar, saldıkları CO_2 ve başka çeşitli gazlar yüzünden atmosferi kirletmekte, sera gazı etkisiyle dünyayı ısıtmaktadır.
- ◆ Isınan gezegende buzullar her geçen gün eriyerek azalmakta, ekolojik düzen bozulmaktadır. Ancak, hem nüfus artışı hem de yoğun enerjiye dayalı sanayi üretiminin artması nedeniyle enerji talebi de giderek artmaktadır.
- ◆ Bu nedenle enerji gereksinimi konusunda su, rüzgâr, güneş, jeotermal gibi alternatif enerji kaynaklarına yönelmek gerektiği artık bir tercihten öte zorunluluk haline gelmiştir.
- ◆ Temiz, güvenilir ve çevre dostu bir enerji kaynağı olan ve fosil yakıtların kullanımından kaynaklanan çevre sorunlarının hiç birine yol açmayan güneş enerjisi giderek önem kazanmaya ve yenilenebilir enerji kaynakları arasında öne çıkmaya başlamıştır.



Güneş enerjisinin üstünlükleri

- ◆ **Temiz ve ekolojik olması;**
 - Hava kirliliğini önlemesi, dolayısıyla sera etkisini azaltması,
 - Alternatif enerji olarak Nükleer panzehiri olması(1),
 - Sessiz çalışması nedeniyle gürültü kirliliği yaratmaması.
- ◆ **Yerli ve yenilenebilir olması.**
- ◆ **Ekonomik olması;**
 - Sınırsız ve uzun ömürlü olması,
 - Kurulum finansmanı dışında önemli bir maliyetinin olmaması,
 - Sağlık ve risk açısından hiçbir toplumsal maliyet taşımaması,
 - Yakıt maliyetinin olmaması,
 - İşletme maliyetinin düşük olması,
 - Atıkların yok edilme maliyetinin az olması,
 - Ekonomik ömrü sonucu sökölme maliyetinin çok az olması.

Güneş enerjisinin üstünlükleri

- ◆ Yaygın istihdam olanakları sağlaması.
- ◆ Ülkenin enerji sektöründeki bağımsızlığına ve enerji alanındaki tekelin kırılmasına katkı sağlaması.
- ◆ Sigorta şirketlerince sigortalanabilir olması (sigorta şirketleri nükleer santralleri sigorta yapmamaktadırlar)
- ◆ Üretimde merkezilik yerine yerelliğin avantajlarını barındırması;
 - Merkezi olmak yerine dağıtılmış yerel enerji üretimi,
 - Enerji üretildiği yerde kullanıldığından iletim, dağıtım kayıplarının olmaması.
- ◆ Elektrik şebekesinin olmadığı yerlerde elektrik enerjisinden yararlanma konforunun sağlanması



Güneş enerjisinin kusurları

- ◆ Kış aylarında güneş ışınımı az (kış aylarında bu değer yaz aylarına göre yarı yarıyadır) ve geceleri yoktur.
- ◆ Güneş ışınımından faydalanan sistemin güneş ışığını sürekli alabilmesi için çevre açık olmalı, gölgelenmemeli ve yakınlarda, resimdeki gibi duman bacaları olmamalı.
- ◆ Devlet içi ve devletler arası enerji baronlarının lobileri nedeniyle zorlama 'mevzuat' uygulamalarının devam etmesi.
- ◆ Kullanımının yaygınlaşmasının bilgilenme ve bilinçlenmeye bağlı olması.



Güneş enerjisi kullanım alanları

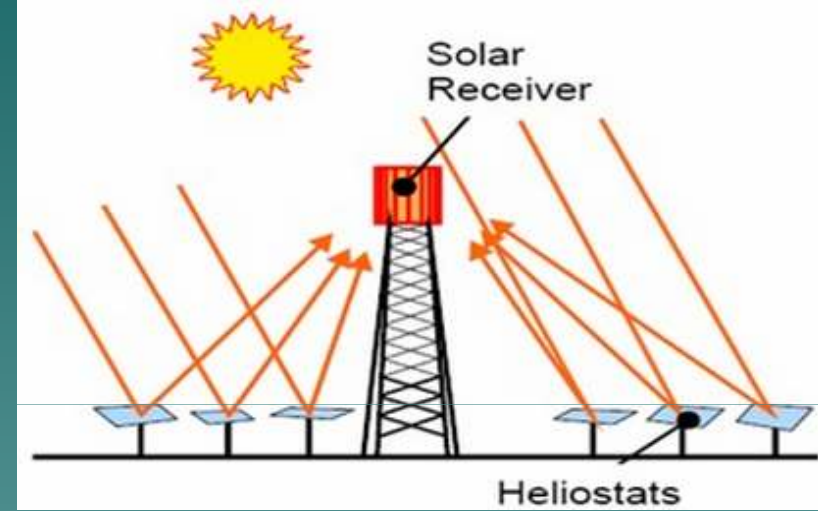
- ◆ **Isıtma, pişirme:** İçbükey yansıtıcılarla güneş enerjisinin belirli nokta veya ekseninde yoğunlaştırılarak kullanılması
- ◆ **Soğutma:** Buharlaştırma-yoğuşturma-ısı soğurma süreçleriyle soğutma.
- ◆ **Sıcak su elde etme:** Çatı kolektörleriyle evsel sıcak su gereksiniminin karşılanması
- ◆ **Solar aydınlatma:** Gün ışığının yansıtıcı yüzeylerle ve yönlendirmelerle iç mekânlara iletilmesi,
- ◆ **Deniz suyu veya kirli sudan temiz su damıtma, tuz üretilmesi.**



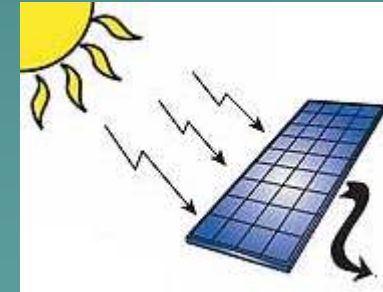
Güneş enerjisi kullanım alanları

- ◆ **Elektrik üretme:** Güneş enerjisinden termal veya fotovoltaik yöntemlerle elektrik üretilmesi.

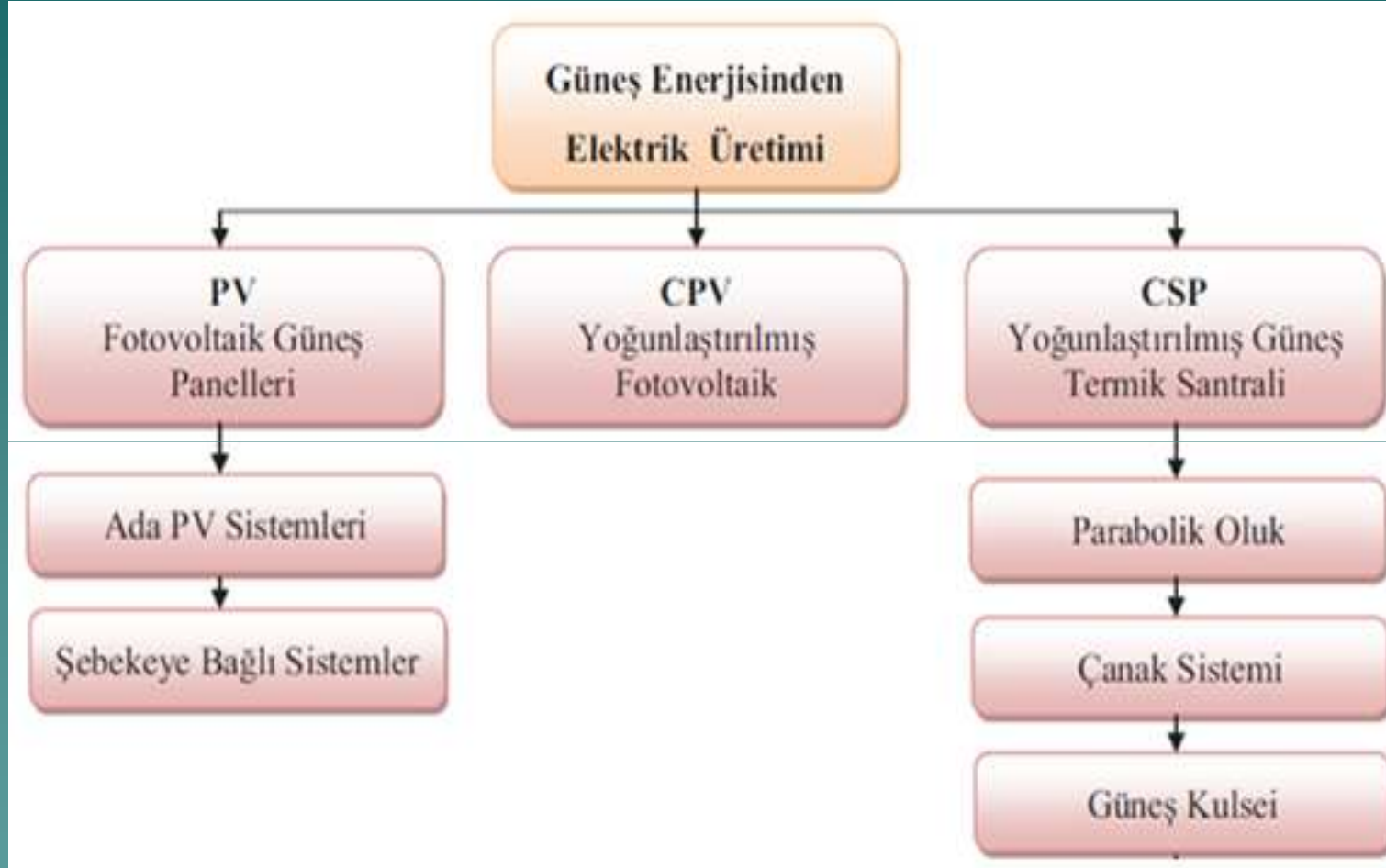
- **Termal yöntem:** Bir yoğunlaştırıcı kolektörde ısıya dönüştürülen güneş enerjisinden, nükleer ya da kömürle çalışan elektrik santrallerinde olduğu gibi, su buhara dönüştürülür.



- Elde edilen buharla türbin tahrik edilerek elektrik üretilir.
- **Fotovoltaik etki:** Güneş ışınlarına duyarlı yarı iletken malzemeler aracılığıyla hücresel düzeyde üretilen elektrik enerjisi, çok sayıda fotovoltaik hücrenin seri/paralel olarak bağlanmasıyla güç santraline dönüştürülür.



Güneş enerjisi ile elektrik üretimi



Diyagram 1-1 Güneş enerjisinden elektrik üretim yöntemleri [9]

Güneş enerjisi ile elektrik üretimi

Yoğunlaştırılmış güneş termik santralleri-CSP



Oluklu sistem ışın toplacı



Çanak sistem ışın toplacı

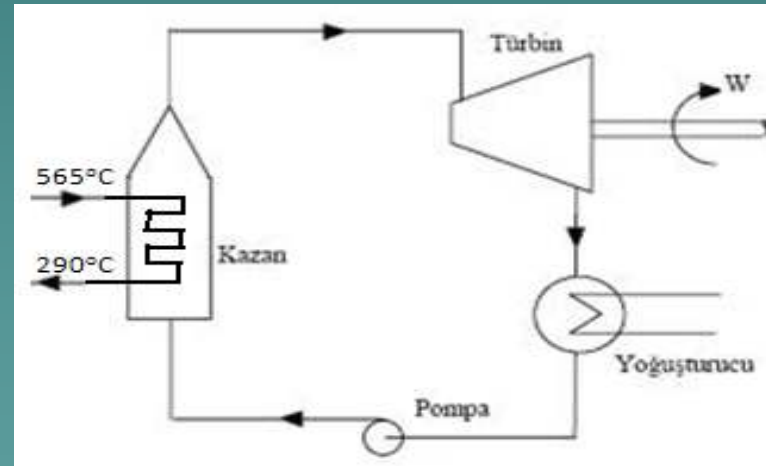
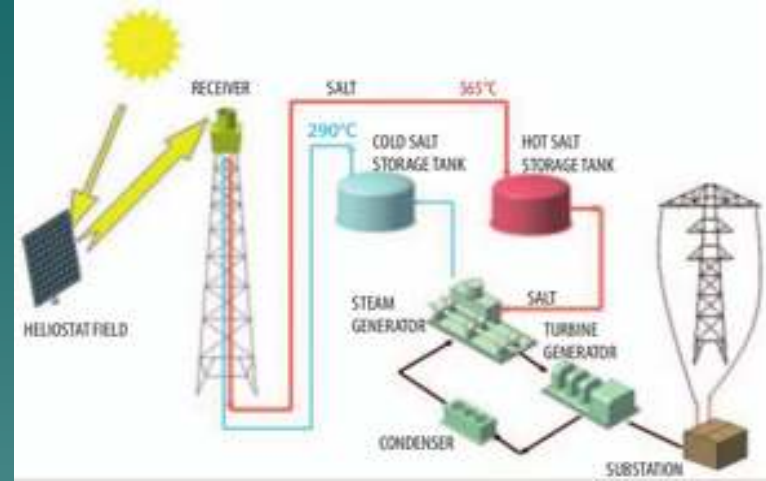


Heliostat sistemler toplacı - Güneş kulesi

Güneş enerjisi ile elektrik üretimi

- ◆ Güneş enerjisi ile elektrik üretimi termoelektrik dönüşüm ve/veya fotoelektrik çevrim ile yapılır.
- ◆ Termoelektrik dönüşümde güneş yoğunlaştırıcısı olarak parabolik aynalar, çanaklar, heliostat (gün dönüştürücü) veya Fresnel(*) (ayna-mercek sistemi) kullanılır.
- ◆ Bir akışkan güneş radyasyonu ile yüksek derecelerde ısıtılır. Bu ısı bir başka akışkana (su) aktarılarak buharlaştırılır.
- ◆ Buhar gücünün çevirdiği jeneratör ile elektrik enerjisi üretilir.

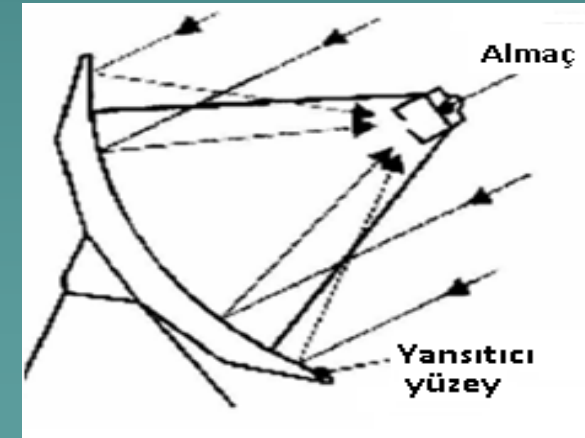
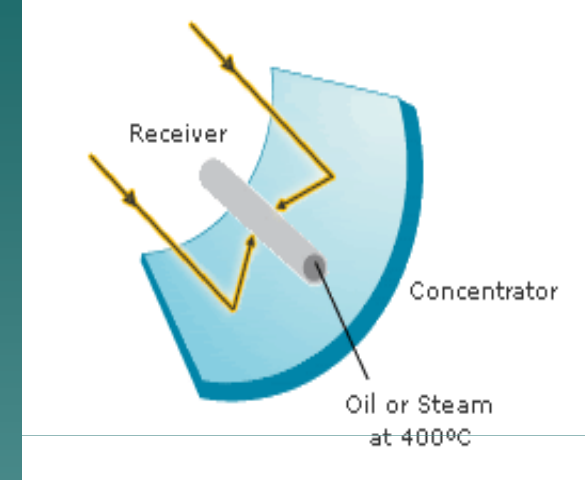
(*) Doğrusal odaklayıcı düzlemsel aynalar sistemi



Güneş enerjisi ile elektrik üretimi

Elektrik üretimi şekil 1-2'de görüldüğü gibi üç ana yöntemle özetlenebilir:

- 1-CSP(Consentrated Solar Power)sistemi:
 - Güneş enerjisinden ısı (termal) olarak yararlanılan sistemdir. En eski yöntemdir.
 - 1800'lü yıllarda kullanımı daha yaygındı.
 - Petrol kaynakları bollaşınca güneş enerjisi kullanımı ve üzerine olan çalışmalar gerilemiştir.
 - Şimdilerde güneş kulesi uygulaması (ABD, İpanya) yapılmaktadır.



Güneş enerjisi ile elektrik üretimi

2- **Fotovoltaik sistemler:** 1950'li yıllardan sonra bir ileri teknoloji ürünü olarak ortaya çıkmıştır. PV sistemler güneşin olduğu her yerde çalışabilir. CSP sistemler için ise sıcaklığın çok yüksek olduğu çöller, vahalar gerekmektedir.



3- **CPV (Concentrated Photo Voltaic) sistemler:** Mercek ya da ayna gibi donanımlar kullanılarak güneş enerjisinin daha yoğun olarak PV hücreler üzerine gönderildiği sistemlerdir.

CPV sistemlerde, yüksek verimli ve çok küçük alanlı (1-2 cm²) PV hücreler kullanılır.



Türkiye'nin güneş elektriği potansiyeli

- ◆ Türkiye coğrafyasında oluşan güneş ışınım gücünün bölgelere göre dağılımı Tablo-1-2'deki gibidir.
- ◆ 780 km²'lik (1/1000 Türkiye) alanı PV sistemler için ayırarak Akdeniz Bölgesi verisine göre bir hesaplama yaparsak;

Bölgeler	Ortalama Güneş Işınım Şiddeti (W/m ²)		
	Yıllık	Temmuz	Aralık
Güneydoğu Anadolu	477	767	283
Akdeniz	463	723	183
İç Anadolu	457	720	160
Ege	450	723	167
Doğu Anadolu	447	667	163
Marmara	363	593	133
Karadeniz	343	510	157

Tablo1-4:Bölgelere göre güneş ışınım değerleri[17]

$$7,8 \cdot 10^2 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \times 463 \text{ W/m}^2 = 360 \cdot 10^9 \text{ MW/780 km}^2 \text{ (alan ışınım gücü)}$$

Bunu 2956 saat/yıl (bkz. Tablo 1-1) ve çok kristalli bir PV modülü %15 verimle işleme koyarsak;

$$360 \cdot 10^9 \text{ W} \times 2956 \text{ s/yıl} \times 0,15 = 1,60 \cdot 10^{14} \text{ Wh/yıl} - 780 \text{ km}^2 \text{ hesaplarız.}$$

Bu da yaklaşık, 90 bin MW PV sistem ve 160 milyar kWh/yıl elektrik enerjisi demektir.

Güneş elektriği ile önlenen zararlar

- ◆ Güneş sonsuz, sorunsuz ve ücretsiz bir enerji kaynağı olmanın yanı sıra, güneş enerjisi ile çalışan elektrik santralleri sayesinde fosil yakıtların zararları da önlenmektedir.
- ◆ 1 MW Fotovoltaik elektrik santrali ile atmosfer;
 - 1000 Ton CO₂,
 - 7 Ton CO,
 - 450 Ton Kükürt Dioksit,
 - 250 Ton Azot Oksit,
 - 3 Ton Hidrokarbon,
 - 5 Ton kül'den kurtulmaktadır.



I. Ara: 10 dk.

Fotovoltaik hücreler-Güneş pilleri

- ◆ Güneş pilleri, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir.
- ◆ Güneş enerjisinin taşıyıcıları ve yayıcıları olan tanecikli fotonlar, fotovoltaik hücre üzerine düşünce elektrik enerjisine dönüştürürler.
- ◆ Güneş enerjisini bitkiler de fotosentezde kullanırlar. Yani, bitki yaprakları milyonlarca yıldır bir fotovoltaik güneş paneli gibi enerji dönüştürücüsü olarak çalışmaktadırlar.



Fotovoltaik hücreler-Güneş pilleri

- ◆ **Fotoelektrik olayı:** Güneş ışığı yarıiletken madde üzerine düştüğünde ışınımın enerjisi madde atomlarının en dış yörüngesindeki elektronları hareket ettirir.
- ◆ İletkenler üzerindeki elektrik akımı atomların bu gevşek elektronlarının hareketi sayesinde oluşur.
- ◆ Elektronlar taşıdıkları enerjilerini karşılaştıkları engeller (direnç-yük) üzerinde bırakarak iş yaparlar.

