

Güneş Enerjisi Ölçümleri ve Fizibilite Süreci



Ahmet Duran ŞAHİN
İstanbul Teknik Üniversitesi
Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi
Meteoroloji Mühendisliği Bölümü
sahind@itu.edu.tr

Bu sunumun bir bölümü Temiz Enerji Kursunda anlatılmıştır. www.uteg.org

Giriş

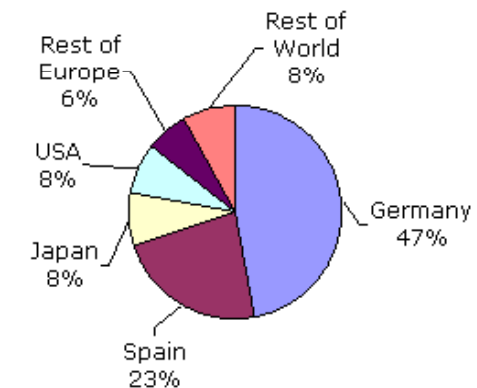
- Güneş pilleri yenilenebilir enerji teknolojileri arasında en büyük gelişmeyi ve uygulama alanını bulanların başında gelmektedir. Sınırsız enerji kaynağından dolayı da gelecekte daha fazla kullanılacaklardır.
- Bilindiği gibi dünyamızın büyük çevre felaketleri ile karşı karşıya kalması sonucunda yenilenebilir enerjilere olan ilgi de giderek artmıştır. Güneş enerjisi temiz bir yakıttır fakat sürekliliğinin olmaması yani kesintili olması en büyük problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bundan dolayı da elektriği üretip depolayabilen sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Direkt Güneş kaynaklı elektrik üretmenin başlıca yolu “Fotovoltaik Pil” sistemleridir.
- Son yıllarda fotovoltaik pil uygulamaları dünyada bir çok ülkede giderek yaygınlaştı. Özellikle evsel elektrik tüketiminde güneş pilleri lider konumdadır.
- Ayrıca geleceğin yakıtı olarak düşünülen hidrojen üretiminde de vazgeçilemeyecek teknolojilerin başında gelmektedir.

Fotovoltaiklerin Ticareti Dünya Çapında Hızla Artmaktadır

Produced, Installed & Total Photovoltaic Peak Power Capacity (MWp) as of the end of 2007

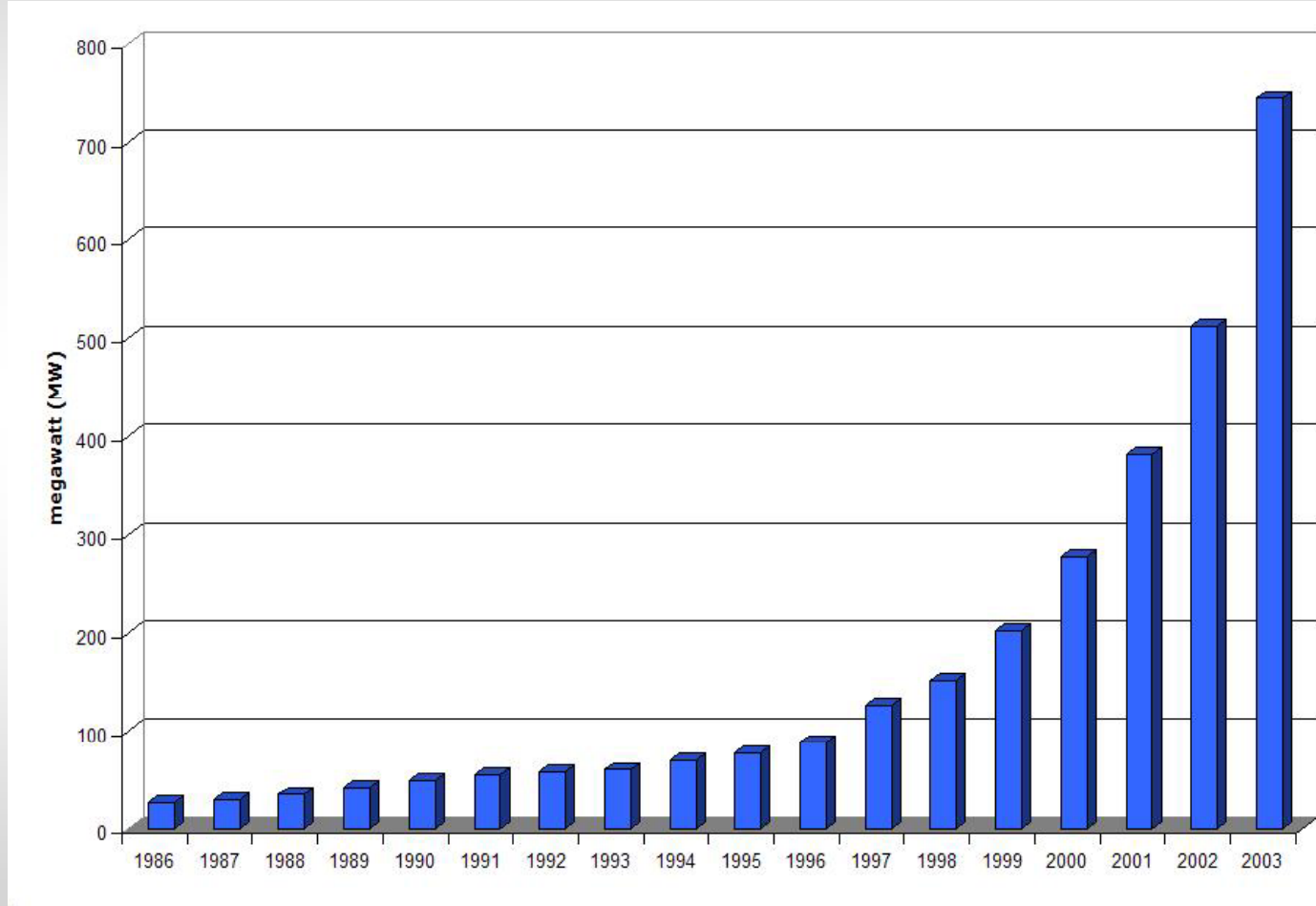
Country or Region Report Nat. Int. ☒	off	on	Installed 2007 ☒	off	on	Total 2007 ☒	Wp/capita Total ☒	Module Price €/Wp ☒	kW-h/kWp-yr Insolation ☒	Feed-in Tariff EU¢/kW-h ☒
	grid Δ ☒	grid Δ ☒		grid Σ ☒	grid Σ ☒					
World	127.9	2,130	2,258	662.3	7,178	7,841		2.5–11.2	800–2,902	0–59.3
Germany ^{[26][27]}	35	1,100	1,135	35	3,827	3,862	46.8	4.0–5.3	1,000–1,300 ^[28]	51.8–56.8
Japan ^{[29][27]}	1.562	208.8	210.4	90.15	1,829	1,919	15	2.96	1,200–1,600	Ended(2005)
United States ^{[30][27]}	55	151.5	206.5	325	505.5	830.5	2.8	2.98	900–2,150 ^[28]	1.2–31.04(CA)
Spain ? ^[27]	22	490	512	29.8	625.2	655	15.1	3.0–4.5	1,600–2,200	18.38–44.04
Italy ^{[31][27]}	0.3	69.9	70.2	13.1	107.1	120.2	2.1	3.2–3.6	1,400–2,200	36.0–49.0
Australia ^{[32][27]}	5.91	6.28	12.19	66.45	16.04	82.49	4.1	4.5–5.4	1,450–2,902 ^[33]	0–26.4(SA'08)
South Korea ^{[34][27]}	0	42.87	42.87	5.943	71.66	77.60	1.6	3.50–3.84	1,500–1,600	56.5–59.3
France ^{[35][27]}	0.993	30.31	31.30	22.55	52.68	75.23	1.2	3.2–5.1	1,100–2,000	30.0–55.0
Netherlands ^{[36][27]}	0.582	1.023	1.605	5.3	48	53.3	3.3	3.3–4.5	1,000–1,200	1.21–9.7
Switzerland ^{[37][27]}	0.2	6.3	6.5	3.6	32.6	36.2	4.9	3.18–3.30	1,200–2,000	9.53–50.8
Austria ? ^[27]	0.055	2.061	2.116	3.224	24.48	27.70	3.4	3.6–4.3		
Canada ^{[38][27]}	3.888	1.403	5.291	22.86	2.911	25.78	0.8	3.76		
Mexico ? ^[27]	0.869	0.15	1.019	20.45	0.3	20.75	0.2	5.44–6.42		
United Kingdom ^{[39][27]}	0.16	3.65	3.81	1.47	16.62	18.09	0.3	3.67–5.72		
Portugal ? ^[40]	0.2	14.25	14.45	2.841	15.03	17.87	1.7			
Norway ^{[41][27]}	0.32	0.004	0.324	7.86	0.132	7.992	1.7	11.2		
Sweden ^{[42][27]}	0.271	1.121	1.392	4.566	1.676	6.242	0.7	3.24–7.02		
Denmark ^{[43][27]}	0.05	0.125	0.175	0.385	2.69	3.075	0.6	5.36–8.04		
Israel ^{[44][27]}	0.5	0	0.5	1.794	0.025	1.819	0.3	4.3		