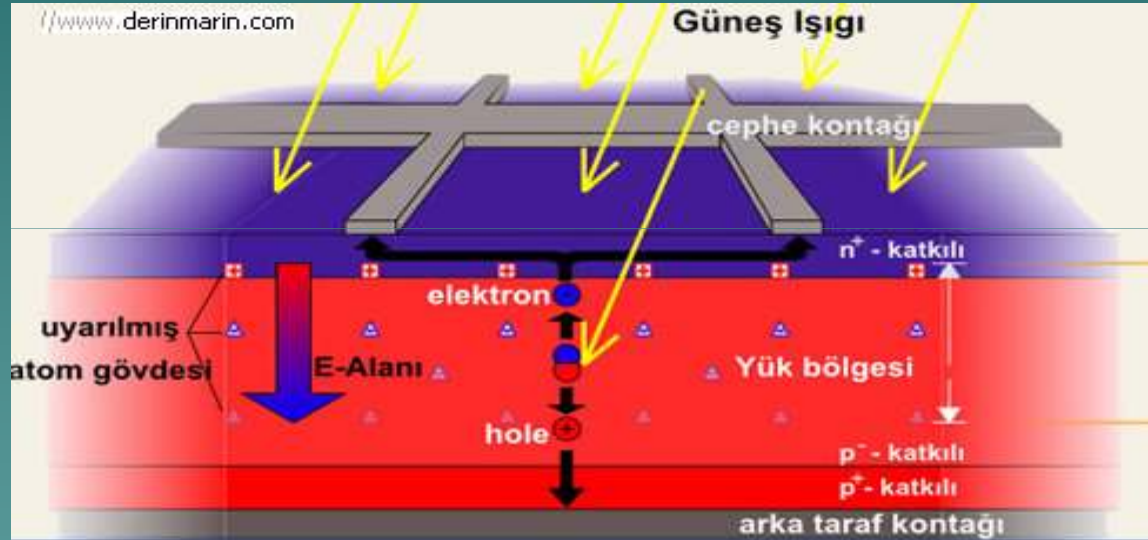


Fotovoltaik hücreler-Güneş pilleri

- ◆ Güneş pilleri (Photovoltaic Cell) yarı iletken teknolojisi ile üretilmiş Silikon temelli(deniz kumu) statik sistemlerdir.
- ◆ Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şekillerinde üretilen güneş pillerinin yüzey alanları genellikle 100 cm^2 civarındadır. Kalınlıkları da 0,2 ile 0,4 mm arasında değişmektedir.
- ◆ Fotovoltaik cihazların yapımında en çok kullanılan yarı iletken malzemeler silisyum ve silisyum alaşımlarıdır[18].
- ◆ Fotovoltaik sistem iki katmanlı silisyum yapıdan oluşur. P tipi taban üzerinde ince bir N tipi malzeme bulunmaktadır. Işık bu iki malzemenin kontak noktasına düştüğünde, P-tipi malzemenin N-tipine göre daha pozitif olduğu 0,6 Voltluk bir gerilim meydana gelir.

Güneş pillerinin yapısı ve özellikleri

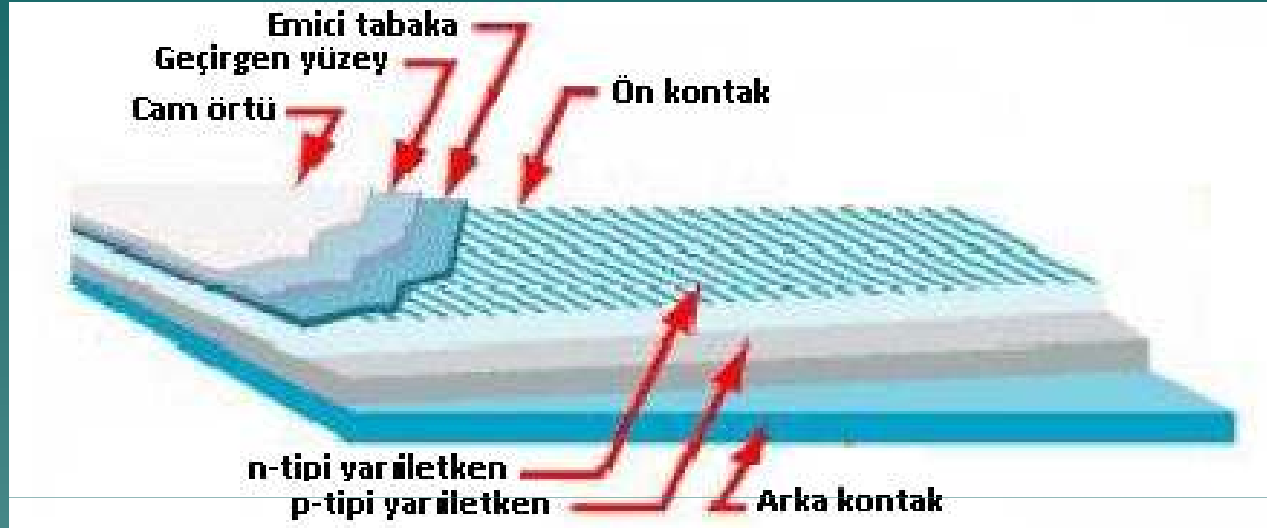
- ◆ Güneş pili iki katman halindedir: Fosfor atomları eklenmiş Silisyumdan oluşan ve pilin negatif tarafını oluşturan n-katmanı, Bor atomları eklenmiş Silisyumdan oluşan ve pilin pozitif tarafını oluşturan p-katmanı. Pozitif ve negatif yüklerin ayrışarak karşı karşıya geldiği ve iki katmanın birleştiği yere de p-n eklemi denir.



Şekil 2-1: Güneş pilinin yapısı

- ◆ Pilin ön(negatif) ve arka(pozitif) cephesinde, dış devre ile bağlantıyı sağlayan bakır kontaklar vardır. 150 mikron kalınlığındaki ışın soğurucu kaplama malzemesi pilin ön yüzeyinde bulunur.

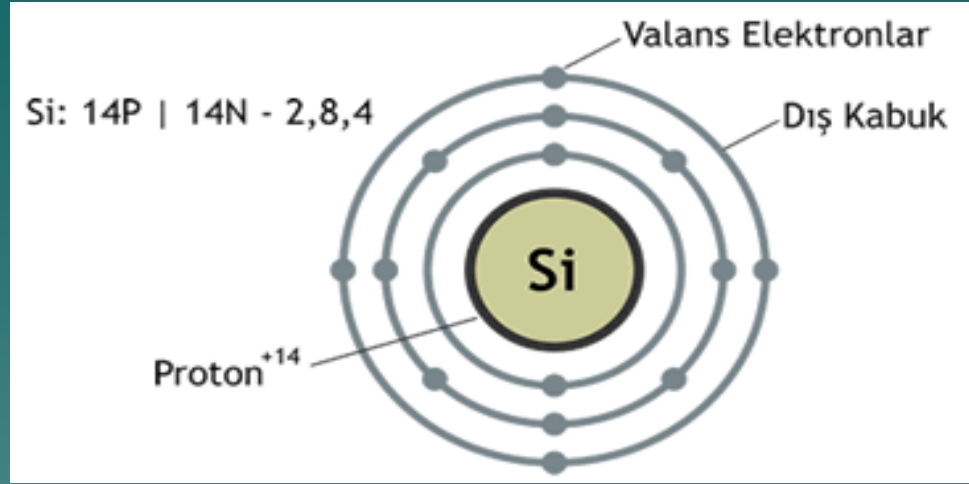
Güneş pillerinin yapısı ve özellikleri



Şekil 2-2 Fotovoltaik modülün katmanları

- ◆ Güneş pilleri karmaşık ve zorlu bir süreçten geçerek üretilmiş mikro teknoloji ürünü olmalarına karşın zor bozulan dayanıklı malzemelerdir.
- ◆ On yıllar boyunca aynı performansta çalışabilirler.
- ◆ Çıkışlarında herhangi bir yük olmadığı durumlarda yüksek değerde iç dirence sahip olduklarından enerji harcamazlar ve çıkış uçları kısa devre edildiği durumlarda kolayca bozulmazlar.

Güneş pillerinin çalışma ilkesi



Şekil 2-3: Güneş pilinde fotovoltaik güç oluşumu

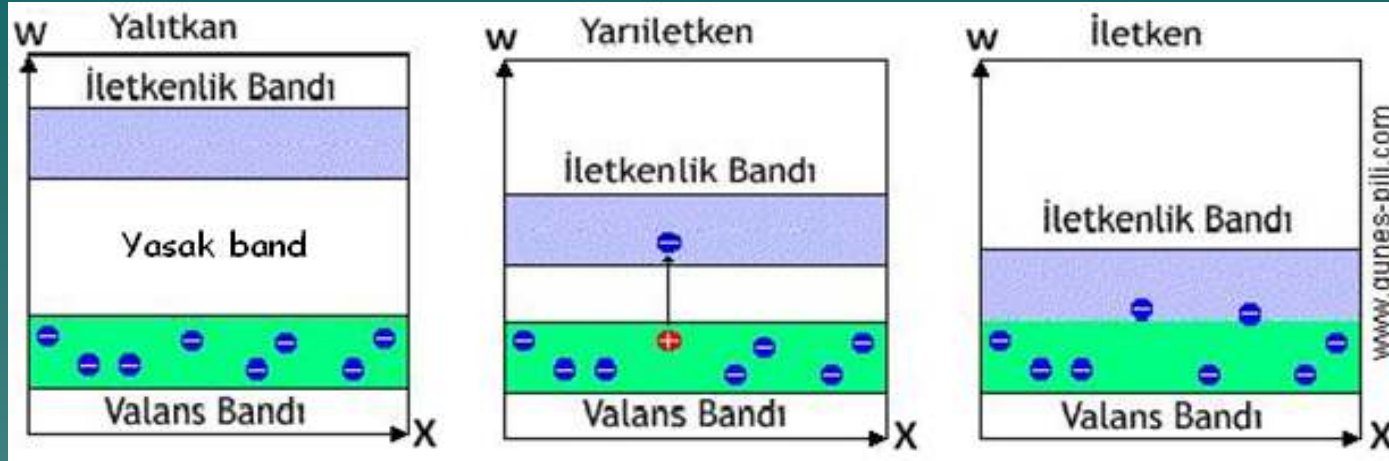
- ◆ Evrende her şey dengededir. Atomun da dengede olması için elektronların sayısı protonların sayısına eşit olmalıdır. Şekil 2-3'de gösterilen Silisyum atomunun elektronları en iç yörüngede 2 adet, ortada 8 adet ve en dışta ise 4 adet olmak üzere dizilmişlerdir.
- ◆ Bunların iç ve orta yörüngede olan 10 tanesi atomun çekirdeğine oldukça sıkı olarak bağlıdır. En dıştaki 4 adedinin bağları ise gevşektir. Bu 4 adet Valans (saçak) elektronlar yarı iletken içindeki elektrik akımını sağladıkları için önemlidirler.

Güneş pillerinin çalışma ilkesi

Yarıiletkenlerin elektriksel özellikleri

- ◆ Yarı-iletken maddelerin güneş pili olarak kullanılabilmeleri için n ya da p tipi madde ile katkılanmaları gereklidir. Katkılama, saf yarıiletken eriyik içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılır.
- ◆ En yaygın güneş pili maddesi olan **Silisyum**dan n tipi silisyum elde etmek için silisyum eriyiğine periyodik cetvelin 5. grubundan bir element, örneğin **Fosfor** eklenir. Silisyum'un dış yörüngesinde 4, fosforun dış yörüngesinde 5 elektron olduğu için, Fosfor'un fazla olan tek elektronu kristal yapıya bir elektron verir.
- ◆ P tipi silisyum elde etmek için ise, eriyiğe 3. gruptan bir element olan Bor eklenir. Bu elementlerin son yörüngesinde 3 elektron olduğu için kristalde bir elektron eksikliği oluşur, bu elektron yokluğuna **hol** ya da **boşluk** denir ve pozitif yük taşıdığı varsayılır. Bu tür maddelere de "p tipi" madde denir.
- ◆ N tipi yarıiletkende elektronlar, p tipi yarıiletkende holler çoğunluk taşıyıcısıdır. Yarıiletken eklemine güneş pili olarak çalışması için eklem bölgesinde fotovoltaj dönüşümünün sağlanması gerekir.
- ◆ Bu dönüşüm iki aşamada olur, ilk olarak, eklem bölgesine ışık düşürülerek elektron-hol çiftleri oluşturulur, ikinci olarak ise, bunlar bölgedeki elektrik alan yardımıyla birbirlerinden ayrılır. Bu şekilde güneş pili, elektronları n bölgesine, holleri de p bölgesine iten bir **pompa** gibi çalışır[6.1]

Güneş pillerinin çalışma ilkesi



Şekil 2-4 Güneş pilinde fotovoltaik güç oluşumu

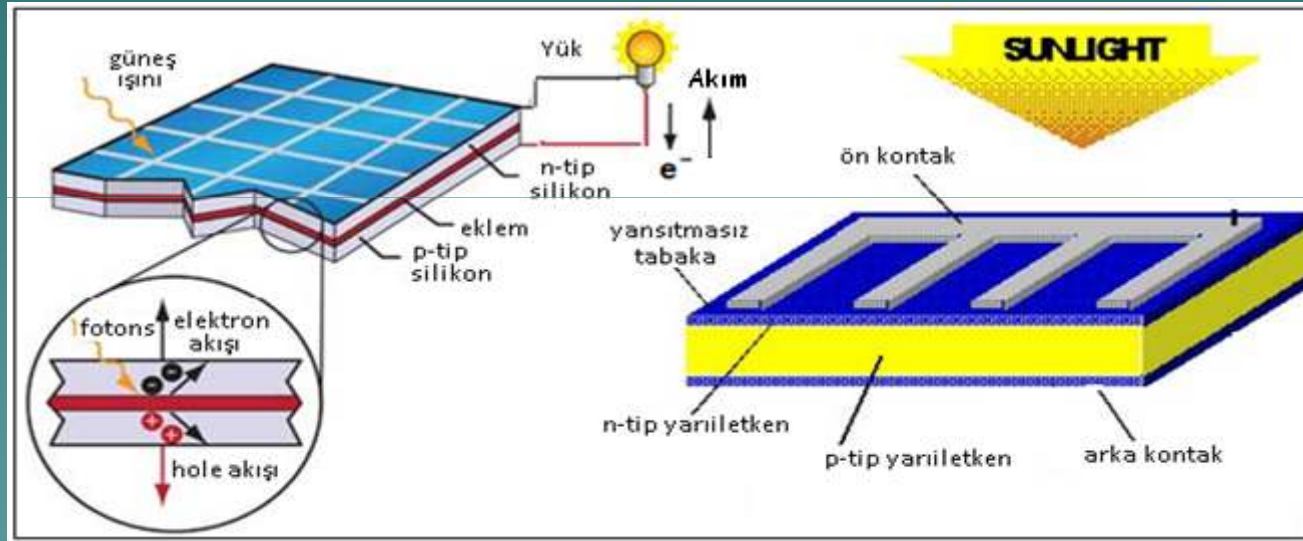
- ◆ Yarıiletken madde, Şekil 2-4'de görüldüğü üzere iletkenlik bandıyla Valans bandı, iletken maddede olduğu gibi ne bitişik, yalıtkan maddede olduğu gibi ne de birbirinden uzaktır.

Dışarıdan küçük değerinde bir enerji uygulandığında elektronların kolaylıkla iletkenlik bandına geçebileceği kadar yakınlıktadır.

- ◆ Şekil 2-5'de, silikon hücre üzerine düşen güneş ışığı fotovoltaik hücreler tarafından emiliyor.

Güneş pillerinin çalışma ilkesi

- ◆ Radyasyon etkisiyle polarize olan katkılı Silisyum maddesi, fotonların enerjisini alarak serbest hale gelen elektronlar sayesinde bir enerji kaynağına dönüşüyor.
- ◆ Işınım etkisiyle Bor katkılı P maddesinden ayrılan elektronlar, Fosfor katkılı N maddesinde birikir. N tipi yarıiletkenin çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar, dış devre yoluyla P maddesindeki çoğunluk taşıyıcısı boşluklara dönerken enerjilerini devredeki yük (lamba) üzerinde bırakırlar.



Şekil 2-5: Güneş pilinde fotovoltaik güç oluşumu

- ◆ Silikon hücre ışınım aldığı sürece döngü devam eder ve elektrik enerjisi üretimi de böylece gerçekleşmiş olur.

Güneş pili çeşitleri

- ◆ Gün Güneş pillerinin üretiminde hammadde olarak yarı iletken madde olan ve dünyada bol bulunan **Silisyum** kullanılmaktadır. Güneş pilleri üretim şekillerine göre çeşitlere ayrılırlar.
- ◆ **Monokristal silikon hücreli güneş pilleri:** Siyah veya koyu mavi renktedir. Tek kristalli, yüksek verimli(%20), uzun ömürlü fakat diğer çeşitlerine göre daha pahalıdır.
- ◆ **Polikristal silikon hücreli güneş pilleri:** çoklu-kristal solar hücrelerin yüzeyi mavi renkte olur. Verimlilik kapasitelerinin (%16) maliyete oranı yüksek olduğu için bu tip güneş pilleri en sık üretilen güneş pilleridir. PV sektöründe en çok kullanılan teknolojidir.

Çoklu-kristal solar hücrelerin yüzeyi mavi renkte olur. Kristal yapıları kısmen düzgün olduğu için daha az voltaj taşırlar, yani verimlilik faktörleri biraz daha düşüktür. İmalatı daha kolay ve üretimi daha ucuzdur. Fotovoltaik sektöründe en çok kullanılan teknolojidir.

Güneş pili çeşitleri

- ◆ **Amorf (Amorphous) ince tabaka güneş pilleri:** Bükülgen özelliktedir. Verimleri düşük (%5-8) fakat gölge ortamlarda dahi enerji ürettiklerinden çatılarda kullanımı idealdir.

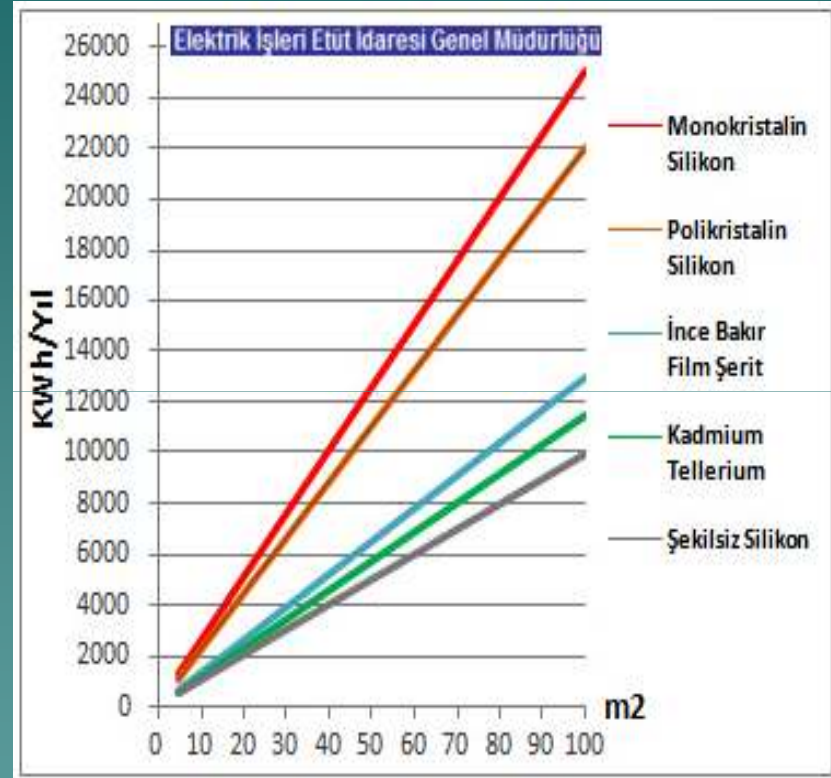
İnce film modüller koyu kırmızı veya koyu kahverengi olur. Düşük malzeme tüketimi ve uygun fiyatları sayesinde geniş yüzeylerin kaplanacağı projelerde tercih edilirler. Parlak gün ışığında verimlilik faktörleri düşüktür, ancak dağınık ışıkta ve daha sıcak iklimlerde pek çok avantajları vardır.

- ◆ **CIS (Copper Indium) güneş pilleri:** Güneş ışığının daha geniş bandını değerlendirme özelliğine sahip olduğundan kapalı-bulutlu havalardaki performansı diğer türlerine göre daha iyidir. Verim %5 kadardır.
- ◆ **Galyum Arsenit (GaAs):** Kızılötesi ışınlar aşırı duyarlı bir bileşiktir. CPV sistemlerle verimi %30'a kadar çıkmaktadır.

Güneş pili çeşitleri

- ◆ Bir yarı iletken maddenin ışığa, ışınım (radiation) karşı duyarlılık derecesi, o maddenin verimini ve modül performansını belirler.
- ◆ Yandaki şekilde çeşitli madde ve teknolojilerle üretilmiş bazı güneş pillerinin yıllık enerji getiri eğrileri verilmiştir.

Sistem tasarımı yaparken verim/maliyet analizi için bu verilerden yararlanır.



Şekil 2-6: PV hücrelerinin kazanç eğrileri

Güneş pili teknik özellikleri

- ◆ Fotovoltaik hücrelerden yararlanmak veya bu hücrelerden PV modüller oluşturabilmek için hücrelerin teknik özelliklerinin bilinmesi gerekir.

Verim	: %22.5
Güç	: 3.42 Wp
Maks.Güç Akımı	: 6.28 A
Maks.Güç Voltajı	: 0.58 V
Açık Devre Voltajı	: 0.68 V
Ölçüler	: 125 mm x 125 mm
Çap	: Ø 160 mm
Kalınlık	: 165 µm ± 40 µm
Test Şartları: 1000 W/m ² , AM 1.5, 25 _C	

Tablo 2-1: Monokristel solar hücre teknik verileri

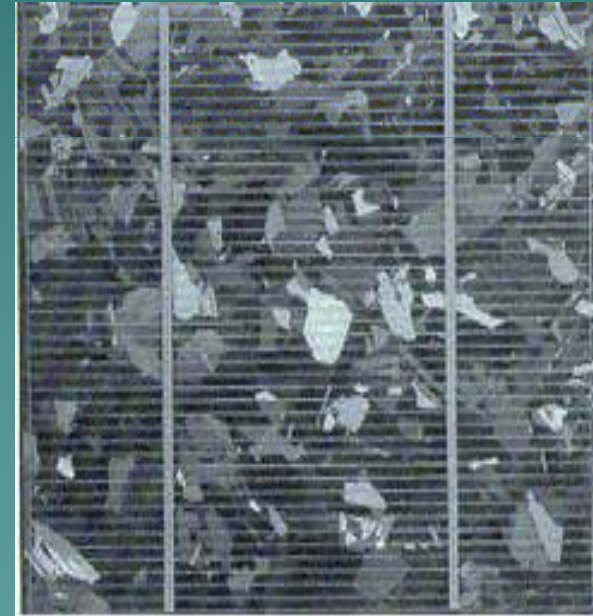


Monokristal solar hücre

Güneş pilleri teknik özellikleri

- ◆ Kristal yapılı yarıiletken hücreler, tablolar da belirtildiği gibi Verimleri ve kapladığı alanlar daha çok önem arz eder.