World Photovoltaic Market in 2007
2826 Megawatts



Copyright: Solarbuzz LLC

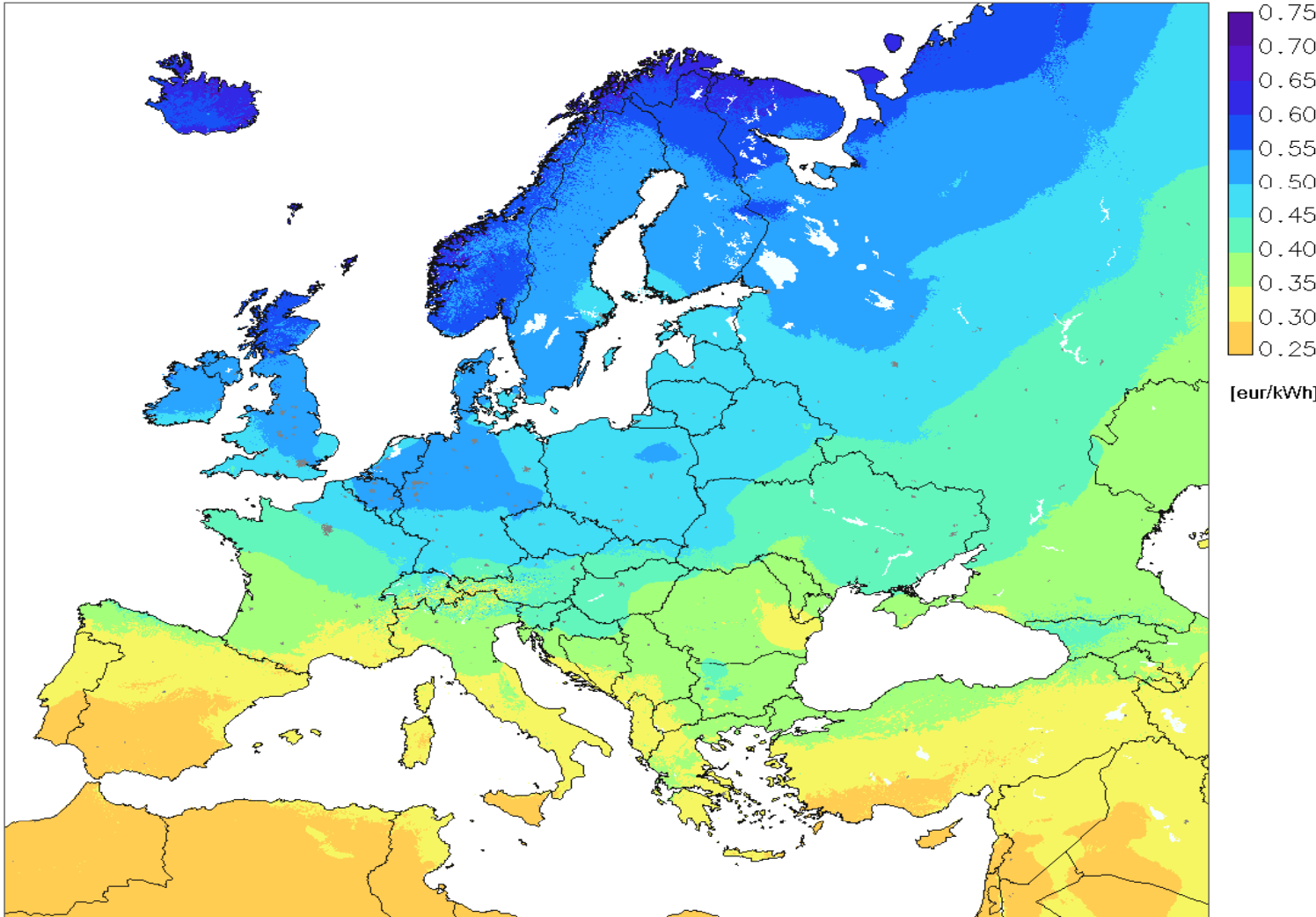
Son yıllarda yatırımlardaki artış %30-40 arasındadır