Hücre Tipi	: Polikristal Silisyum Hücre
Ölçüler	: 156 mm x 156 mm ± 0.6 mm (6 inch)
Çap	: Ø 203 mm ± 1 mm
Kalınlık	: 220 µm ± 20 µm
Ön Tabaka	: 1.8 mm bara (gümüş), Mavi silikon nitrit anti yansıtma kaplama
Arka Tabaka	: 4.5 mm lehimlenmiş koruyucu tabaka (gümüş/alüminyum)
Verim	: %16,50– 16,70
Güç	: 4.04 Wp
Maks.Güç Akımı	: 7.877 A
Maks.Güç Voltajı	: 0.513 V
Açık Devre Voltajı	: 0,569 V
Test Şartları:	1000 W/m ² , AM 1.5, 25 _C



Tablo 2-1: Polikristal solar hücre teknik verileri

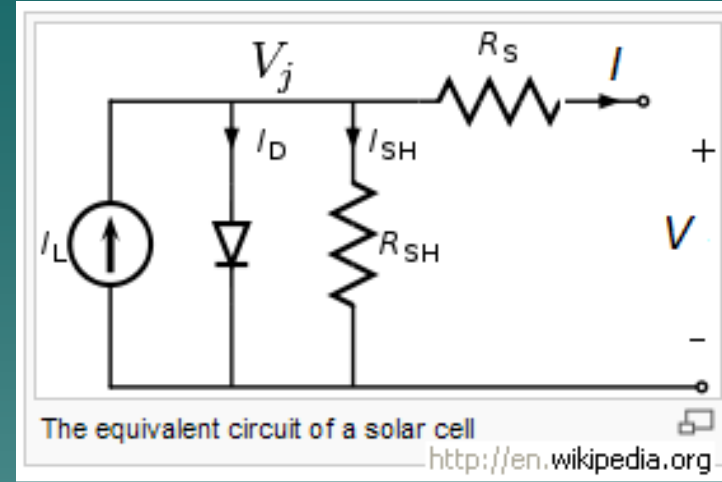
Polikristal solar hücre

Güneş pillerinde elektriksel modelleme

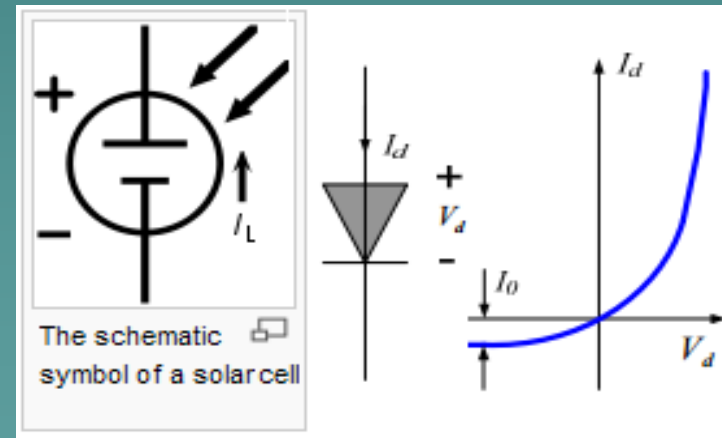
PV hücrenin teknik analizi

- ◆ Bir fotovoltaik pilin elektriksel davranışı, ayırık bileşenler kullanılarak gösterilebilir.
- ◆ Bir solar hücrenin, akım kaynağı olarak sembolize edilmiş eş değer devresi Şekil 2-7'de gösterilmiştir.
- ◆ Eklemden (junction) üretilen enerjinin pil kontaklarına iletilmesi esnasında oluşan kayıplar seri direnç R_s ile gösterilmektedir.

Kirchoff yasasına göre devrenin hücre akımı da, $I = I_L - I_D - I_{SH}$ şeklinde yazılır.



Şekil 2-7: Solar hücre eşdeğer devresi



Şekil 2-8: Diyot eşdeğer devre ve I-V grafiği

Güneş pillerinde güç ve verimlilik

- ◆ Güneşin yeryüzüne kadar ulaştırdığı 1100 W/m^2 'lik ışınımın ne kadarının elektriksel güce dönüştürülebildiğini verimlilik kavramıyla açıklıyoruz.

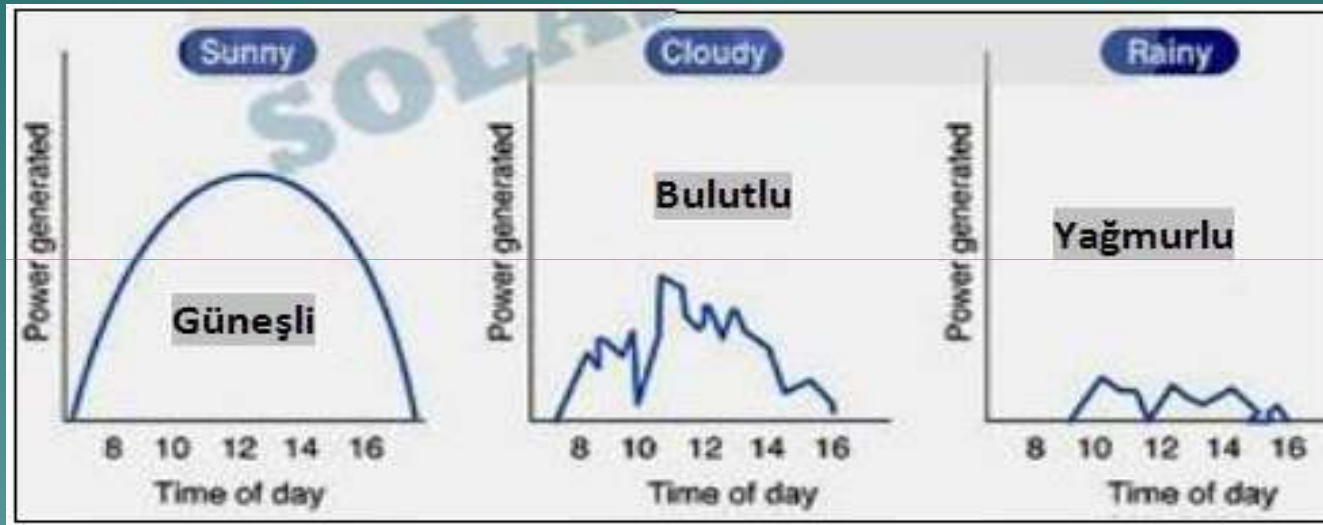
Teknoloji	Kristal Silikon		İnce Film		
	Mono	Poli	Amorf Silisyum(a-Si)	Kadmiyum Tellür(CdTe)	Bakır İndiyum Diselenid(CuInSe ₂)
Hücre Verimi	%15-24	%14-19	%6-13	%10-16	%13-20

Tablo 2-3: Güneş pillerinde hücre verimleri

- ◆ Bir güneş pilinin ürettiği enerji hava koşullarına ve güneşle olan açısına göre değişir.

Güneş pillerinde güç ve verimlilik

- ◆ Her fotovoltaik modülün Standard Test Şartlarındaki (STC-Standard Test Conditions) bir değeri vardır. STC, 1000 W/m^2 güneş enerjisinin 25°C 'lık sıcaklıktaki hava kütesinin taşıdığı şartlardır.



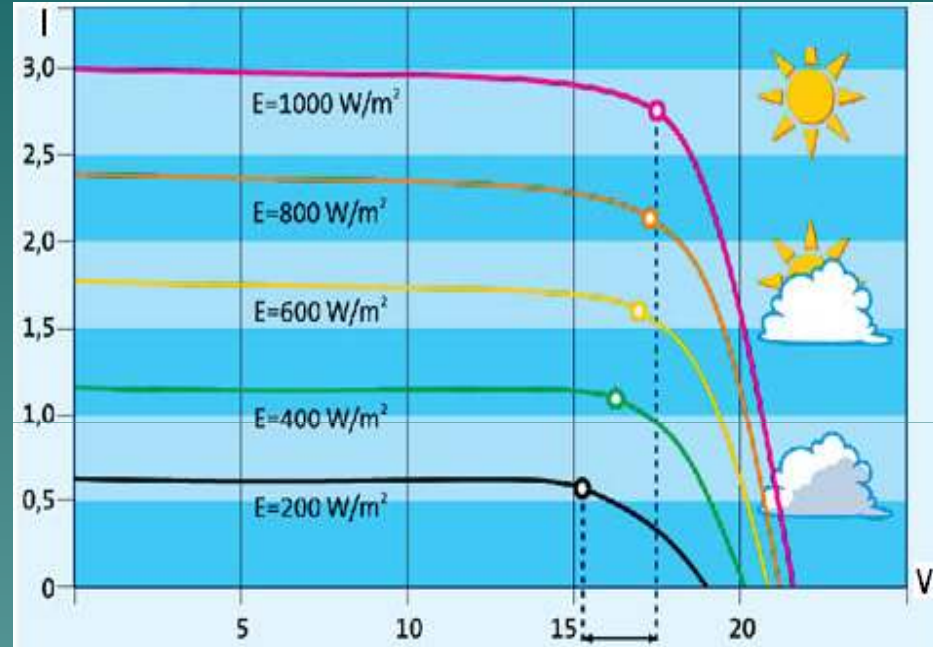
Şekil 2-9: PV güç değerinin hava koşullarına göre değişimi

- ◆ Şekilde görüldüğü gibi hava koşulları, bir PV modülün güç değeri ve enerji getirisini önemli ölçüde etkilemektedir.

Güneş pillerinde güç ve verimlilik

Fotovoltaik güç karakteristikleri

- ◆ Bir güneş pilinde elde edilen enerjinin hava koşullarına göre değişimi I-V ilişkisiyle de gösterilmektedir.
- ◆ Bir güneş paneli yeterli ışınım alıyor fakat bir yük ile bağlantılı değilse çıkış uçlarında maksimum gerilim (V_{oc}) görülür.

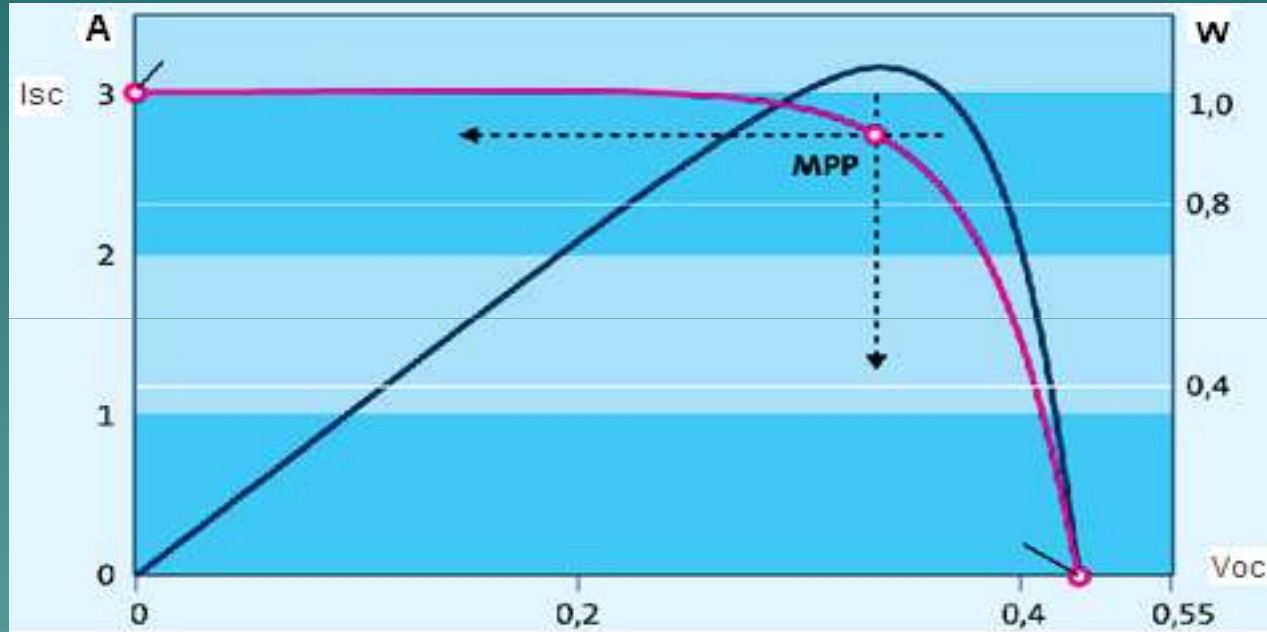


Şekil 2-10: Enerjinin radyasyon şiddeti ile değişimi

- ◆ Eğer çıkış uçlarını kısa devre edecek olursak gerilim sıfıra düşerken akım (I_{sc}) maksimum olur. Her iki durumda da $P=IV$ eşitliği nedeniyle güç sıfır olur.
- ◆ Uygulanan güç, $P=I^2 R$ bağıntısından dolayı yükün direnci tarafından belirlenir.

Güneş pillerinde güç ve verimlilik

- ◆ Bir güneş pilinin ürettiği enerji, hava koşullarına ve güneşle olan açısına göre değişir.



Şekil 2-11: Güneş pilinde maksimum güç noktası gösterimi

- ◆ Enerji aktarımının en yüksek olması için şekildeki I-V eğrileri kırılma noktalarının izlenmesi ve yükün maksimum güç sağlayacak şekilde ayarlanması gerekir.

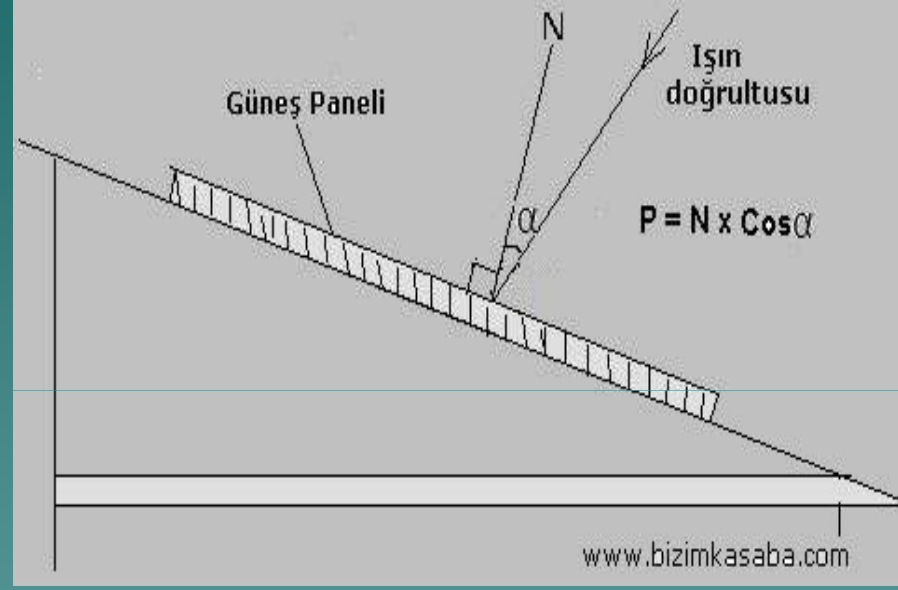
Pil verimini etkileyen diğer faktörler

- ◆ **Atmosferde kat edilen yolun uzunluğu ve havanın kirlilik boyutu:**
 - Güneş ışınlarının radyasyon enerjileri, güneşin yol aldığı atmosfer kalınlığı ile orantılı olarak değişir.
 - Öğle saatlerindeki 400 Km'lik atmosfer yolu, sabah saatlerinde 2 kat (800 km.) kadar olmaktadır.
 - Biz güneş panelinin güneşle olan açısını sürekli dik tutsak da, atmosfer yolunun hem uzunluk olarak hem de buhar ve gaz yoğunluğu açısından değişmesi nedeniyle PV modül kazancı da önemli ölçüde değişmektedir. Ayrıca güneş ışınlarını en çok saptıran su buharının tamamının alt katmanda(Troposfer) bulunması önemli bir etkidir.
- ◆ **Güneş ışınım yoğunluğu-yansıtılmış ışınların eklenmesi:**

Bir güneş pili sadece doğrudan gelen ışınları değil, etraftan yansıyan ışınları da değerlendirir. Eğer sabit konumlu bir panele hareketli bir ayna ile güneş ışını yansıtılacak olursa panel verimi artar.

Pil verimini etkileyen diğer faktörler

- ◆ **Güneşin geliş açısı:** Panel yüzeyinin dikeyi (Normali) ile güneş ışını arasındaki açıdır. Transfer edilen enerji açının Kosinüsü ile orantılıdır.



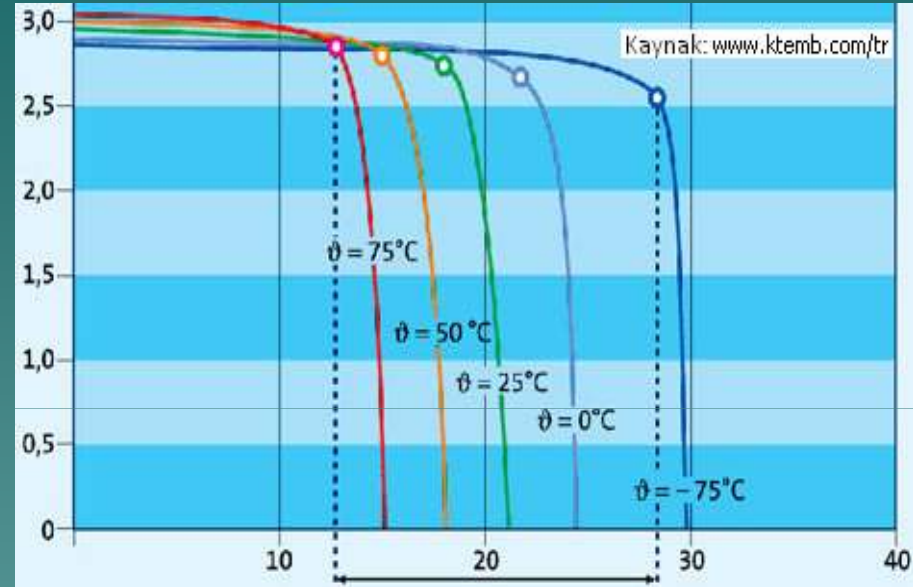
Şekil 4-12: Verimin ışınım geliş açısına göre değişimi

- ◆ **Aktarılan güç:**
 $P = W_p \times \cos \alpha$
bağıntısından, α açısı küçüldükçe P değerinin büyüdüğü görülür. $\alpha=0$ iken $P=W_p$ (maksimum güç) olur.

- ◆ **Pil-panel yapısında kullanılan malzemelerin cinsi ve niteliği:** Pilin yapısını oluşturan silikon maddenin tek kristalli veya çok kristalli olmasına ya da pilin yapısında kullanılan maddenin özelliğine göre de verim değişmektedir.

Pil verimini etkileyen diğer faktörler

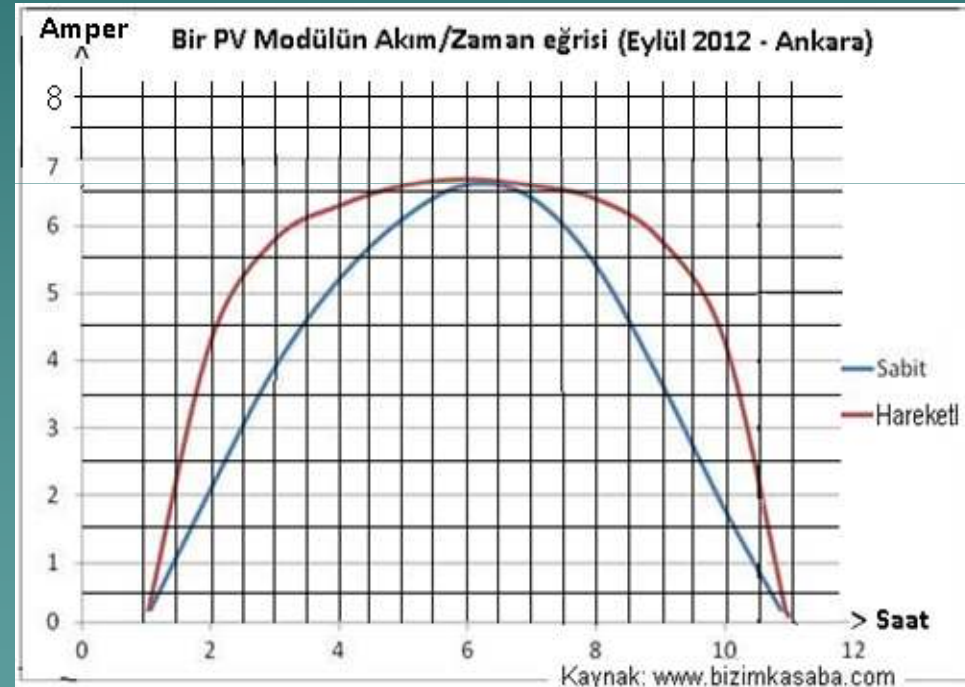
- ◆ **En uygun verimlilik sıcaklığı:** Sıcaklık hem pil verimini hem de pil ömrünü belirleyen önemli bir etkidir. Bu nedenle paneller, altlarında boşluk kalacak şekilde yerleştirilirler.
- ◆ Sıcaklığın I-V eğrileri üzerindeki etkisi şekilde görülmektedir. Her 1 derece sıcaklık artışı, PV modül gücünü % 0.5 oranında azaltmaktadır.
- ◆ **Güneşlenme süresi:** Kurulu gücümüz ne denli büyük olsa da elde edilecek enerji önemli ölçüde panellerin güneşlenme süresine bağlıdır.