PV'LERDE MW DÖNEMİ BAŞLADI

- İspanya Salamanca Projesi: 13.8 MW gücündeki bu fotovoltaik güç santralinde üretilen elektrik ile 5,000 evin ihtiyacı karşılanacaktır. Dünyadaki en büyük güneş-elektrik güç santrallerinden biridir.
- Gut Erlasee Güneş Parkı: Güneş fotovoltaik pillerden oluşan bu parkta 12 MW'lık bir güce sahiptir. Bunun en önemli özelliği güneş enerjisi potansiyeli yüksek olmayan bir bölgede kurulmuş olmasıdır.
- El Dorada PV Güç Santrali: Haziran, 2007'de Nevada çöllerinde ABD'de büyük ölçekteki modern güneş-elektrik santrali 64 MW olarak faaliyete geçmiştir. Yine Nevada da 100 MW'lık güneş-elektrik güç sisteminin planları yapılmaktadır.
- Kaliforniya'da 2012 yılı hedef alınarak 500 MW'lık güneş-elektrik güç santrali planlaması yapılmıştır.

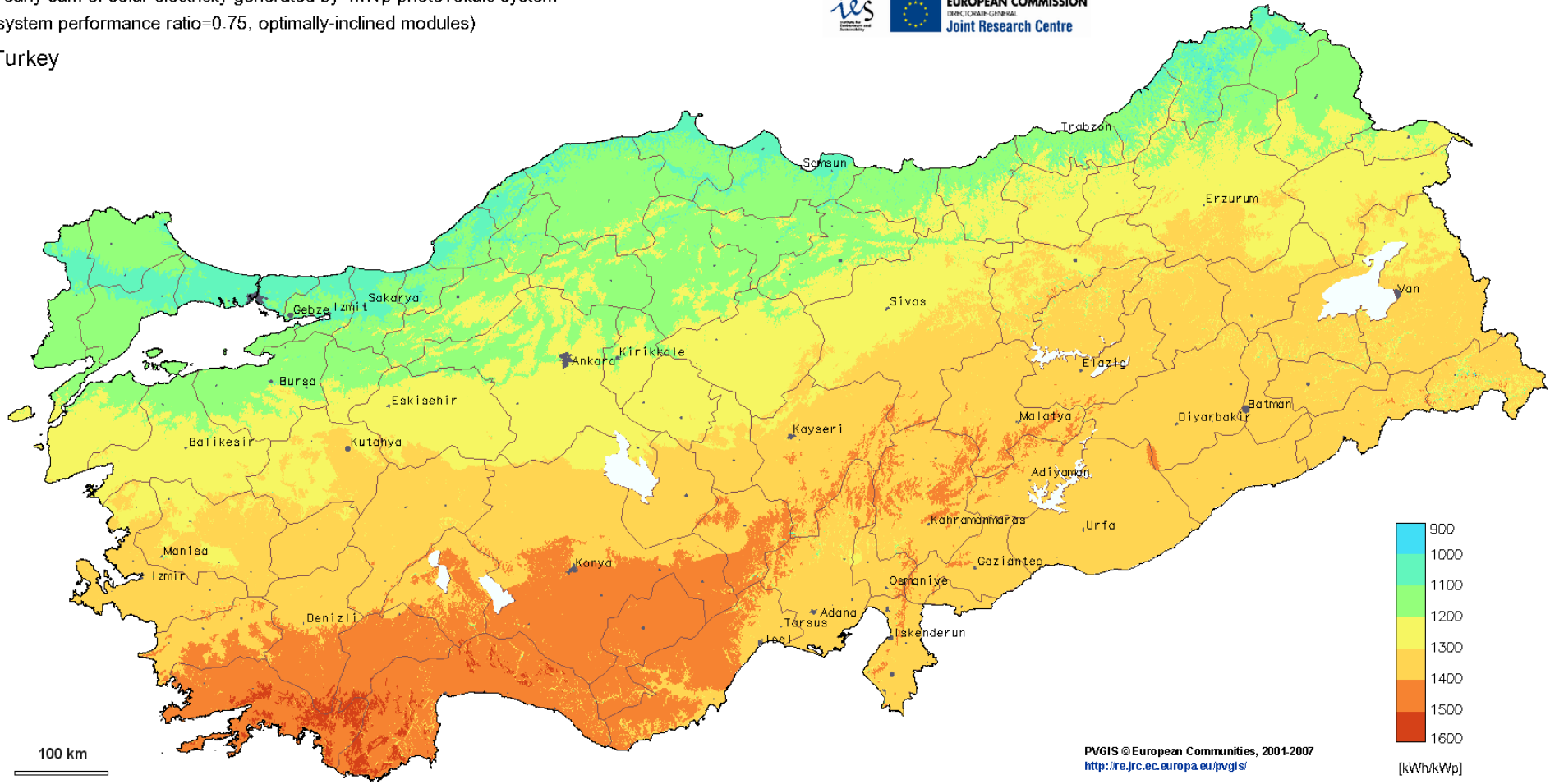
Yapılan bir araştırmaya göre fotovoltaik sistemlerden ülkelere göre üretilen elektriğin maliyetleri (<5 kWp)