Şekil 2-13: Verimin ortam sıcaklığıyla değişimi

PV modüllerde performans değerlendirilmesi

- ◆ Solar modüllerin en üst seviyede gösterdiği performans değeri W_p şeklinde gösterilir. Burada "p" harfi ile 'peak' yani en yüksek değer ifade edilmektedir. Bu değer, bir solar modülün tam güneş altında ve tanımlanan test koşullarındaki performansını gösterir.
- ◆ Pik performans'ı efektif bir değer olup, ideal koşullar altında gerçekleştirilen ölçümlere dayanır. Genel olarak pratik uygulamada gerçek performans bu miktarın %15-20 altındadır[ibc-solar].



Şekil 2-14: PV sistemde performans eğrileri

PV modüllerde test ve standardizasyon

Solar Modül Standardı-IEC (International Electrotechnical Commission)

- ◆ Ülkeler arası nitelikli her ürünün olduğu gibi güneş modüllerinin de bir standardı vardır.
- ◆ Uluslararası Elektroteknik Komisyonu-IEC, güneş panelleriyle elektrik üretmek isteyenlerin bunu kimden tedarik sağlayacakları konusunda, IEC modül sertifikaları PV projelerinin kredibilitésinin değerlendirilmesinde önemli bir gösterge olmaktadır.
- ◆ Solar(pv) modüllerde sertifikasyon (standart) hem üreticiler hem de tedarikçiler için gözardı edilmeyecek denli önemlidir.
 - Kristal solar modüller için IEC 61215 sertifikasyon numarası ile
 - İnce film solar modüller ise IEC 61646 sertifikasyon numarası ile tanımlanmıştır.

PV modüllerde test ve standardizasyon

Başlıca standart kuruluşları: ASTM, BSI, IEEE, ISO, JIS, EN, DIN

IEEE 1562-2007: Şebekeden bağımsız sistemler için dizi ve akü boyutlandırma rehberi

EN 50524: Fotovoltaik eviriciler için teknik özellikleri adlandırma rehberi

JIS 8939:1995: Amorf yapılı Fotovoltaik Modüller

ISO 9488: Güneş enerjisi sözlüğü

EN 50521: Fotovoltaik sistemler için bağlantı elemanları-Güvenlik gereksinimleri ve testler

EN 50548: Fotovoltaik sistemler için eklem kutuları

DIN EN 61194: Şebekeden bağımsız Fotovoltaik sistemler için karakteristik parametreler

DIN EN 61701: PV Modüller için Tuz Buğusu Korozyon Testi

DIN EN (IEC) 61702: Doğrudan bağlantılı PV Pompa Sistemlerinde verimlilik

DIN 61853-1: PV Modüller için Performans testi ve Enerji verimliliği (1) Aydınlanma ve sıcaklık performans ölçümleri ve güç oranları

DIN 61853-2: PV Modüller için Performans Testi ve Enerji verimliliği (2) Spektral tepki, geliş Açısı, ve Modül Çalışma sıcaklığı Ölçümleri

DIN EN 62116: Şebekeye Bağlı Fotovoltaik İnvertörler İçin Adalanma Engelleme Prosedürleri

DIN EN 62509: PV Sistemler için Akü Şarj Kontrol Üniteleri: Performans ve Fonksiyonellik

DIN EN 61173: PV Güç Üretim Sistemleri İçin Aşırı Gerilim Koruması

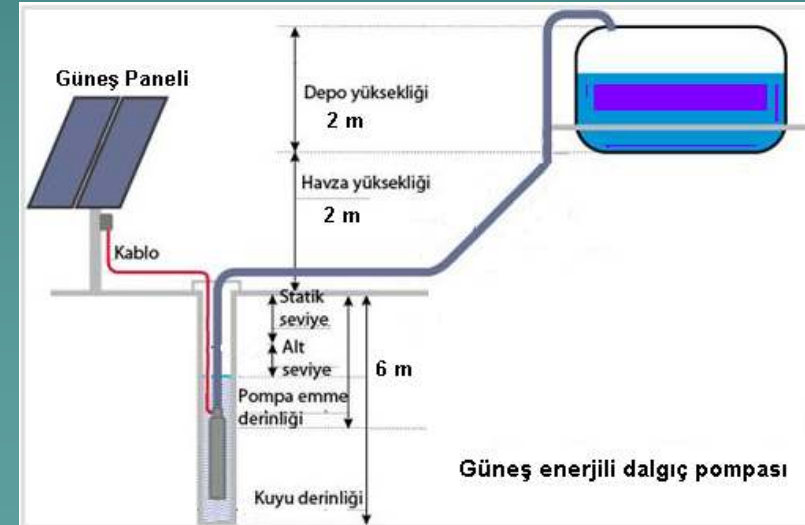
DIN EN 62124: Şebekeden Bağımsız PV Sistemler: Tasarım Onayı

DIN EN 62253: PV Sistemler: Tasarımda Kalite ve Performans ölçümleri

DIN VD 0126-21: Bina Tipi Fotovoltaik sistemler.

Güneş elektriği uygulama alanları

- ◆ - Binalar, siteler, okullar, işletmeler
 - Besi çiftlikleri ve yaylalar
 - Tarımsal sulama alanları
 - Seralar
 - Tohum saklama, çay tütün, üzüm, incir kurutma sistemleri.
- ◆ - Orman güvenliğini izleme ve otomatik müdahale sistemleri
 - Ormanda hayvan popülasyonu izleme ve envanter çıkarma,
 - Süs havuzlarında güvenli uygulamalar.
- ◆ - Tanıtım panoları, sokak-yol ve bina dış cephe ışıklandırmaları,
 - Gezi amaçlı deniz araçları,
 - İletişim ağı (radyo, tv, telefon) iletme ve aktarma sistemleri,
 - Yol boyu SOS sistemleri.



Güneş elektriği uygulama alanları

- Petrol boru hatlarının Katodik koruması,
- Metal yapıların (köprüler, kuleler vb) korozyondan koruması.
- Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde, yapılan Telemetrik ölçümler,
- Hava gözlem istasyonları, deniz fenerleri.
- Bahçe ve sokak aydınlatmaları.
- Dağ evleri ya da yerleşim alanlarından uzak evlerde TV, radyo, buzdolabı gibi elektrikli aygıtların çalıştırılması.
- İlk yardım, alarm ve güvenlik sistemleri,
- Deprem ve hava gözlem istasyonları.

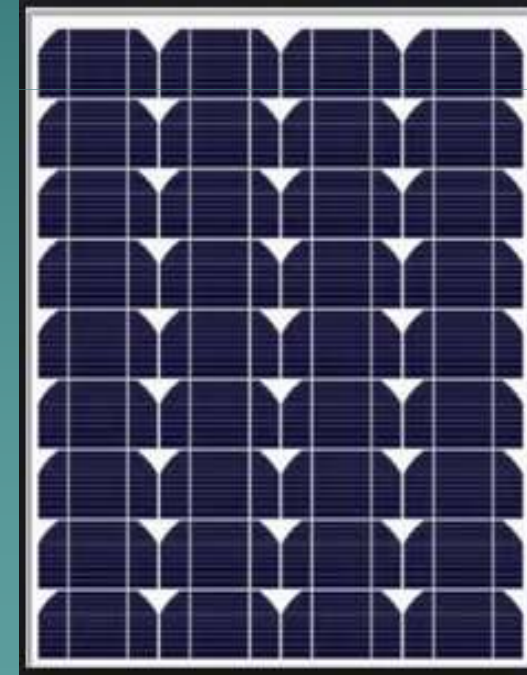


Fotovoltaik sistemler ve bileşenleri

- ◆ Güneş elektriği üreten bir fotovoltaik sistem; güneş panelleri, uygulamaya bağlı olarak akümülatörler, çeviriciler, akü şarj kontrol cihazı, sistem kontrol birimi (SCU) ve çeşitli devre elemanları tarafından oluşur.
- ◆ Fotovoltaik(PV) sistemin, güneş paneli ve DC/AC çevirici olmak üzere iki temel bileşeni vardır. Buna, ada sistemlerde şarj kontrol ünitesi ve batarya eklenirken, şebeke bağlantılı sistemlerde ise sadece MPPT (Maksimum Power Point Tracer) birimi eklenmektedir.
- ◆ PV sistem enerjisinin iletilmesinde ve birimlerinin birleştirilmesinde görev alan kablo, anahtar, röle-kontaktör, sigorta gibi parçalar da, sistemin önemli elemanlarıdır.
- ◆ PV sistem tasarımında yukarıda andığımız sistem elemanlarının seçimini yaparken dikkat edeceğimizi en önemli husus elemanların birbirleriyle olan uyumlarıdır. Bu sağlanmazsa sistem verimsiz çalışır.

Fotovoltaik sistem elemanları-Modüller

- ◆ Fotovoltaik hücreler belli dalga boyundaki güneş ışınlarına karşı duyarlıdırlar. Fotovoltaik sistemlerin en küçük birimidir.
- ◆ Yarıiletken bir diyot gibi çalışan güneş hücresi, güneş ışığının taşıdığı enerjiyi fotoelektrik reaksiyon yoluyla doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür.
- ◆ 100x100,125x125 veya 156x156mm'lik standart boyutlarda ve 0,2-0,4 mm kalınlıkta üretilen hücrelerde oluşan en yüksek gerilim 0,6V'dır. Bu hücrelerin 36-54-60 veya 72 adedi seri bağlanarak modüller oluşturulur.
- ◆ Modüller, 12V yada 24V DC sistemi besleyecek şekilde üretilirler.

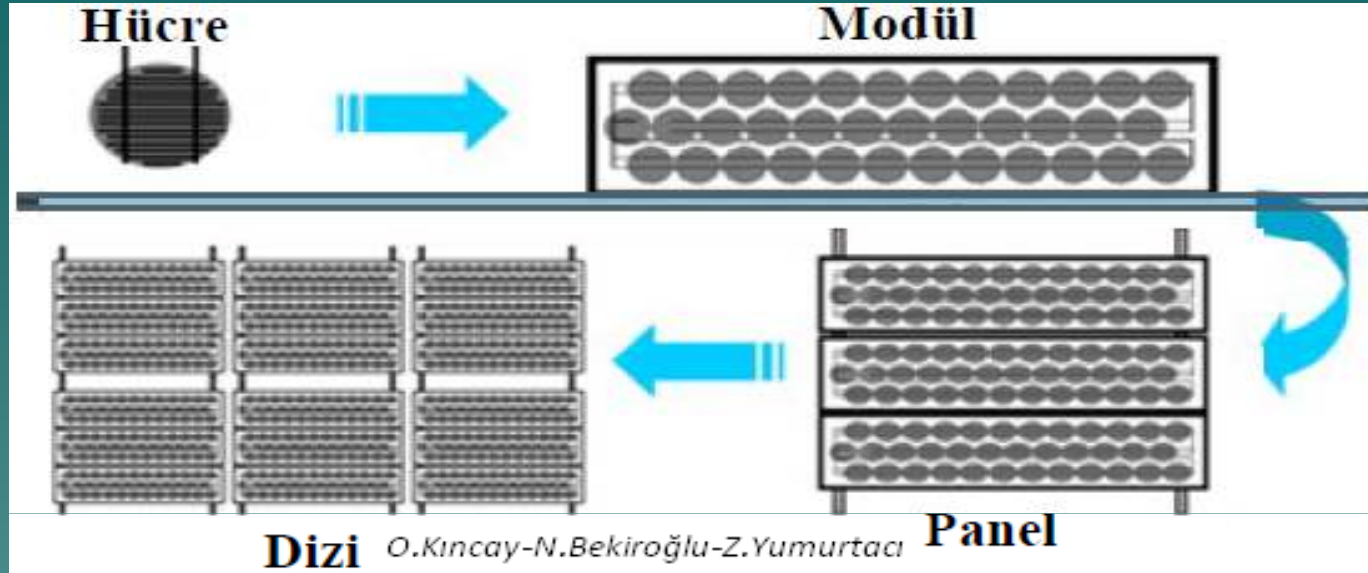


Fotovoltaik sistem elemanları-Paneller

- ◆ Güneş panelleri, belli dalga boyundaki güneş ışınlarını DC elektrik enerjisine çeviren modüllerdir.
- ◆ Standart boyutlarda 100x100,125x125 veya 156x156mm'lik hücre boyutlarında imal edilirler. Hücre kalınlıkları 0,2-04 mm'dir.Üretildikleri voltaj ve güç değerlerine göre 36-54-60 veya 72 seri hücre içerirler.
- ◆ Kristal yapıdaki panellerinde sistem voltajı 12V yada 24V DC sistemi besleyecek şekilde üretilirler.
- ◆ 12V panelde voltaj 17Vmax-22Voc, 24V Sistemlerde ise ortalama 33Vmax - 44Voc'dir. Kurulacak solar sistem voltajı, çeşitli şekillerde ve güneş paneline göre seri/paralel bağlantılarla (12-24-48-200 yada 400V vb.) ayarlanabilirler.



Fotovoltaik sistem elemanları-Diziler



- ◆ Gereksinime uygun bir dizin yapılmak istendiğinde;

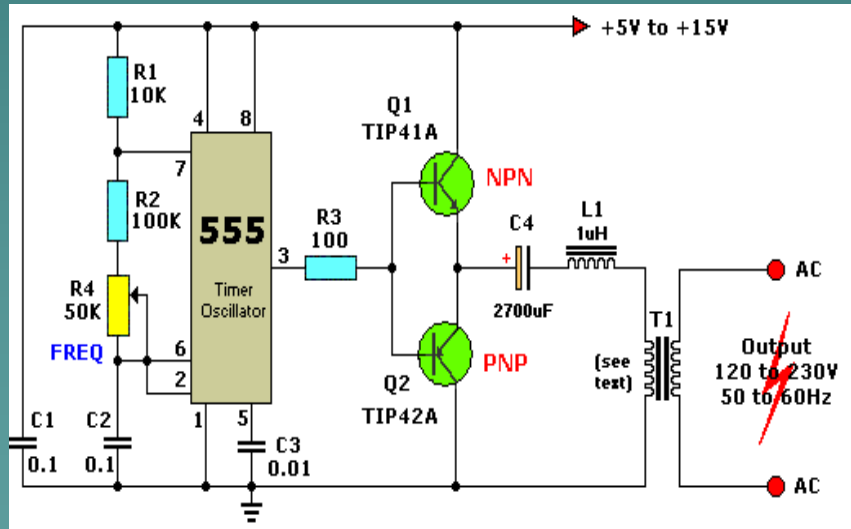
$$P_{\text{panel}} = V_{\text{panel}} \times I_{\text{panel}} = (V_{\text{dizin}}/N_s) \times (I_{\text{dizin}}/N_p) = P_{\text{dizin}}/N_s \times N_p$$

P_{dizin} 'i çekersek ifade, $P_{\text{dizin}} = N_s \times N_p \times P_{\text{panel}}$ olur.

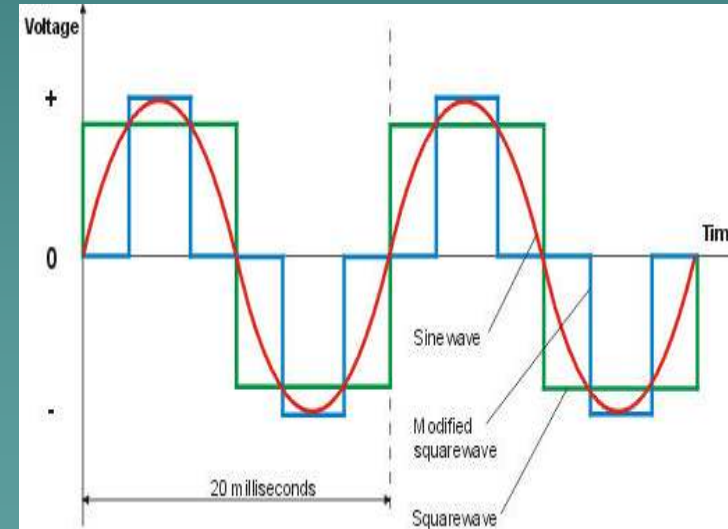
Bu ifade kullanılarak istenilen değer ve konfigürasyonda panel dizinleri tasarımlanabilir.

Fotovoltaik sistem elemanları-Çeviriciler

- ◆ Fotovoltaik sistemin ikinci önemli elemanı çeviriciler, DC gücü AC güce çeviren elektronik cihazlardır.
- ◆ MPPT özelliği olan çeviriciler, uzak haberleşme de yapabilen akıllı cihazlardır.



Şekil 2-15: İnvörtör elektronik devresi



Şekil 2-16: İnvörtör çıkış dalga şekilleri

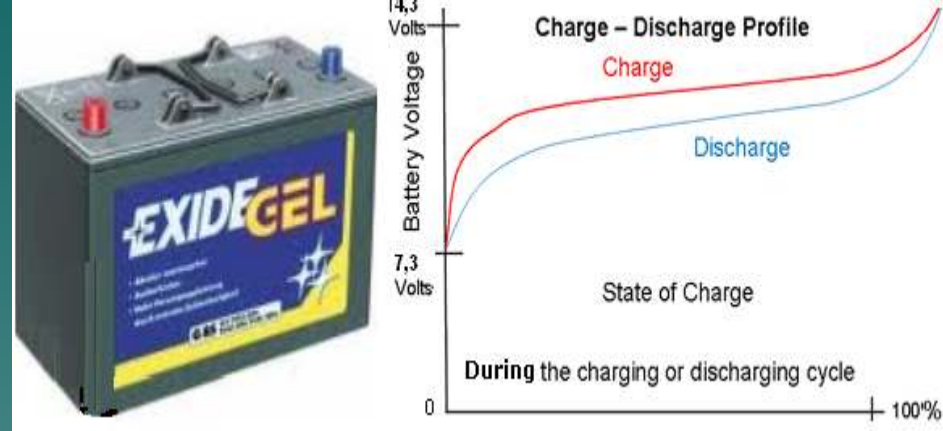
PV sistem-çevirici çeşitleri

- ◆ Çeviriciler, ürettikleri Alternatif Akım dalga-AC şekline göre üç çeşittir.
 - Kare dalga
 - Sinüs benzeşimli(modifie)
 - Tam sinüs dalga
- ◆ Kullanım alanına göre ise iki türü vardır:
 - Şebekeye bağlanabilen çeviriciler
 - Şebekeden bağımsız (off grid) sistemler için kullanılan çeviriciler.



PV sistem-Batarya ve Şarjörler

- ◆ Akümülatörler güneş enerjisinin kullanımını destekleyen elemanlardır.
- ◆ Elektrik enerjisini kimyasal olarak depolarlar. Kuru, sulu ve Jel çeşitleri vardır.
- ◆ Solar Şarj Regülâtörleri, sistem enerjisinin ve yüklerin durumuna göre şarj-deşarj işlemini gerçekleştiren, yöneten, çalışma modunu otomatik seçen akıllı elektronik devrelerdir.
- ◆ Mikroişlemcileri sayesinde güneş paneli, batarya ve yükleri sürekli kontrol ederek en verimli enerji akışını yönlendirirler.



PV sistem-Bağlantı elemanları



- ◆ Paneller zemin veya gövdelere güvenli bir şekilde set edilmeli ve diğer elemanlarla olan elektriksel bağlantıları, belirtilen standartlara uyularak yapılmalı.
- ◆ Şekillerde görüldüğü gibi solar sistem bağlantı elemanları özel olarak tasarlanıp üretilmişlerdir.



II. Ara: 10 dk.

Fotovoltaik sistem uygulamaları

Şebekeden bağımsız (of grid) sistemler

- ◆ Fotovoltaik sistemleri; kullanım şekli olarak şebekeden bağımsız sistemler (off grid) ve şebekeye bağlı sistemler(grid) olmak üzere iki çeşit uygulaması vardır.
- ◆ Elektrik şebekenin olmadığı yerler için en yaygın örnek şekilde gösterilmektedir.
- ◆ Bu tür sistemler şebekenin olduğu yerde kurulsalar ve şebeke destekli çalışsalar da şebekeye enerji verilemediğinden 'şebekeden bağımsız sistem' olarak anılırlar.
- ◆ Bu sistemlere rüzgar, petrol ve biogazla çalışan elektrik jeneratörü eklendiğinde ise melez (Hybrid) sistem olarak adlandırılırlar.

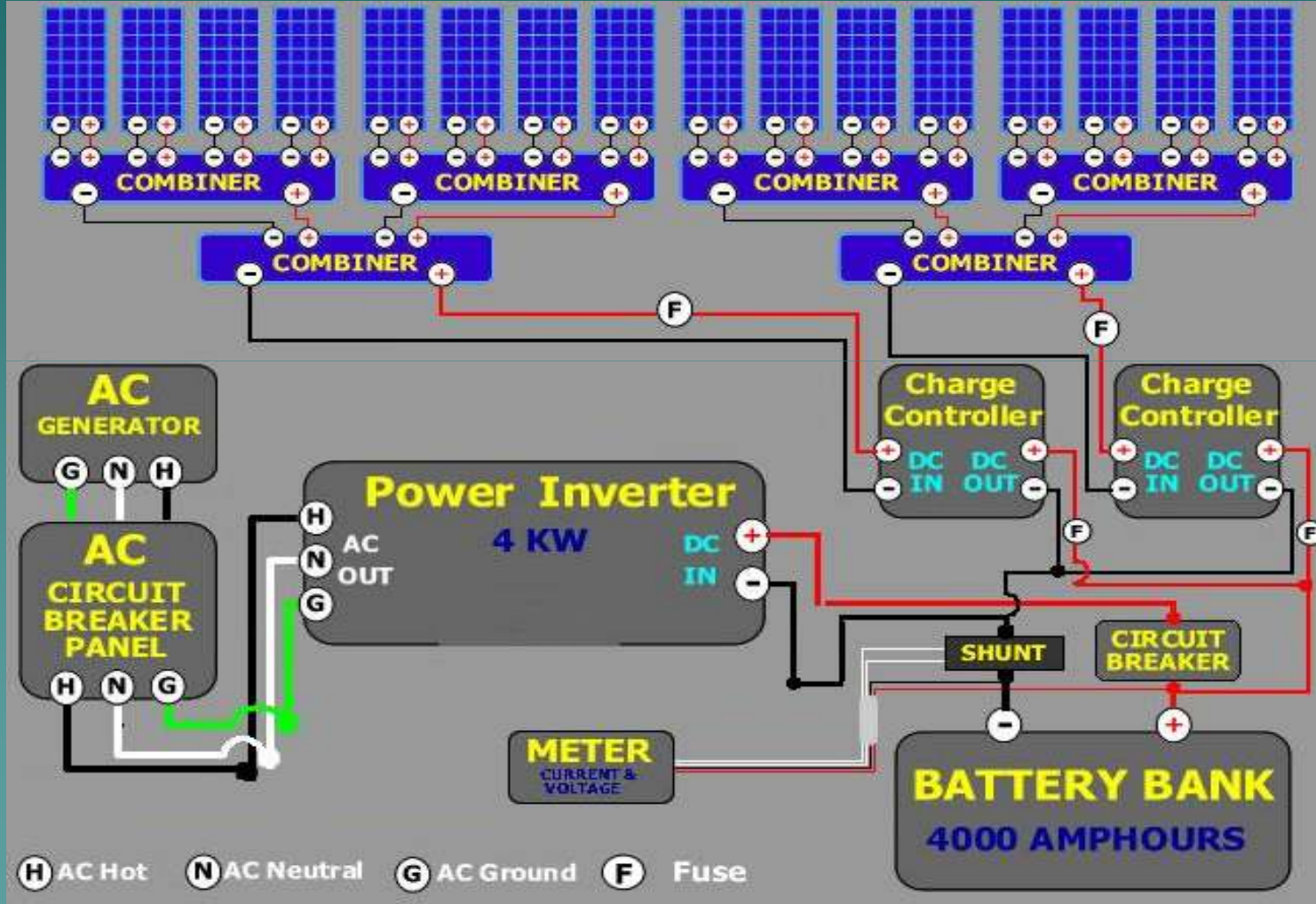


Şekil 3-1: Şebekeden bağımsız fotovoltaik enerji sistemi

Fotovoltaik sistem uygulamaları

Melez (Hybrid) sistemler

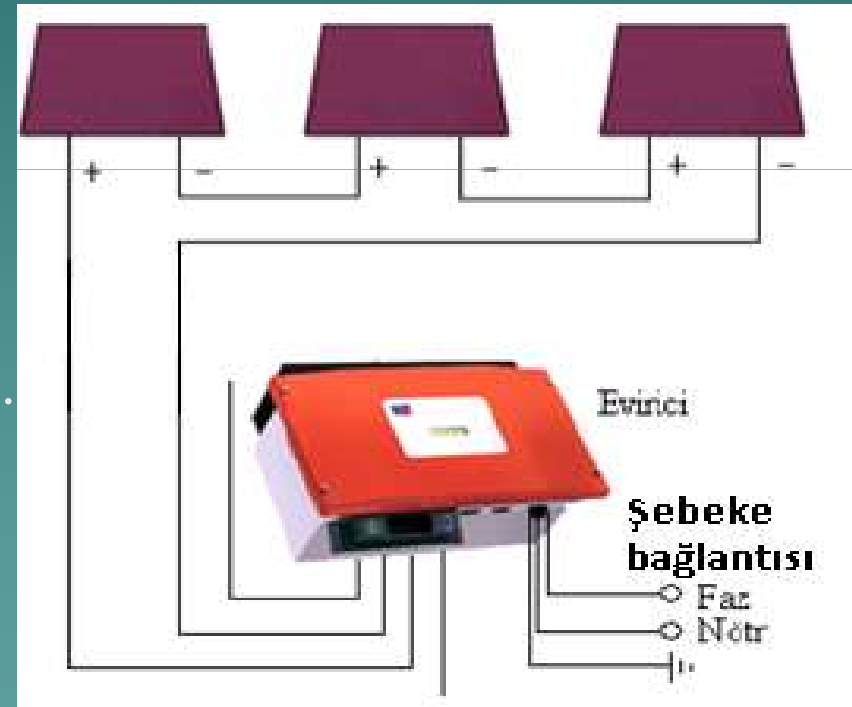
- ◆ Fotovoltaik sistemlere rüzgar veya petrol ve biogazla çalışan elektrik jeneratörü eklendiğinde ise karma (Hybrid) sistem olarak adlandırılırlar.



Fotovoltaik sistem uygulamaları

Şebeke bağlantılı (grid) sistemler

- ◆ Dünyada en popüler fotovoltaik elektrik üretimi uygulamasıdır. Binaların çatılarından ve cephelerindeki PV panellerden elde edilen güç elektrik şebekesine aktarılır. Bu uygulamada fotovoltaik elektrik üretim sistemi adeta bir mini elektrik santrali gibi çalışır. Fotovoltaik panellerden üretilen elektrik ayrı bir sayaç üzerinden ayrı bir tarife ile şebekeye satılır.
- ◆ Şebekeden bağımsız sistemlere göre daha az eleman gerektirse de şebekeyle uyumlu (senkron) ve verimli çalışması için MPPT içeren invertörler kullanılmaktadır.
- ◆ Şebekede harmonik bozulması oluşturmaması için çok seviyeli ve PWM tekniği ile çalışan çeviriciler kullanılmalıdır.

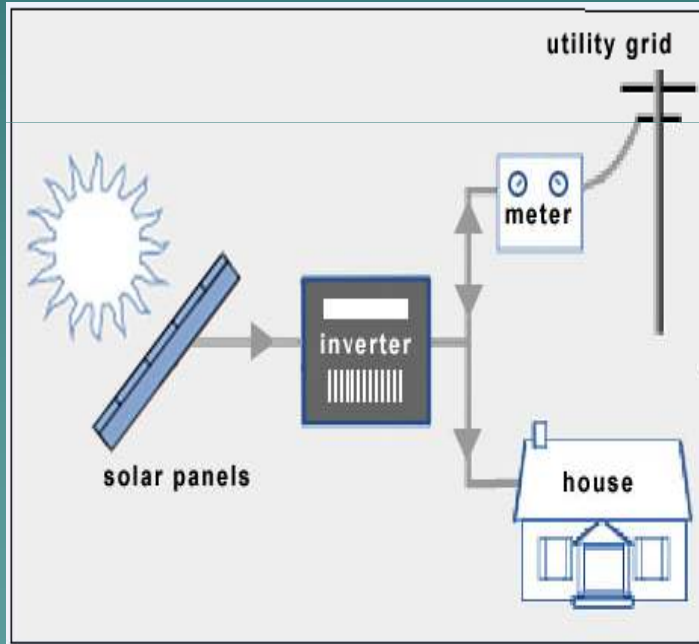


Şekil 3-2: Şebeke bağlantılı fotovoltaik enerji sistemi

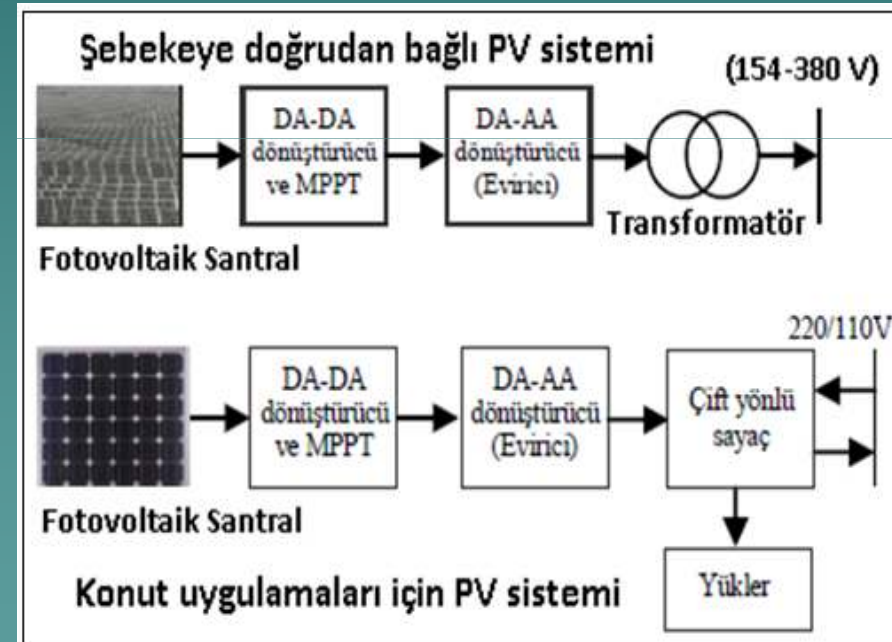
Fotovoltaik sistem uygulamaları

Şebeke bağlantılı (grid) sistemler

- ◆ Şebeke bağlantılı sistemlerin konut tipi olanları, çift saat ya da yönlü sayaç şebekeye bağlanırken, büyük ölçekli sistemlerin bağlantıları ise transformatörlerle orta ve yüksek gerilim hatlarına bağlanırlar.
- ◆ Üretimle tüketim aynı yerde ise çift yönlü sayaç, farklı yerlerde ise çift sayaç kullanılmaktadır.



Şekil 3-3: Çift yönlü saat



Şekil 3-4: Şebeke bağlantılı sistemler diyagramı

Fotovoltaik sistem uygulamaları

- ◆ Parçalı (bağımsız) yapılarda Küçük Güneş Elektrik Santralleri-KGES kurmak daha avantajlıdır. Elektrik tüketildiği yerde üretildiğinden enerji iletim kayıpları çok azdır. Sıcak yaz güneşinde kullanılan klima aletlerinin açtığı tepe güç talebi de yine güneş enerjisi tarafından yerinde karşılanır.
- ◆ Şebeke bağlantılı güneş enerjisi sistemlerinin dünya pazarının %85'i oranında yaygınlaşmasının temel nedeni bazı gelişmiş ülkelerde uygulanan yüksek fiyatlı güneş elektriği satın alma tarifeleri ve satın alma garanti ve teşvikleridir.



Fotovoltaik sistem-bireysel uygulama

Küçük ölçekli güneş santralleri (KGES)

- ◆ Alternatif enerji kaynaklarının kullanımı bilgi ve finans gerektirmekle birlikte aslında en önemlisi bilinç gerektirmektedir.

Gürültüsüyle, zehirli atıklarıyla çevreyi rahatsız eden, kirleten enerji tüketim canavarlarına büyük paralar ödeyenin, enerji üreten teknoloji harikası için "pahalı" demesi bilinç eksikliğidir.

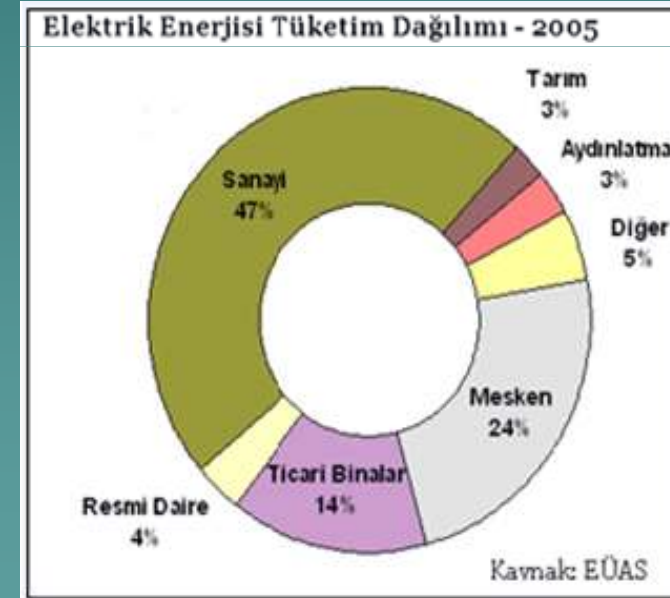
- ◆ Yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretimini kim yaparsa yapsın desteklenmeli, teknolojisinin tanıtımı reklam kapsamından çıkarılarak serbestleştirilmeli, dolayısıyla kullanımı yaygınlaştırılmalıdır.
- ◆ Küçük ölçekli evsel kullanım yaygınlaşmazsa, elektriğin küçük aboneleri, bu kez büyük ölçekli sistemleri kuran 'girişimci' sermayenin faturalı müşterisi olmaktan kurtulamazlar.

Fotovoltaik sistem-bireysel uygulama

Kendi elektriğini kendin üret



- ◆ Güneş enerjisinin önemli bir üstünlüğü de bireysel-evsel olarak uygulanabilir olmasıdır. Konutlarda ve küçük işletmelerdeki elektrik tüketiminin, toplam tüketimin yarısından fazla olduğu gerçeğinden hareketle de KGES uygulamaları teşviklerle, kampanyalarla daha çok desteklenmeyi beklemektedir.



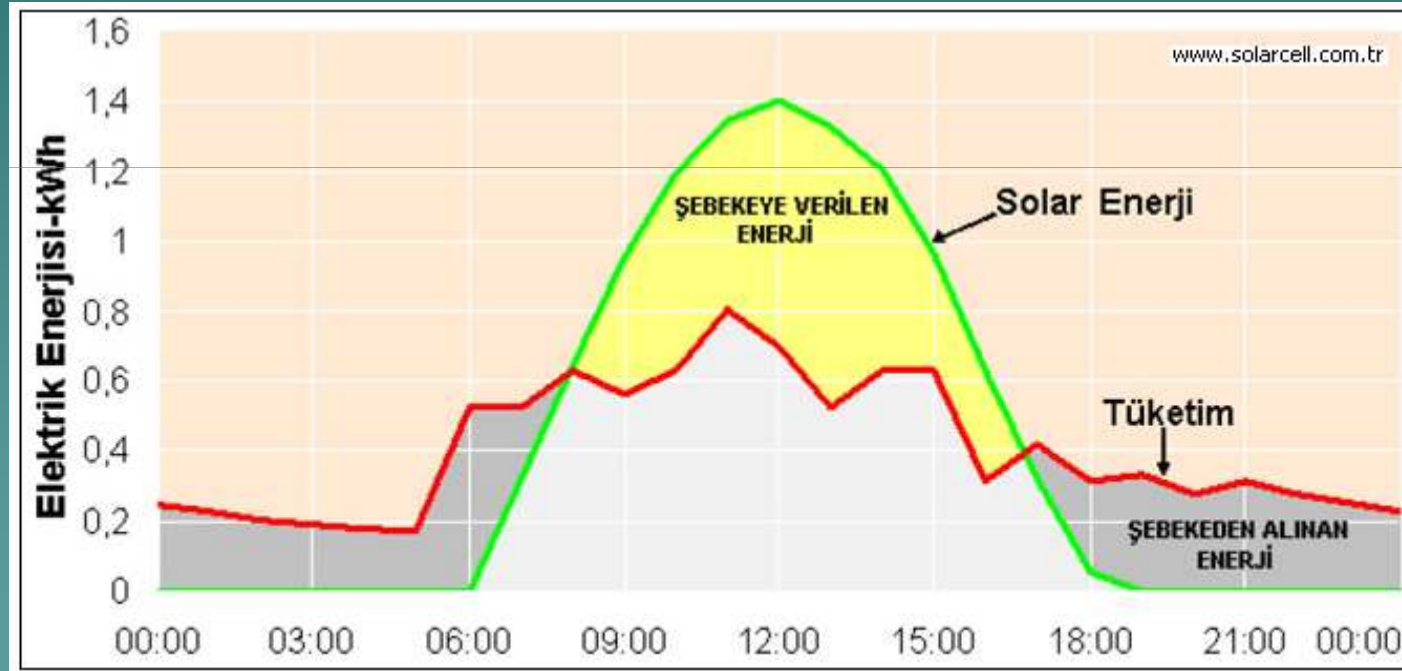
Fotovoltaik örnek sistem

Konut tipi güneş santrali teknik çözümlene ve hesapları

- ◆ Kuracağımız PV sistem, bir konutun yıllık tüm elektrik enerjisi gereksinimini sağlayacak nitelikte olsun.
- ◆ Ocak ve Temmuz ayı elektrik fatura değerlerini toplayıp 6 ile çarparak yıllık elektrik tüketimini hesaplayabiliriz: Ocak ayı elektrik tüketimi 240 kWh, Temmuz ayı tüketim de 160 kWh olursa toplam miktar 2400 kWh/yıl bulunur.
- ◆ Bu durumda, çatı tipi (sabit konumlu) olarak planladığımız PV santralimizin yıllık getirisi en az 2400 kWh olmalıdır.
- ◆ Bulduğumuz bölge 38.-39. Enlem derecelerinde ise, güneşlenme süresini Türkiye ortalama güneşlenme süresi olan 7,2 saat/yıl'ı alabiliriz.
- ◆ Sabit güneşlenmelerde sistem verimi %55-65 arası olabilmektedir. %60 değerini kullanarak , ifademiz;
$$2400 = Wp(\text{sistem}) \times 0,6 \times 7,2 \times 365$$
 yazılırsa,
$$Wp(\text{sistem}) = 2400 / 1577 = 1,52 \text{ KW (1542 Watt) olarak hesaplanır.}$$
- ◆ Wat başı maliyet 6-7 TL olursa, bu iş için ayrılacak para 9-10 bin TL'yi bulur. 1000 TL/yıl toplam fatura değeri için geri kazanım süresi 9-10 sene kadardır.

Fotovoltaik sistemde enerji bütçesi

- ◆ Aşağıdaki diyagramda, çift yönlü bir sayaçla şebekeye bağlı fotovoltaik bir elektrik santralinin bulunduğu elektrik kullanım bölgesindeki Tüketim/Üretim görünümü ifade edilmektedir.
- ◆ Güneşli saatlerde üretilen fazla enerji şebekeye, bir bakıma ödünç olarak verilirken, güneşsiz saatlerde de geri alınarak harcanmaktadır.



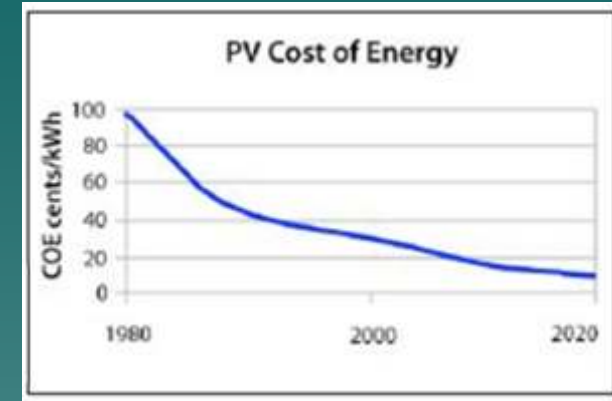
Şekil 3-5: Konut tipi şebeke bağlantılı sistemde enerji bütçesi

Dünya güneş pili pazarı

www.ewp.rpi.edu/

Cell material	Module manufacturing cost (US\$/W _p)				
	1 MW _p	10 MW _p	60 MW _p	100 MW _p	500 MW _p
Single-crystal Si	4.7	2.2		1.4	1.0
Polycrystalline Si	4.7	1.9		1.2	
Thin-film materials	3.3	1.8	1.0	0.6	

Tablo 3-1: Maliyetin üretim miktarlarına göre değişimi



Şekil 3-6: PV fiyat eğrisi

- ◆ Fotovoltaik sektörü son yıllarda dünyanın dinamik sektörleri arasında yer almış bulunmaktadır. Destek ve teşvik politikalarıyla bu pazarda ciddi oranlarda artışlar olmuştur.
- ◆ Yıllık %40 artışlarla küresel pazardaki değeri 27,4 Giga Wat'a kadar büyümüştür. Ayrıca şekil 4-29'da görüldüğü gibi PV fiyatlarının giderek ucuzladığı ve ucuzlamaya devam edeceği de görülmektedir. 2012 yılı itibarıyla dünyada gerçekleşmiş olan toplam PV kurulu gücü 55 GW'dir.