Türkiye’de kWh başına ortalama maliyet 0.30 € civarındadır. Güneyde 0.25 €’a düşmektedir.

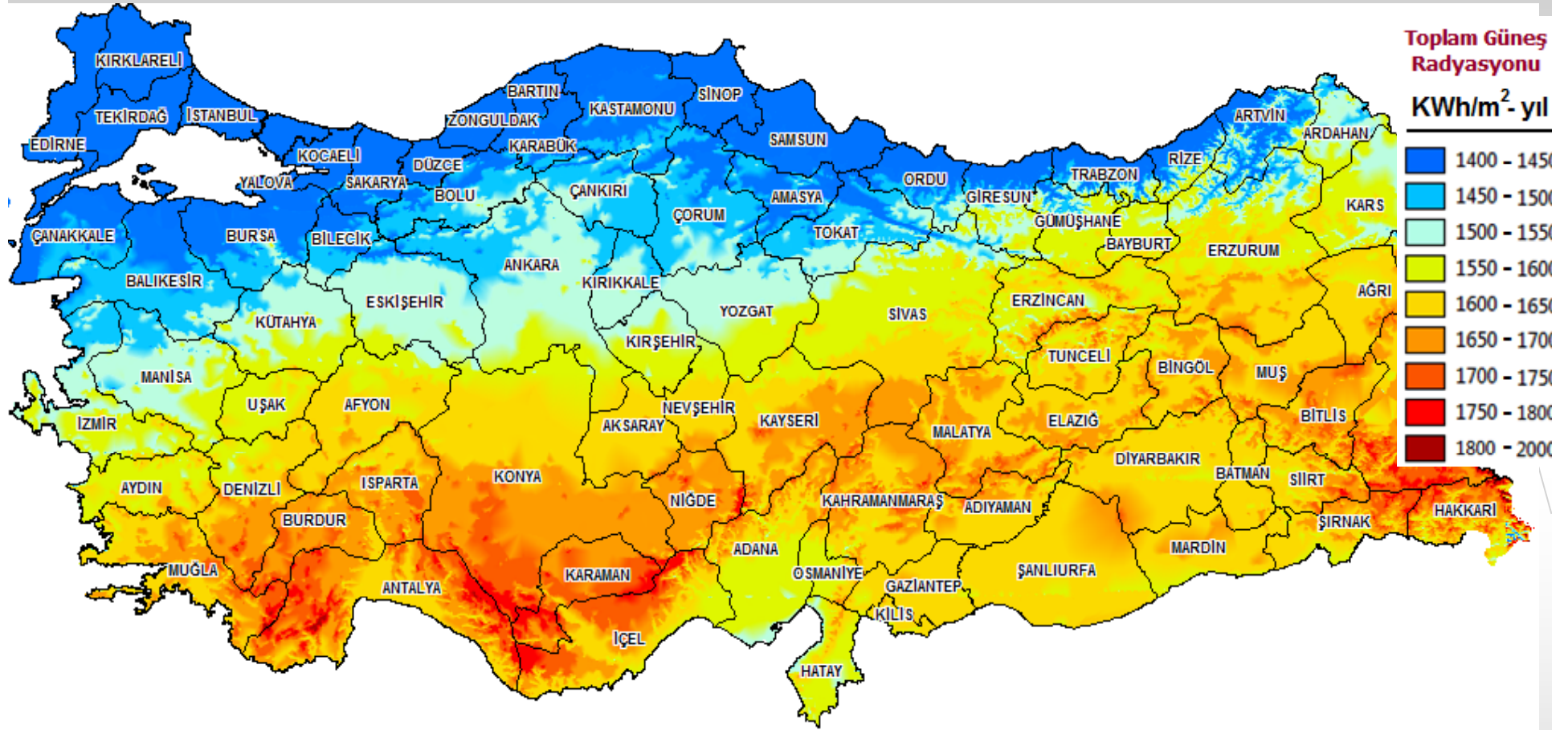
Yearly sum of solar electricity generated by 1kWp photovoltaic system
(system performance ratio=0.75, optimally-inclined modules)