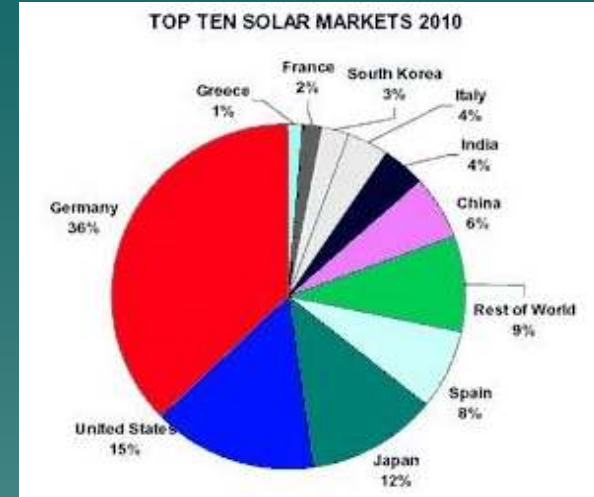
Dünya güneş pili pazarı

Solar hücre üretici ülkeler

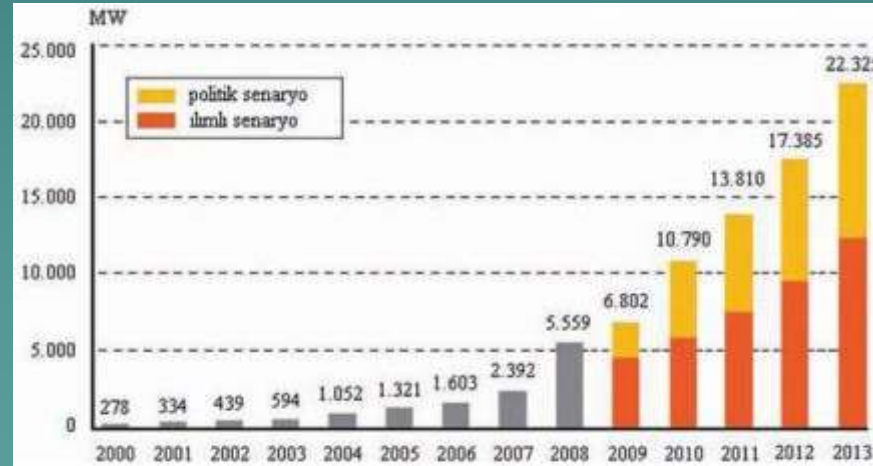
- ◆ Hükümet politikaları sayesinde güneş enerjisi alanına en büyük yatırımı yapan ve bu alanda en geniş toplu üretimi gerçekleştiren ülke Almanya'dır.
- ◆ Dünya üzerinde sınırlı sayıda solar hücre üreticisi vardır. Buların da çoğu sadece hücreleri birleştirip güneş modülü oluşturmakla yetiniyorlar.

Solar hücre üreticisi firmalar.

- Sharp %28
- Sanyo %8
- Q-Cells %11
- Kyocera
- Mitsubishi %7
- BP Solar %5
- RWE Schott Solar %6



Şekil 3-7: PV solar hücre üretici ülkeler



Şekil 3-8: PV pazarın büyüme oranı ve tahminler[*]

[*] European Photovoltaic Industry Association, "Global Market Outlook for Photovoltaics until 2013

Fotovoltaik güç santralleri

Güç kapasitelerine göre güneş santralleri

- ◆ **1000 KW ve altı Lisans gerektirmeyen santraller:** Fabrikalar, alışveriş merkezleri, üniversiteler, köyler bu kapasitedeki santralleri lisanssız olarak kurabiliyor. Yatırımcı, ihtiyaç fazlası enerjiyi sisteme satarak gelir elde edebiliyor.
- ◆ **1000 KW'dan büyük Lisanslı GES'ler:** Yatırım amaçlı, yani ürettiği elektriği yasada belirlenmiş olan değerden satarak gelir elde edilmesi amaçlanan büyük ölçekli santrallerdir. Bu tür santrallerin projeleri tüm ayrıntılar ele alınarak yapılır. Kurulacak yerin koordinatları, coğrafik-topografik özellikleri, 6 aylık radyasyon ve atmosfer ölçüm değerleri, iklim verileri göz önüne alınarak hesaplanırlar.
- ◆ Bu tür Lisans gerektiren santrallerin proje maliyetleri çok yüksek olacağından seçimin en az 5 MW kadar büyüklükte olması önerilir.

Fotovoltaik güç santralleri

Uygulama alanlarına göre güneş santralleri

- ◆ **Çatı tipi Santraller:** Montajı çatının eğimine, yönüne bağlı olarak ve sabit konumda yapıldığından getirisi düşüktür. Bu sistemlerde panelleri temiz tutmanın ötesinde verim artırıcı har hangi bir işlem yapılamaz.
- ◆ **Bahçe, garaj gibi yerlere kurulan santraller:** Paneller hareketli düzenekler üzerine yerleştirilmişlerse elle ya da otomatik yönlendirmelerle daha verimli enerji sağlanabilir.
- ◆ **Geniş alan santralleri:** Tarla, mera, yayla gibi geniş alanlara kurulan büyük boy santrallerdir. Yatırımdan mümkün olan en yüksek verimi elde edebilmek için, sistemin mimarisinden kullanılacak malzemeye ve en önemlisi güneşin yıllık bazda en etkin olduğu yerlerin tespitine kadar olan ayrıntıların önceden ince hesaplarla yer aldığı projelerdir.

Fotovoltaik güç santralleri

Verim artırıcı güneş izleme sistemleri

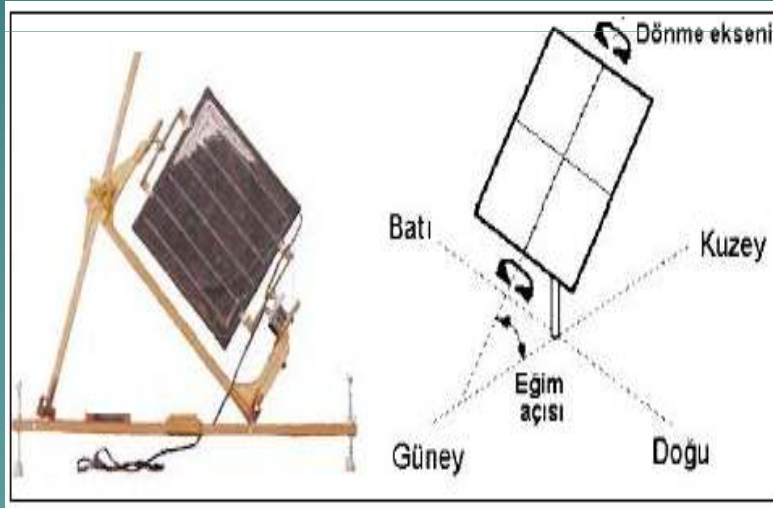
- ◆ Güneş ışınlarının gün boyunca değişen güneş geliş açısına ve yıl boyunca değişen Deklinasyon açısına göre hareket eden sistemler kullanılarak güneş enerjisinden daha fazla yararlanılabilmektedir.
- ◆ PV hücrelerde maksimum verim, güneş ışınlarının panel yüzeyine dik olduğu zamanlarda sağlandığından, bu durumu sürekli koruyacak güneş izleyici sistemleri kullanılmaktadır.
- ◆ Kış mevsiminde bu izleyiciler önemli ölçüde fayda sağlarlar. Resim'de 'güneş ağacı' şeklinde görülen paneller güneşi tek aks veya çift aks izleyen güneş izleyici sistemlerdir.



Fotovoltaik güç santralleri

Verim artırıcı güneş izleme sistemleri

- ◆ PV sistemlerde güneş, resimlerde görüldüğü gibi iki eksenle (iki motorla) izlenebildiği gibi, Şekil 3-1'deki gibi tek eksenle de izlenebilmektedir.
- ◆ Tek eksenli izleme, Deklinasyon açısının sabit, sadece geliş açısının izlendiği durum iken; iki eksenli izleme ise, güneşin hem Deklinasyon açısının hem geliş açısının izlendiği durumdur.



Şekil 3-9-: Basit güneş izleme düzeneği

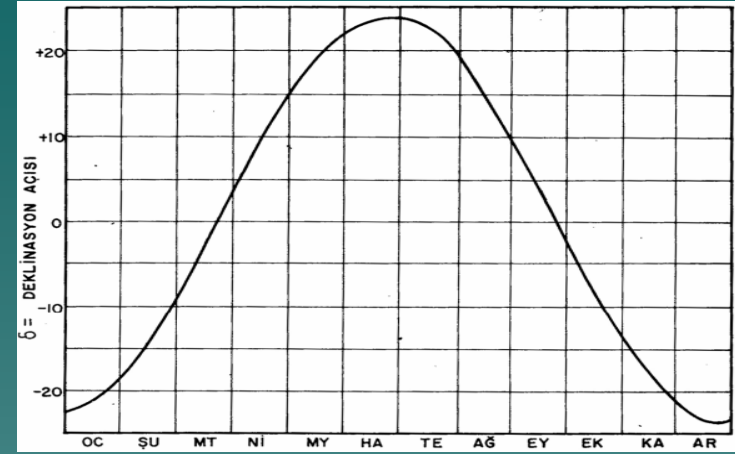


Resim: Köy hizmetleri mobil sulama sistemi

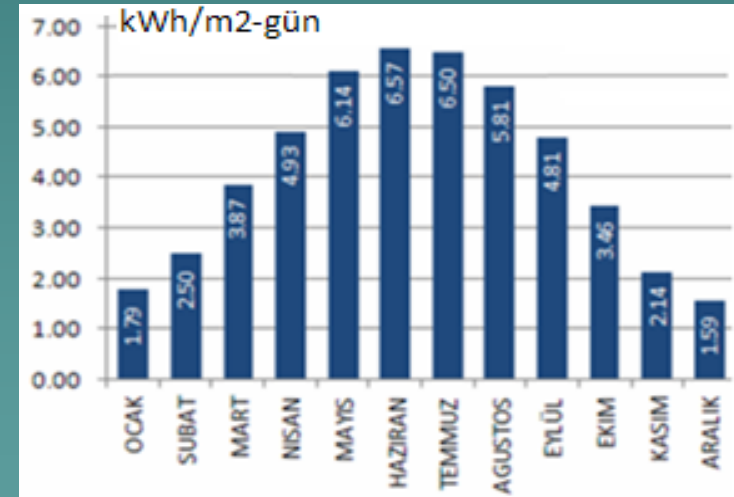
Fotovoltaik güç santralleri

Panel konumlandırma

- ◆ Güneş panelleri, izleme sistemiyle güneşi yıl boyunca takip etseler bile Şekil 3-3'deki deklinasyon açısı değişimi nedeniyle sabit enerji getirisi oluşmaz.
- ◆ Ancak güneş izleme sistemleri ek enerji harcaması, bozulma riski taşıması ve maliyeti artırması nedeniyle de genellikle sabit açılı panel sistemleri tercih ediliyor. Panel sistemi nominal bir açıyla optimum kazanç sağlayacak şekilde ayarlanır[Şekil 3-5]
- ◆ Senelik enerji hasılatının kış aylarında azalmasını etkileyen parametreler, kış koşullarındaki bulutlanmalar, yağışlı havalara ve en önemlisi günlerin kısalığıdır[Şekil 3-4]



Şekil 3-10: Deklinasyon açısının mevsimsel değişimi

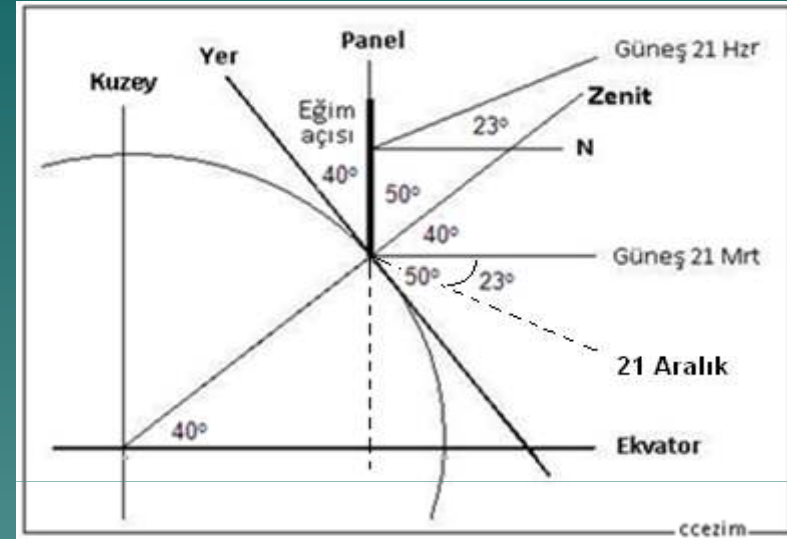


Şekil 3-11: Ortalama günlük enerji hasılatı

Fotovoltaik güç santralleri

Panel konumlandırma (Teorik eğim açısı)

- ◆ Güneş panelleri her iki ekseninde de sabit olursa, taşıyıcı ayaklarının eğim açıları Şekil 3-2'den yararlanarak saptanabilir.
- ◆ Önce Kuzey-Güney doğrultusu pusula ile tespit edilir, sonra bölgenin 21 Mart veya 23 Eylül gün ortası saati saptanır.



Şekil 3-12: Sabit paneller için nominal açı hesabı[*]

- ◆ Önce Güneş ışınlarının panel düzlemine dik açıyla geldiği bu tarih ve saatteki panel-yer düzlemi açısı aradığımız 'nominal eğim açısı'dır. Şekildeki eğim açısı 40 derecedir ve bu aynı zamanda o noktanın Enlem derecesidir.

Soru: Panel düzeneklerimiz Kuzey-Güney doğrultusunda hareketli olsaydı 21 Haziranda kaç dereceye ayarlardık ?

Zenit açısı: Yatay düzlemin Normali ile güneş ışınları arasında oluşan açı.

Fotovoltaik güç santralleri

Panel konumlandırma (Nominal eğim açısı)

- ◆ Eğer tüm zamanlarda gündüz saati aynı olsaydı bir önceki yaklaşımdaki 40 derecelik eğim açısı nominal enerji sağlayabilirdi. Fakat bu eğimdeki bir panel yaz aylarında erken gölgeleneceğinden toplana enerji eksik olur.
- ◆ Yaz aylarındaki güneş kavis açısının büyük, dolayısıyla güneşli saatlerin daha uzun olması nedeniyle, geliş açısını pratik bir yöntemle yeniden hesaplamak gerekmektedir.



Haziran 21 açısını Nokta Enlem açısından çıkarınca bulunan değer yarısını Nokta Enlem açısından yeniden çıkardığımızda bulunan değer o noktanın Nominal Geliş Açısı(NGA) olur(*).

Yukarıdaki örnek için nominal eğim açısı;

$$NGA = 40 - (40 - 17) / 2 = 28,5 \text{ derece bulunur[c.c.]}$$



(*) Büyük ölçekli sistemler için bu açı 6 aylık ölçümler sonucunda saptanır.

Tasarım ve projelendirme

Proje yaparken göz önünde bulundurulacaklar

- Sistemin kurulacağı bölge-şehir.
- Sistem tipi (bağımsız, karma, doğrudan şebeke)
- Çalıştırılmak istenen elektrikli aletlerin adları ve güç tüketim değerleri (konut tipi için)
- Enerji tüketecek cihazların günlük kullanım süreleri
- Şebekeden bağımsız sistemler için, güneşsiz gün sayısı (batarya tasarımı için)
- Kullanılacak PV teknolojisi (Mono/Polikristal, ince film)
- Panellerin kurulacağı yer (çatı, bahçe, arazi vb.) bilgisi.
- Şebeke bağlantılı sistemlerde enerji kalitesi açısından sorun (uyumsuzluk) yaşanmaması için invertör tasarımı veya seçimi önemlidir.

Tasarım ve projelendirme

PV sistem tasarımında dikkat edilecek hususlar

- ◆ Bu tür sistemlerin gücünü genellikle gereksinim değil, PV panellerin kurulabileceği alan büyüklüğü ve/veya bu sistemin kurulması için ayrılmış bütçe belirler. Üretilen elektrik 'teşvik' fiyatıyla satılacağı için mümkün mertebe büyük bir sistem kurulmaya çalışılır.
- ◆ Farklı teknoloji ürünü fotovoltaiklerin verimleri, sıcaklık etkisinin neden olduğu kayıplar ve düşük ışınım şartlarındaki verimleri farklı olduğundan tüm parametrelerin tasarımda değerlendirilmesi gereklidir.
- ◆ Sistemin montaj yerinin ve buna uygun montaj konstrüksiyonunun seçilmesi (Çatı montajı, sabit açılı açık alan montajı, cephe montajı, güneş izleme sistemi kullanımı vb.)
- ◆ Evirici parametrelerinin belirlenmesi ve seçimi
- ◆ Paralel PV dizi gruplarının sayısının belirlenmesi
- ◆ Kablolama ve bağlantı konseptiyle birlikte tek hat şemasının çıkarılması.

Tasarım ve projelendirme

Sistem tasarımında malzeme seçme kriterleri

- Ürünün uluslararası bir sertifikası var mı?
- Verilen garantilerin süresi yeterli mi?
- Ürün teknik özellikleri katalogda yeterince yer almış mı?
(Avrupa Standartlarından EN 50380, bir PV modülün Teknik Özellikler sayfasında neler olması gerektiğini anlatır.)
- Enerji İmalatçı ve sağlayıcı firmanın piyasadaki konumu nedir? Örneğin ne kadar zamandır bu işi yapıyor? PV modüllerin temini kolayca sağlanabiliyor mu?
- Kullanılacak ürün (PV modül veya invertör) kuracağımız sistem için uygun mu? Örneğin sistem şebekeye doğrudan mı bağlanacak veya şebeke destekli mi olacak? Yoksa akü gruplarının kullanıldığı şebekeden bağımsız bir sistem mi kurulacak?

Tasarımda Katalog verileri

Modül teknik özellikleri-I

Güneş Pili Sayısı:	48 - Seri				
Sıcaklık Parametreleri	Güç	[%/K]	-0,46		
	Akım	[mA/K]	+4,40		
	Voltaj	[mV/K]	-103,2		
Modül Tipi					
		ASP165	ASP170	ASP175	ASP180
Ortalama Güç (Wp)	[W]	165	170	175	180
Açık Devre Voltajı (Voc)	[V]	28,6	28,8	29,0	29,2
Maks. Güç Voltajı (Vm)	[V]	23,3	23,5	23,8	24,0
Kısa Devre Akımı (Isc)	[A]	8,69	8,81	7,94	8,06
Maks. Güç Akımı (Im)	[A]	7,10	7,22	7,35	7,48
Güneş Pili Verimi	[%]	14,2	14,6	15,0	15,4
Modül Verimi	[%]	12,3	12,7	13,0	13,4
Maksimum Sistem Voltajı (Vsys)	[V]	1000	1000	1000	1000
By-Pass Diyot Sayısı (Diotec 80 Sq05)		3	3	3	3
Mekanik özellikler					
Boyutları		Uzunluk	Genişlik	Derinlik	
Modül (± 2 mm)	[mm]	1351	993	41	
Bağlantı Kutusu (± 2 mm)	[mm]	141	101	28	
Modül Ağırlığı (kg ± %3)	[kg]	19			
Bileşenleri					
6" Güneş Pili - Made in Germany	Q-Cells Q6LTT-156X156 mm, Polikristal				
Cam	4 mm Temperli Solar Cam (ESG) Düşük Demirli				
Pil Kapsülü	Etimex-Vistasolar 486				
Kasa	Ekstra Serleştirilmiş Anotlu Alüminyum Profil				
Bağlantı Kutusu	Spelsberg-PV1410				
Kablolar ve Bağlantılar	Multi-Contact Flex-Sol 4mm ² , 100 cm; PV-KBT, PV-KST				

Tablo 3-2: Polikristal bir fotovoltaik modülün teknik özellikleri

Tasarımda katalog verileri

Modül teknik özellikleri-II

Tipik - Elektriksel Veriler				
Güç	Pn	205 Wp	200 Wp	195 Wp
Güç Toleransı	%		+3%, -0%	
Panel Verimi	%	13.71%	13.38%	13.04%
Maksimum Güçteki Voltaj	Vmpp	27.07	26.91	26.75
Maksimum Güçteki Akım	Impp	7.57	7.43	7.29
Açık Devre Gerilimi	Voc	32.53	32.37	31.95
Kısa Devre Akımı	Isc	8.26	8.21	8.17
Mekanik Özellikler				
Boyutlar (Uzunluk * Genişlik * Kalınlık)	mm	1.507 * 992 * 33		
Ağırlık	kg	15		
Hücre Miktarı	Adet	54		
Cam Kalınlığı	mm	3.20		
Ön Cam	Şeffaf, mukavemetli emniyet camı			
Hücre Yapısı	Si Polikristal 156 mm * 156 mm (6 inç)			
Hücre Kaplama Maddesi	EVA (etil vinil asetat)			
Arka Sırt Folyosu	Isovolta +AAA			
Çerçeve	Anodize alüminyum çerçeve			
İzin Verilen Çalışma Koşulları				
Isı Aralığı	-40°C; +85°C			
Maksimum Sistem Voltajı	1.000 V			
Azami Yüzey Yükleme Kapasitesi	IEC 61215 (Gelişmiş Test) normunda 5.400 Pa'ya kadar test edildi			
Doluya Karşı Mukavemeti	86 km/h çarpma hızında max. 28 mm çapındaki doluya mukavim			
Garanti ve Sertifikalar				
Ürün Garantisi	5 YIL			
Performans Garantisi	İlk 10 yıl %90, toplamda 25 yıl %80 çıkış gücü garantisi			

Değerler STC koşulları olan 1.000 W/m²; AM 1,5 ve 25°C hücre ısındadır.