Turkey



Kurulan her kWp PV gücünden yıllık 1100-1600 kWh arasında elektrik üretilebilir.

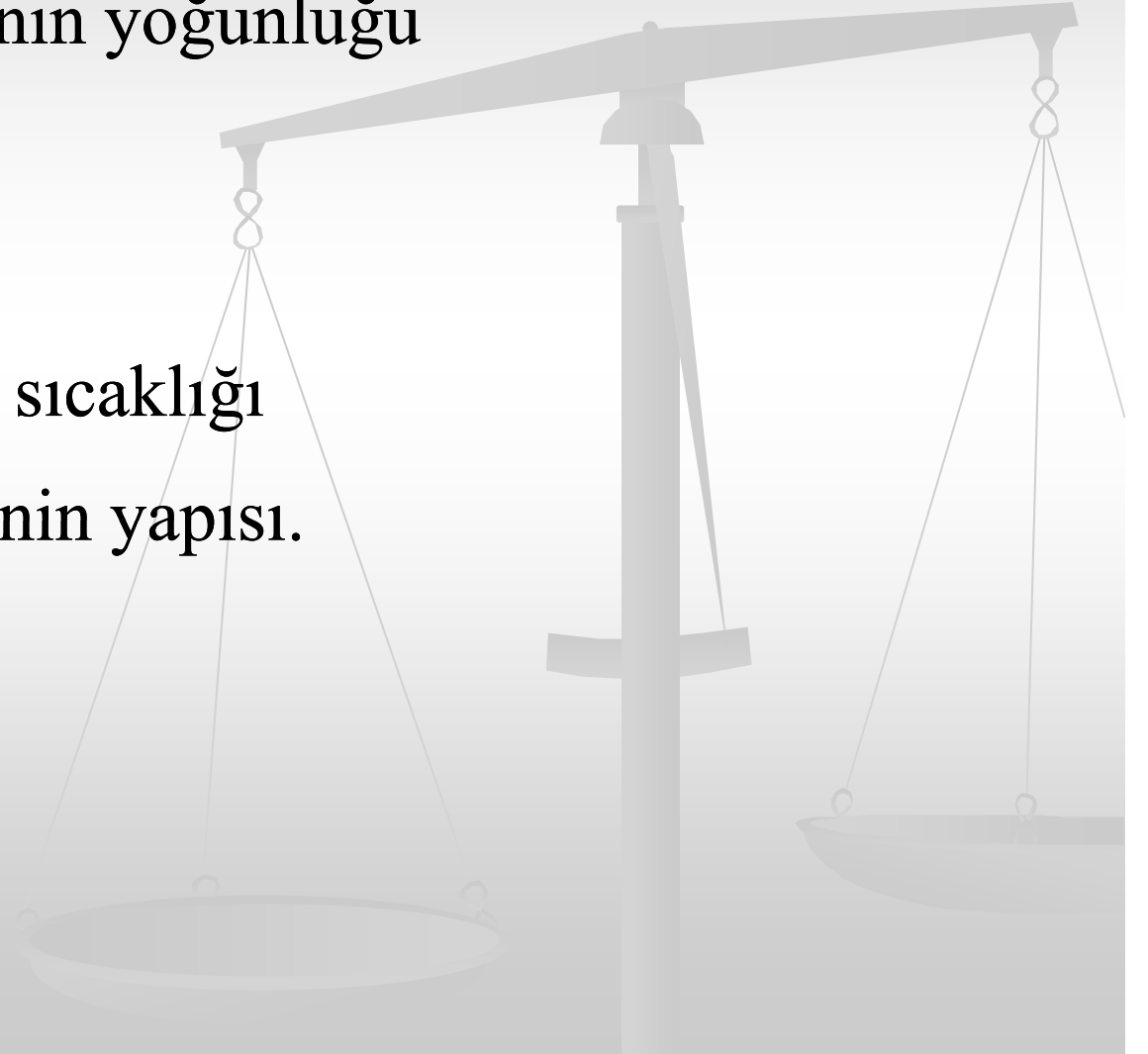
Türkiye Güneş Enerjisi Haritası Çıkarılmıştır