Tasarımda katalog verileri

Modül teknik özellikleri-III

Kod No	Güç(Wp)	Matriks	Boyut(mm)	Hücre Boyutu	Isc	Voc	Imp	Vmp
TRM-1805	180W/36V	72(6x12)	1580x808x35	125x125mm	5.22	44.6	4.79	37.6
TRM-1705	170W/36V	72(6x12)	1580x808x35	125x125mm	5.09	44.1	4.66	36.5
TRM-1605	160W/36V	72(6x12)	1580x808x35	125x125mm	4.91	43.8	4.55	35.3
TRM-1505	150W/36V	72(6x12)	1580x808x35	125x125mm	4.87	43.2	4.36	34.4
TRM-1405	140W/36V	72(6x12)	1580x808x35	125x125mm	4.45	43.10	4.05	34.5
TRM-1305	130W/30V	54(6x9)	1200x808x35	125x125mm	5.21	32.60	4.74	27.4
TRM-1205	120W/30V	54(6x9)	1200x808x35	125x125mm	4.90	32.94	4.54	26.49
TRM-1105	110W/24V	48(6x8)	1080x808x35	125x125mm	5.18	29.2	4.76	23.1
TRM-1005	100W/24V	48(6x8)	1080x808x35	125x125mm	4.89	29.1	4.48	22.3
TRM-0905	90W/18V	36(4x9)	1200x540x35	125x125mm	4.93	21.9	4.49	18.8
TRM-0805	80W/18V	36(4x9)	1200x540x35	125x125mm	4.92	21.9	4.49	17.8
TRM-0705	60W/24V	48(4x12)	810x540x25	62.5x125mm	2.6	29.3	4.52	23.8
TRM-0505	50W/24V	48(4x12)	810x540x25	62.5x125mm	2.91	29.1	2.21	22.6
TRM-0515	50W/12V	24(4x6)	810x540x25	125x125mm	4.95	14.5	4.42	11.8
TRM-0405	40W/18V	36(4x9)	620x540x25	62.5x125mm	2.85	21.9	2.25	17.8
TRM-0105	10W/18V	36(4x9)	330x280x25	31.25x62.5mm	0.64	21.9	0.56	17.8

Tablo 3-4: Monokristal modül tipleri ve teknik özellikleri

Tasarımda katalog verileri

Modül teknik özellikleri-IV

Kod No	Güç(Wp)	Matriks	Boyut(mm)	Hücre Boyutu	Isc	Voc	Imp	Vmp
TRP-250B	250W/30V	60(6x10)	1640x990x35	156x156mm	8.98	36.6	8.14	30.7
TRP-200B	200W/30V	60(6x10)	1640x990x35	156x156mm	7.54	33.4	6.66	29.7
TRP-180B	180W/30V	54(6x9)	1480x990x35	156x156mm	7.54	33.4	6.66	28.2
TRP-170B	170W/30V	54(6x9)	1480x990x35	156x156mm	6.75	33.1	6.11	27.8
TRP-160B	160W/30V	54(6x9)	1480x990x35	156x156mm	6.54	32.8	5.84	27.4
TRP-150B	150W/30V	54(6x9)	1480x990x35	156x156mm	6.13	30.75	5.51	27.2
TRP-140B	140W/30V	54(6x9)	1480x990x35	156x156mm	5.72	28.7	5.24	26.7
TRP-130B	130W/18V	36(4x9)	1480x680x35	156x156mm	5.34	21.6	7.42	17.1
TRP-120B	120W/18V	36(4x9)	1480x680x35	156x156mm	4.92	19.9	7.55	17.2
TRP-100B	100W/18V	36(4x9)	980x680x35	156/104mm	5.12	21.3	4.57	17.5
TRP-080B	80W/18V	36(4x9)	980x680x35	156/104mm	5.12	21.3	4.57	17.5
TRP-060B	60W/18V	36(4x9)	770x670x25	156x78mm	3.89	21.5	3.43	17.5
TRP-040B	40W/18V	36(6x6)	520x510x25	78x78mm	2.56	21.1	2.33	17.1
TRP-020B	20W/12V	24(4x6)	330x280x25	39x78mm	1.02	14.5	0.85	11.7

Tablo 3-5: Polikristal modül tipleri ve teknik özellikleri

Tasarımda katalog verileri

Modül teknik özellikleri-V



ANOTLANMIŞ GÖVDE



5400 Pa/550 kg' da
MEKANİK YÜK TESTİ



10 YIL İÇİN % 90 VERİM GARANTİSİ
25 YIL İÇİN % 80 VERİM GARANTİSİ
5 YIL SÜRESİNCE MALZEME GARANTİSİ

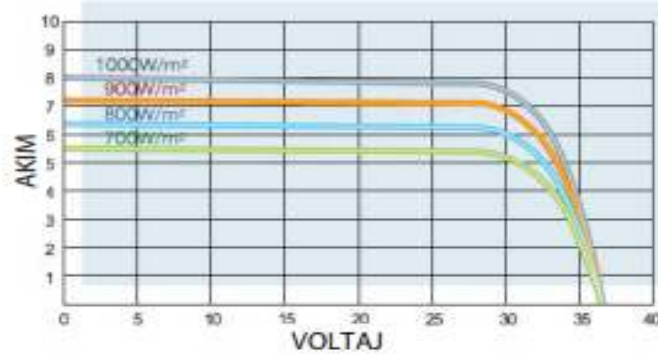
⊖ HÜCRE BİLGİSİ

Hücre Tipi:	Multi
Boyutları:	156x156mm
Hücre sayısı:	60

⊖ ELEKTRİKSEL DEĞERLER

SE-M225	
Maksimum Güç (Wp)	225 W
Maksimum Güç Voltajı (V mpp)	30.2 V
Maksimum Güç Akımı (I mpp)	7.44 A
Açık Devre Voltajı (Voc)	36.6 V
Kısa Devre Akımı (Isc)	8.06 A
Modül Verimi (ηm)	14.0 %
Güç Toleransı (%)	+/-3%

⊖ AKIM - VOLTAJ EĞRİLERİ



Şekil 3-13: **Polikristal** bir fotovoltaik modülün teknik özellikleri

Tasarımda katalog verileri

İnvertör teknik özellikleri

Input Data (DC)	
Recommended PV Module Power (STC) (W)	180~275
MPPT Voltage Range (V)	22 ~ 45
Maximum Input DC Voltage (V)	55
Maximum Input Current (A)	12
Output Data (AC)	
Maximum Output Power (W)	250
Maximum Output Current (A)	1.2
Nominal Output Voltage / Range (V)	230/ 198 ~ 253
Nominal Output Frequency/Range (Hz)	50/ 45.5 ~ 52.5
Performance	
Peak inverter efficiency	95.7%
Nominal MPP tracking efficiency	>99.5
Power factor	> 0.95
Total Harmonic Distortion	< 3% (at rate power)
Night time power consumption (W)	< 0.08
Mechanical Data	
Operating temperature range	-40°C~+ 65°C
Dimensions (WxHxD)	200*175*35
Weight	2.0
Cooling	Natural
Features & Compliance	
EMC (emissions & immunity) compliance	EN6 1000-6-3, EN6 1000-6-1
Safety class compliance	IEC62116
Communication	powerline or RS232/RS485
Work Life time (y)	25
DC connector	MC4
Warranty (y)	15

Tablo 3-6: Şebeke bağlantılı bir DC/AC çeviricinin teknik özellikleri

Tasarımda hesaplamalar

Tasarımda güç analizi ve kablo hesapları

- ◆ Enerji, uygun kapasitedeki araçlarla taşınmalı.
- ◆ Kesit alanı yetersiz bir kablodan enerji (akım) iletecek olursak, kablo aşırı ısınarak hem enerji kaybına yola açar hem de yangın tehlikesi yaratır.
- ◆ Kalın kablo kullandığımızda da maliyet artar ve montajda zorluk oluşturur.
- ◆ Doğru akım devreleri için kablo hesabı aşağıdaki bağıntı kullanılarak yapılabilir.

DC Akımda Kablo Hesabı				
Birim adları	Veriler-1	Veriler-2	Veriler-3	Veriler-4
Sistem kurulu gücü (Wat)	880	880	880	880
Sistem DC Voltaj değeri (Volt)	12	24	48	96
Enerji taşıma uzaklığı (metre)	30	30	30	30
Gerilim düşüm oranı - %e	3	3	3	3
Kablo Kesit Alanı mm2 - Cu	218,3	53,47	13,37	3,34
Kablo kesit alanı mm2 - AL	359,5			
AC Akımda Kablo Hesabı				
Birim adları	TEK FAZ	ÜÇ FAZ		
Güç yüklemesi - VA	880	880		
AC Voltaj değeri (Volt)	220	380		
Enerji taşıma uzaklığı (metre)	30	30		
Gerilim düşüm oranı - %e	3	3		
CosΦ değeri	1			
SinΦ değeri / XL değerleri	0,44	0,25		
Kablo kesit alanı - Cu	1,4	0,7	mm2	Bakır
Kablo kesit alanı - AL	2,4	1,2	mm2	Alümin

Tablo 3-7: Kablo hesaplama tablosu

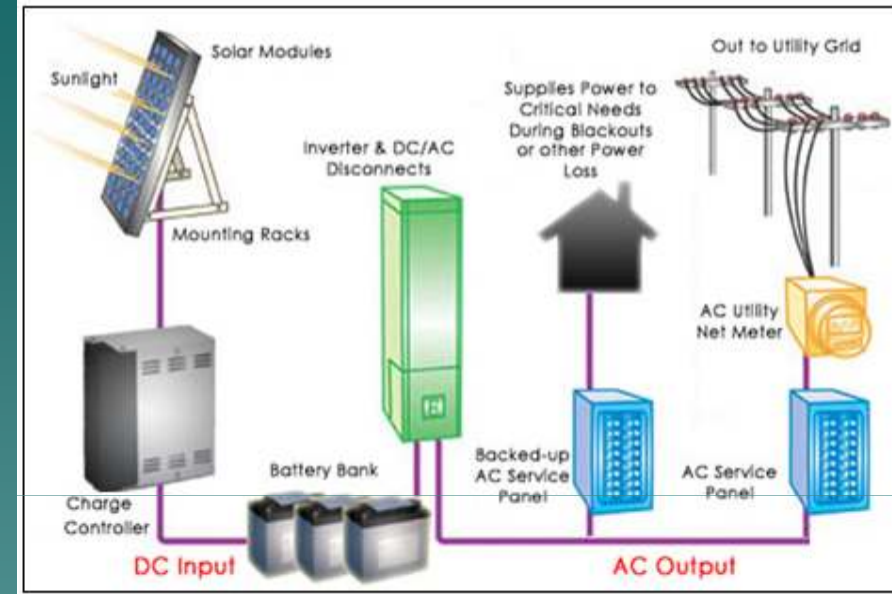
$$S(\text{kesit-mm}^2) = \rho(\text{öz direnç}) \times 2 \times L \times P / (e \times V^2) \times 100$$

Tasarımda hesaplamalar

Örnek:

- ◆ Alternatif akımda kablo hesabı:
Tek fazlı 220 V alternatif akımda, 30 m kablo ile bağlantılı 880 W'lik ısıtıcının kablo kesitini %3 gerilim düşümü oranıyla hesaplayalım.

$$I = P/V \times \text{Cos}\Phi = 880 \text{ W}/220 \text{ V} \\ = 4 \text{ A} (\text{Cos}\Phi=1)$$



$$\text{Kablo kesiti, } S = I \times 2 L \times \text{Cos}\Phi / (e \times K) = 4 \times 60 \text{ m} \times 1 / (3 \times 56) \\ S = 1,4 \text{ mm}^2 \text{ bulunur.}$$

- ◆ 3 faz alternatif akımda kablo kesit hesabı:
Yukarıdaki örneği 3 faz AC akım için hesaplarsak;
 $S = \text{kök}3 \times I \times l \times \text{Cos}\Phi / (k \times e)$
 $S = \text{kök}3 \times 4 \times 30 \times 1 / (3 \times 56) = 0,7 \text{ mm}^2 \text{ bulunur.}$

III. Ara: 10 dk.

Güneş enerjisi projeleri-Dünya

- ◆ **İspanya Salamanca Projesi:** Dünyadaki en büyük güneş-elektrik güç santrallerinden biridir. 13,8 MW gücündeki bu Fotovoltaik güç santralinde üretilen elektrik ile 5,000 evin ihtiyacı karşılanması hedeflenmektedir.
- ◆ **Gut Erlasee Güneş Parkı, Almanya:** Fotovoltaik pillerden oluşan bu park 12 MW'lık bir güce sahiptir. Bunun en önemli özelliği güneş enerjisi potansiyeli yüksek olmayan bir bölgede kurulmuş olmasıdır.
- ◆ **Takip sistemli, Bulgaristan:** Bu 100,8 KWp gücünde fotovoltaik santral 2007'de Bulgaristan'ın Zornitsa bölgesinde kuruldu. IBC SOLAR Bulgar iş ortağı, K AD için 576 STP 175S panellerle açık alan PV santrali kurdu. 18 çift eksenli takip sistemi güneşin konumuna göre hareket ederek çalışmaktadırlar.



Güneş enerjisi projeleri-Türkiye

- ◆ Türkiye'nin "ilk resmi güneş enerjisi santrali"nin temeli 2012 Mayıs'ında Konya'da atılmıştı. 3.500 metrekarelik alanda başlatılan çalışmalar Temmuz ayında tamamlandı.



200 kilovat KW gücündeki santralin maliyeti 350 bin dolar oldu. Meram Elektrik Dağıtım A.Ş.(MEDAŞ) tarafından yaptırılan Güneş Santrali için verilen enerji üretim garantisi 25 yıldır.

- ◆ Basından öğrendiğimiz kadarıyla, **Karşıyaka belediyesinin** henüz hayata geçmemiş olan 500 KW'lık 'güneş tarlası' projesi var. Ancak kurulum işlemlerine başlanacağı konusunda henüz bir bilgi yok.

Kurulum ve işletme

Güneş panellerinin yerleşimi

- ◆ **Güneş tarlası:** Yüksek güç üretimi sağlanabilen bu sistem özel bir ihtiyacı karşılamak ya da şebekeye elektrik satmak amaçlı kurulur.
- ◆ **Çatı üstü montaj:** Genelde ev ve işyerlerinin ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla eğimli çatıların üzerine montajları yapılır. Konumları sabittir.

Çatı montajında, hem çatıya zarar vermeyecek hem de güvenli bağlantı yapan özel metal aparatlar kullanılır.



Kurulum ve işletme

Güneş panellerinin yerleşimi

- ◆ **"Güneş ağacı":** Dar alanlarda maksimum güç üretimi sağlar. Kurulumu yapılan alanın altındaki yaşam alanının kullanılabilirliğini etkilemez. Tek ya da iki koordinatta hareket edebilen güneş izleme sistemleri için uygun bir montaj türüdür.
- ◆ **Düz zemine montaj:** İhtiyaç halinde bahçe teras vb. gibi geniş alanlarda ihtiyaca uygun ya da yatırım amaçlı panel montaj şekli olup, kurulumu en kolay olanıdır.
- ◆ **Tekli montaj:** Basit sehpa düzeneği üzerine kurulan bu sistemde birkaç panel düz yada eğimli zemine istenilen açıda monte edilir.



Kurulum ve işletme

PV sistem kurulum aşamasında dikkat edilecek hususlar

- ◆ Sistemin kurulacağı bölgede, 6 ay boyunca yapacağınız ölçümler sonucunda m^2 başına yıllık düşen ortalama güneş etkinliği, yönetmelik gereği en az 1650 KWh/yıl olmalı (1 MW'dan büyük sistemler için).
- ◆ Paneller, güneş ışınlarıyla olan açısal konumları veya güneşi izleme hareketleri maliyet/verim ilişkisi içinde en uygun olacak şekilde tesis edilmeli.
- ◆ Hareketsiz panellerin montajı, ışınımın öğle saati geliş açısı ve Deklinasyon(*) açısı dikkate alınarak yapılmalı.
- ◆ Paneller güneş batıncaya kadar herhangi bir ağaç veya yüksek tepe tarafından gölgelenmemeli.

(*) Dünya-Güneş doğrultusunun ekvator düzlemiyle yaptığı açıdır.
+/-23,45° arasında değişir.

Kurulum ve işletme

PV sistemlerin kurulumunda dikkat edilecek hususlar

- ◆ Toz alacak veya çabuk kirlenecek trafiği yoğun yollara çok yakın olmamalı.
- ◆ Büyük sistemler kuşların göç yolları üzerinde kurulmamalı.
- ◆ Yıldırımdan koruma ve topraklama işlemleri yönetmelikler uygun olarak uygulanmalı.
- ◆ Güneş panellerinin elektriksel bağlantıları EN SON yapılmalı ve sistemin devreye alınması aşamasına kadar panel yüzeyleri koyu renkli kağıtla kapalı olmalı.
- ◆ Kablo döşeme işlemleri 'İç Tesisat Yönetmeliği' şartlarını eksiksiz sağlamalı.
- ◆ PV güç sistemlerinin montajında temel Elektrik ve Elektronik bilgisi ve İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği bilgisi olan elemanlar çalıştırılmalı. Şantiye alanında İSG şartları sağlanmalı.

Kurulum ve işletme

Fotovoltaik panel taşıyıcıları

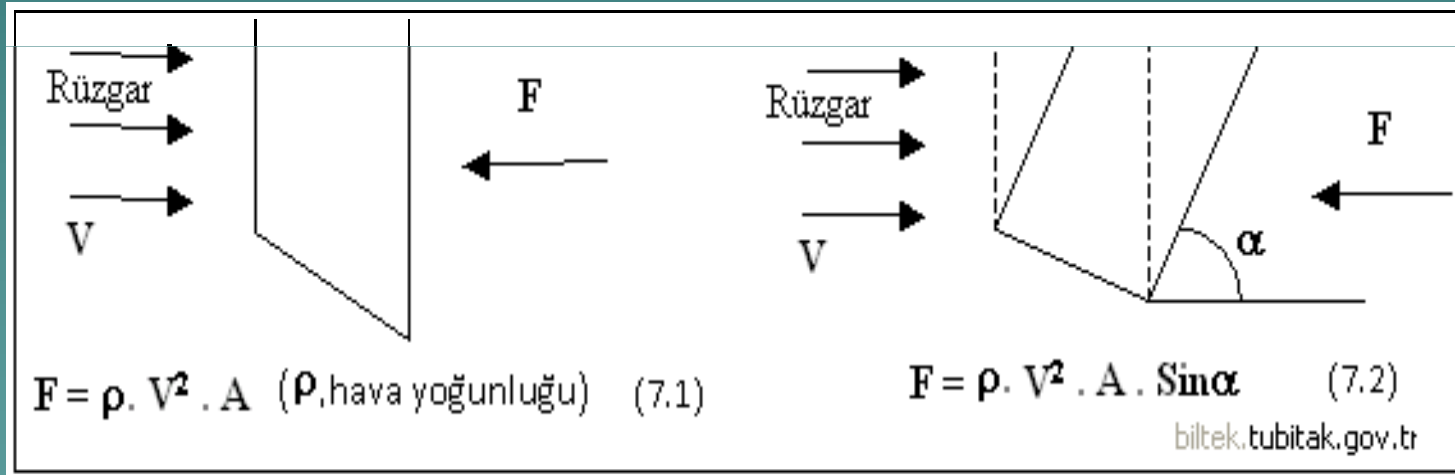
- ◆ Panel taşıyıcıları panellerin rüzgar, fırtına kar gibi dış etmenlere karşı korunaklı olmaları hem maddi hasarlara yol açmamak hem de açısal bozulmalar nedeniyle verim düşüşlerinin olmaması adına dayanıklı olmalıdırlar.
- ◆ Yüksek hızda esen rüzgarlardan etkilenmemesi gerektiği gibi fazla yağışlar sonucunda oluşan kar yığılmalarında da çökmemeleri gerekir
- ◆ Bu sistemler için biçilen ömür 50 yıl kadar olduğundan taşıyıcı malzemelerin ömrü de bu süreye uygun olmalıdır.
- ◆ Paslanma dolayısıyla korozyon etkileşimi en az olan malzeme kullanılmalı ve malzemeler dayanıklı boyalarla korumaya alınmalıdır.



Kurulum ve işletme

Fotovoltaik panel taşıyıcıları

- ◆ Panel taşıyıcısı metal profillerin mukavemet hesapları rüzgar basıncında eğilmeye, burkulmaya, kırılmaya ve kar vd. ile çökmeye, zaman içindeki korozyona (oksitlenme vb) erken yorulmaya, yaşlanmaya karşı dayanıklılık kriterleri eksiksiz yerine getirilmeli ve bunların hesapları doğru yapılmalıdır.



Şekil 4-1: Rüzgar gücünün panel yüzeyinde oluşturduğu F kuvveti [24]

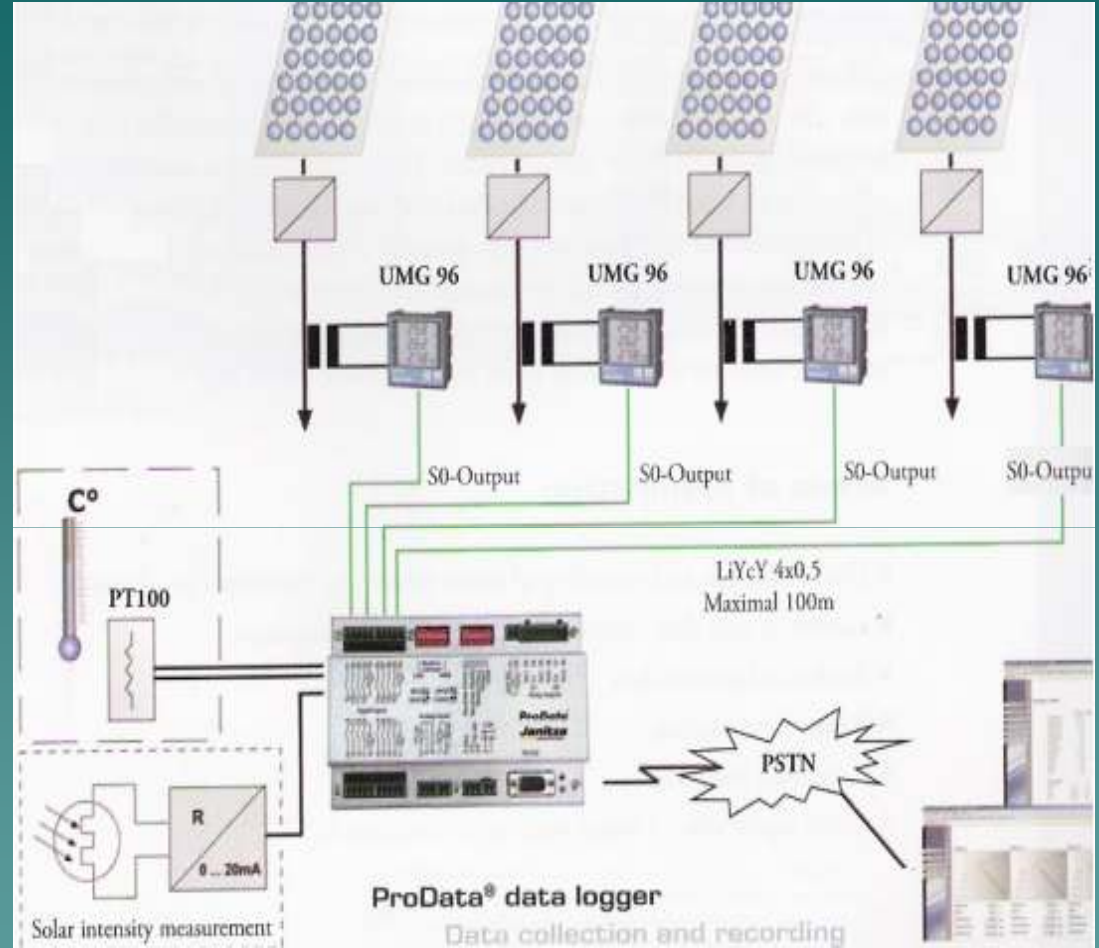
Kurulum ve işletme

Fonksiyon testleri ve işletmeye alma:

- ◆ Panel, akü, yük ve MPPT'den oluşan PV sisteminin elektriksel parametrelerini ölçmek ve sistem verimliliğini belirleyebilmek için bir ölçüm sistemi oluşturulur.
- ◆ Ölçümler tam yükte veya MPPT'nin öngörülen verimliliği sağladığı durumlarda yapılmalı.
- ◆ Sistemin kısa, orta ve uzun vadeli bakım prosedürleri çıkarılarak doküman haline getirilir.
- ◆ İşletme sürecinde sistem birimlerinde ve özellikle PV modüllerinde oluşacak olası arızaların tespiti ve kısa sürede giderilebilmesi için pratik yöntemler 'Arıza Bakım' kılavuzunda listelenir.
- ◆ Büyük ve orta ölçekli sistemler için, bilgisayar ve iletişim destekli izleme ve müdahale sistemleri önerilir.

Kurulum ve işletme-izleme

- ◆ Yandaki sistem şemasında görüldüğü gibi bir PV sistemin elektriksel değerleri kısa sürelerle ölçülerek izlenmektedir.
- ◆ Bir PV sistemde, bir modül veya modüldeki bir hücre arızalanırsa sistem önemli ölçüde etkilenir.
- ◆ Bozulan kısım sisteme katkı koymadığı gibi yük haline dönüşerek hatta kısa devre yaparak sistem kazancını düşürür.



Şekil 4-2 : Fotovoltaik sistem izleyici devresi

- ◆ Arızalı birimin kısa sürede belirlenip müdahale edilmesi önemlidir.

MEVZUAT

GES'lerde lisans, kurulum ve işletme mevzuatı

- ◆ 6094 Numaralı yasa ile değişik 5346 sayılı YEK yasası'ndan' bir paragraf
"Bu madde kapsamında yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üreten gerçek ve tüzel kişiler; ihtiyaçlarının üzerinde ürettikleri elektrik enerjisini dağıtım sistemine vermeleri halinde, I sayılı Cetveldeki fiyatlardan on yıl süre ile faydalanabilirler. Bu kapsamda dağıtım sistemine verilen elektrik enerjisinin perakende satış lisansına haiz ilgili dağıtım şirketi tarafından satın alınması zorunludur. İlgili şirketlerin bu madde gereğince satın aldıkları elektrik enerjisi, söz konusu dağıtım şirketlerce YEK Destekleme Mekanizması kapsamında üretilmiş ve sisteme verilmiş kabul edilir."

Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi	Uygulanacak Fiyatlar (ABD Doları cent/kWh)
a. Hidroelektrik üretim tesisi	7,3
b. Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	7,3
c. Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	10,5
d. Biyokütleyle dayalı üretim tesisi (çöp gazı dahil)	13,3
e. Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	13,3

Tablo 4-1: I sayılı cetvel -Birim fiyatlar

MEVZUAT-Yasalar

GES'lerde lisans, kurulum ve işletme mevzuatı

- ◆ Lisansa tabi olan 1 MW'dan büyük PV santrallerinin kurulum izni alınabilmesi bir çok gereklerin (1650 kWh/m²-yıllık enerji koşulu) sağlanması gerekir.
- ◆ bölgede ekstre gücü kaldırabilecek trafo merkezi olmalı. Çevre Etki değerlendirme raporu) PV sistemin o bölgede tesis etmenize engel olacak sonuçlar içeriyor olmamalı.
- ◆ Konunun ayrıntıları Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği'nde yer almaktadır.
- ◆ Lisanssız elektrik üretimiyle ilgili yasa, yönetmelik ve duyuru metinlerine EPDK sayfalarından ulaşılabilir.
- ◆ Lisanssız elektrik üretimiyle ilgili mevzuat, şekil 3-6'deki diyagramla özetlenmiştir.

MEVZUAT-Yönetmelik ve tebliğler

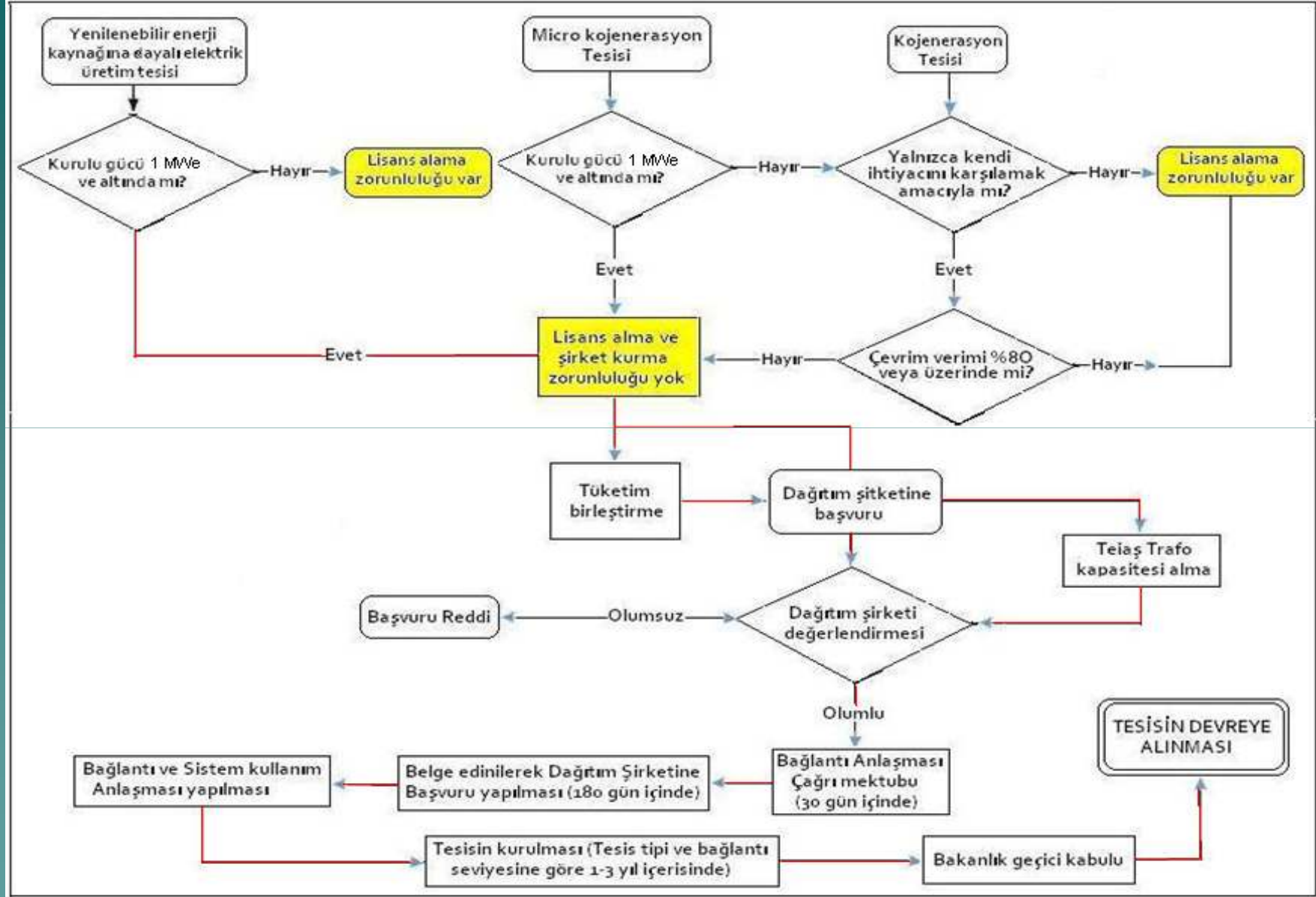
- ◆ Yönetmeliğin güneş enerjisi ile ilgili düzenlemesini aşağıdaki gibi özetleyebiliriz.
 - Lisans alma şartı yok,
 - Şirket kurma zorunluluğu yok,
 - Gerçek veya tüzel, her TC vatandaşı başvurabilir,
 - Gerçek/tüzel kişi ihtiyaç fazlasını satabilir,
 - Kurulu güç en fazla 500 kW(*) olabilir,
 - YEK'deki alım garantisinden faydalanabilir.

Tebliğler: Elektrik üretmek isteyenlerin başvuru zaman ve şekli konularında veya uygulama ve prosedürlerdeki değişiklikleri duyurmak için ilgili bakanlığın yayınladığı metinlerdir.

Her şey 'güzel' gibi görünse de 'yol haritası'ndaki dağıtım şirketinden geçen yolun epey bir engebeli olduğunu söyleyebiliriz. (c.c.)

(*) Bu değer 1 MW'a çıkarıldı ancak henüz yönetmeliği yayınlanmadı.

MEVZUAT-bürokratik yolculuk



MEVZUAT-bağlantılar

YEK'le ilgili diğer yasa,yönetmelik ve duyurular

- ◆ 'Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik- Son Hali' (<http://www.epdk.gov.tr/index.php/elektrik-piyasasi/mevzuat?id=29>)
- ◆ 'Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik - Son Hali' (<http://www.epdk.gov.tr/index.php/elektrik-piyasasi/mevzuat?id=67>)
- ◆ 'Rüzgar ve Güneş Enerjisine Dayalı Lisans başvuruları için yapılacak Rüzgar ve Güneş Ölçümleri ve Uygulamalarına Dair TEBLİĞ' (*)
- ◆ '6094 sayılı yasayla ilgili DUYURU
(<http://www.enerjik.com.tr/kariyerpanosuicerik.aspx?No=132&Yayinturu=D>)
- ◆ 'Güneş Enerjisine Dayalı Elektrik Üretim Tesisleri hakkında Yönetmelik'(*)
- ◆ 'Güneş Enerjisine Dayalı Üretim Tesisi Kurmak Üzere Yapılan Lisans Başvurularına ilişkin Yarışma Yönetmeliği' (*)
- ◆ Epdk_Lisans yönetmeliği: <http://www.mevzuat.adalet.gov.tr/html/21123.html>
(*) <http://www.epdk.gov.tr/index.php/elektrik-piyasasi/mevzuat?id=73>
veya (www.mevzuat.gov.tr/mevzuatMetin/1.5.5346.pdf)

Not: Y.E.K. Yasası ve yönetmeliklerinin güneş enerjisiyle ilgili mevzuat ve metinlerine yukarıdaki bağlantılardan ulaşarak incelenebilir. (c.cezim)

EK: Lisansız üretimde örnek uygulama-I

- ◆ Lisanssız elektrik üretim mevzuatından yararlanmak isteyen bir kişi 150 m² evinin çatısının yaklaşık 105 m²'sinin güneşe baktığını, bu kısma güneş enerjisi tesisi kurulabileceği sonucuna ulaşmış; 1 kW için 7 m² yer gerektiği varsayımından 15 kw'lık güneş paneli ile PV sistem kurulması uygun görülmüştür.
- ◆ Tesisin kurulup işletmeye alındığını varsayalım. Tesisin bir gün içinde 7 saat ışınlam aldığını düşünerek bir gün içinde tesiste $7 \times 15 \text{ kW} = 105 \text{ kWh}$ elektrik enerjisi üretilebilir. Bir gün içinde evin 10 kWh enerji tükettiği varsayılırsa o gün için $105 - 10 = 95 \text{ kWh}$ sisteme ihtiyaç fazlası enerji verilmiş olacaktır. Bir sonraki gün havanın bulutlu olduğu ve ışınlamın az olduğunu varsayalım. Buna göre güneş 4 saat ışınlarsa tesis $4 \times 15 = 60 \text{ kWh}$ elektrik üretir. Gün içinde elektrik tüketiminin arttığını ve toplam 15 kWh enerji tüketildiğini düşürsek, $60 - 15 = 45 \text{ kWh}$ sisteme ihtiyaç fazlası enerji verilmiş olur. Buna göre iki günlük güneş enerjisi için ödenen 13.3 usd cent destek bedeli ödemesi üzerinden destekleme bedelini hesaplayalım:
- ◆ 1.gün: $95 \text{ kWh} \times 0,133 \text{ usd/kWh} \times 1,85 \text{ TL/usd} = 23,37 \text{ TL}$
2.gün: $45 \text{ kWh} \times 0,133 \text{ usd/kWh} \times 1,85 \text{ TL/usd} = 11,07 \text{ TL}$
Her iki bedelden dağıtım sistem kullanım bedeli (dskb) ve diğer bedeller düşülerek kişinin alacak hesabına kaydı yapılacaktır. Her iki durumun da 15'er gün sürdüğünde, $(15 \times 95 = 1425) + (15 \times 45 = 675) = 2100 \times 0,133 \times 1,85 = 516,70 \text{ TL}$ (dskb ve diğer bedeller hariç)
- ◆ Bu kişinin 15 gün 10 kWh 15 gün 15 kWh elektrik tükettiği de hesaba katılmalıdır. Bu hesap yapıldığında $(15 \times 10 = 150) + (15 \times 15 = 225)$ aylık 375 kWh elektrik tükettiği bulunur. Bu kişi tesisi kurmasaydı elektriği 26 krş abonelik bedeli üzerinden alacaktı. Buna göre $375 \times 26 \text{ Kuruş} = 97,50 \text{ TL}$ enerji bedeli ödemesi gerekecekti. Ayrıca bu bedel için dskb ve diğer bedelleri de ödeyecekti. Sonuç olarak; bu kişinin
 - Fizibilite, yatırım ve işletme maliyetleri ihmal edilmek kaydıyla
 - 516,70 TL destek ödemesi alacağı (dskb ve diğer bedel kesintileri hariç) ,
 - 97,50 TL elektrik faturası ödemekten muaf kaldığı (dskb ve diğer bedeller ilave edilmeden) sonucuna ulaşılabilir. [Kaynak: EPDK]

EK: Lisansız üretimde örnek uygulama-II

- ◆ Lisanssız elektrik üretim mevzuatından yararlanmak isteyen bir apartman sakinlerinin tüketim bileştirme uygulaması kapsamında aralarından birini yetkilendirdiklerini varsayalım. Apartman $4 \times 150 \text{ m}^2 = 600 \text{ m}^2$ çatı alanına sahip olduğu, güneşe bakan yönünün 300 m^2 olduğu ve dolaylı aydınlanan yerlerle birlikte 350 m^2 çatı alanının fotovoltaik panel uygulamasına uygun olduğu varsayımını dikkate alalım. 1 kW için 7 m^2 yer gerektiğini düşünerek 350 m^2 'ye 50 kW gücünde güneş panelinden elektrik üretim tesisi kurulabileceği sonucuna ulaşılabilir.
- ◆ Tesisin kurulup işletmeye alındığını varsayalım.
- ◆ Tesisin bir gün içinde 7 saat ışınım aldığını düşünürsek bir gün içinde tesiste $7 \times 50 \text{ kW} = 350 \text{ kWh}$ elektrik enerjisi üretilebileceği sonucuna ulaşılır. Bir gün içinde bir evin 10 kW enerji tükettiği düşünülürse 16 daireli bir apartmanda bir günde 160 kWh enerji tüketildiği düşünülebilir. Böylece 350 üretim 160 tüketim; $350 - 160 = 190 \text{ kWh}$ ihtiyaç fazlası enerji sisteme verilmiş demektir.
- ◆ Bir sonraki gün havanın bulutlu, ışınımın az olduğunu varsayalım. Buna göre güneş 4 saat ışınırsa tesis $4 \times 50 = 200 \text{ kWh}$ elektrik üretecektir. Gün içinde elektrik tüketiminin arttığını ve toplam daire başına 15 kWh elektrik tüketildiğini düşünerek $16 \times 15 = 240 \text{ kWh}$ enerji tüketildiğini düşünelim.
- ◆ Bu durumda $200 - 240 = -40 \text{ kWh}$ sistemden elektrik enerjisi kullanımı gerçekleşmiş olsun. Bu iki durumdan her ikisinin de 15 'er gün devam ettiğini düşünelim. Güneş enerjisi için ödenen $13.3 \text{ ABD dolar cent}$ destek bedelini ve abonelik için 26 krş/kWh enerji bedelini dikkate alarak hesap yapalım:

EK: Lisansız üretimde örnek uygulama-II, (devam)

- ◆ 1.gün: $190 \text{ kWh} \times 0,133 \text{ usd/kWh} \times 1,85 \text{ TL/usd} = 46,74 \text{ TL}$ destek ödemesi.
2.gün: $-40 \text{ kWh} \times 26 \text{ krş} = 10,4 \text{ TL}$ abonelik enerji bedeli.
- ◆ Her iki bedel için de dağıtım sistem kullanım bedeli (dskb) ve diğer bedellerin ilavesi uygulaması yapılacaktır. Yani ilk bedelden dskb ve diğer bedeller düşülerek alacak yazılacak, ikinci bedele ise dskb ve diğer bedeller eklenerek borç yazılacaktır. Her iki durumda 15'er gün sürdüğünü düşünelim.
- ◆ 1.gün durumu: $190 \times 15 = 2850 \text{ kWh} \times 0,133 \text{ usd/kWh} \times 1,85 \text{ TL/usd} = 701,24 \text{ TL}$ (alacak)
2.gün durumu: $40 \times 15 = 600 \text{ kWh} \times 26 \text{ krş} = 156 \text{ TL}$ (borç)
- ◆ Bu durumda kişinin 701 TL destek bedeli ödemesi ve 156 TL abonelik enerji bedeli borcu olduğu görülecek ve takas yapılacak ve kişi $701,24 - 156 = 545,24 \text{ TL}$ dağıtım sistem kullanım bedeli ve diğer bedeller kesintisi hariç olmak üzere aylık destek bedeli alacağı bulundu.
- ◆ Ancak bu kişilerin kendi üretimlerinden kullandıkları enerji bedelini de hesaplamak gerekecektir. Buna göre; $15 \times 160 = 2400 \text{ kWh}$ üretimden elektrik tüketimi yapıldığı bulunacaktır. Üretim yapılmıyor olsaydı bu enerji için 26 krş üzerinden abonelik enerji bedeli ödenecekti ve $2400 \text{ kWh} \times 26 \text{ krş} = 624 \text{ TL}$ dskb ve diğer bedeller hariç enerji bedeli olarak elektrik faturası ödemesi yapılacaktı.
- ◆ Sonuç olarak; bu kişilerin
 - Fizibilite, yatırım ve işletme maliyetleri ihmal edilmek kaydıyla
 - 521,24 TL destek ödemesi alacağı (dskb ve diğer bedeller kesintileri hariç),
 - 624 TL elektrik faturası ödemekten muaf kaldığı (dskb ve diğer bedeller ilave edilmeden)sonucuna ulaşılabilir. [kaynak:EPDK]

Yararlanılan kaynaklar

- [0] EMO MİSEM, Güneş Enerjisi Eğitimi ders notları (c.c)
- [1] dsi.gov.tr-İklim değişikliği ve sağlık
- [2] wikipedia.org-Wikipedi Özgür Ansiklopedi
- [3] <http://tr.wikipedia.org/wiki>
- [4] www.eie.gov.tr/www.yegm.gov.tr
- [5] www.bizimkasaba.com
- [5.1] www.mynasadata.larc.nasa.gov
- [6] www.benkoltd.com
- [6.1] www.bilgilendirmekistiyorum.com
- [7] İlknur Kılıncdemir, Cumali Acar-YTÜ/Güneş İzleme Sistemleri
- [8] Dr. Umut Gürsoy: Dikensiz Gül - Temiz Enerji.
- [9] Dolunay Güçlüer, hart. Müh.
- [10] <http://biltek.tubitak.gov.tr>
- [10.1] www.belgeler.com
- [11] www.ktemb.com/tr
- [12] www.solarledtech.com
- [13] Ferit Dinçadam, Yüksek Lisans tezi
- [14] www.yegm.gov.tr
- [15] <http://en.wikipedia.org>
- [16] <http://www.gensed.org>
- [17] Türkiye'nin enerji stratejisinin değerlendirilmesi-TÜSİAD -1998
- [18] www.normenergy.com
- [19] www.elektrik.gen.tr
- [20] <http://www.uralakbulut.com.tr>
- [21] Fotovoltaik sistemlerde MGNT'lerin karşılaştırması
- [21.1] <http://enerjienstitusu.com>
- [22] Dolunay Güçlüer yüksek lisans tezi -Harita mühendisi
- [23] BP Statistical World Review of Energy
- [24] <http://biltek.tubitak.gov.tr>
- [25] Samet Çalıkoğlu, Engin Özdemir, Mehmet Uçar: PV sistemlerinde güç kalitesi
EMO MİSEM