- Harita verileri, şehir merkezlerine kurulmuş çevresi yapı ve engeleyiciler ile kaplanmış meteoroloji istasyonlarının verileridir. Meteorolojik anlamda verileri doğru olabilir ama enerji planlaması açısından eksiklikler içermektedir.
- Buna ilave olarak haritadaki temel problemlerden birisi haritanın dayandığı ölçüm verilerinin belirli istasyonlarla sınırlı olması ve diğer noktalara veri taşınımında hatalar oluşmasıdır.

Fotovoltaiklerin elektrik üretiminde etkili olan temel parametreler

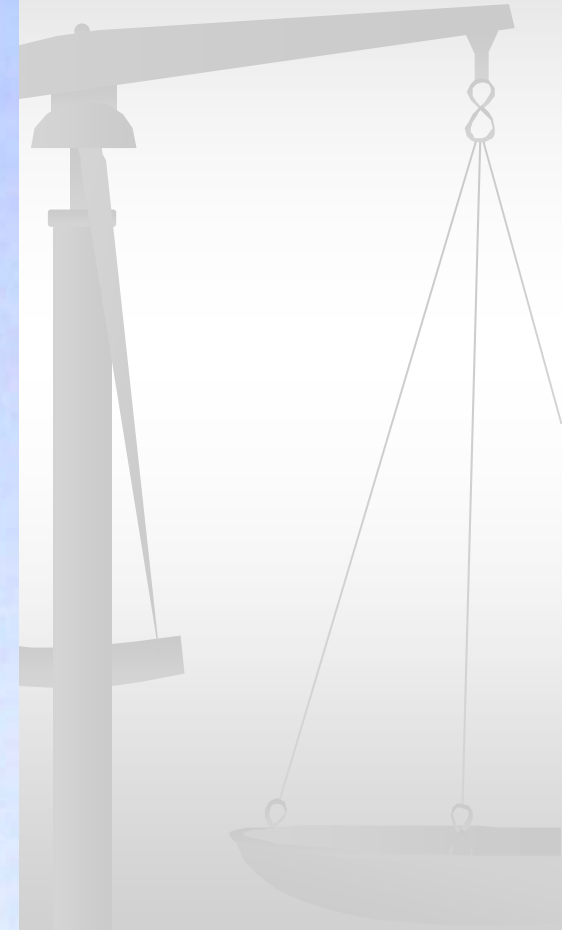
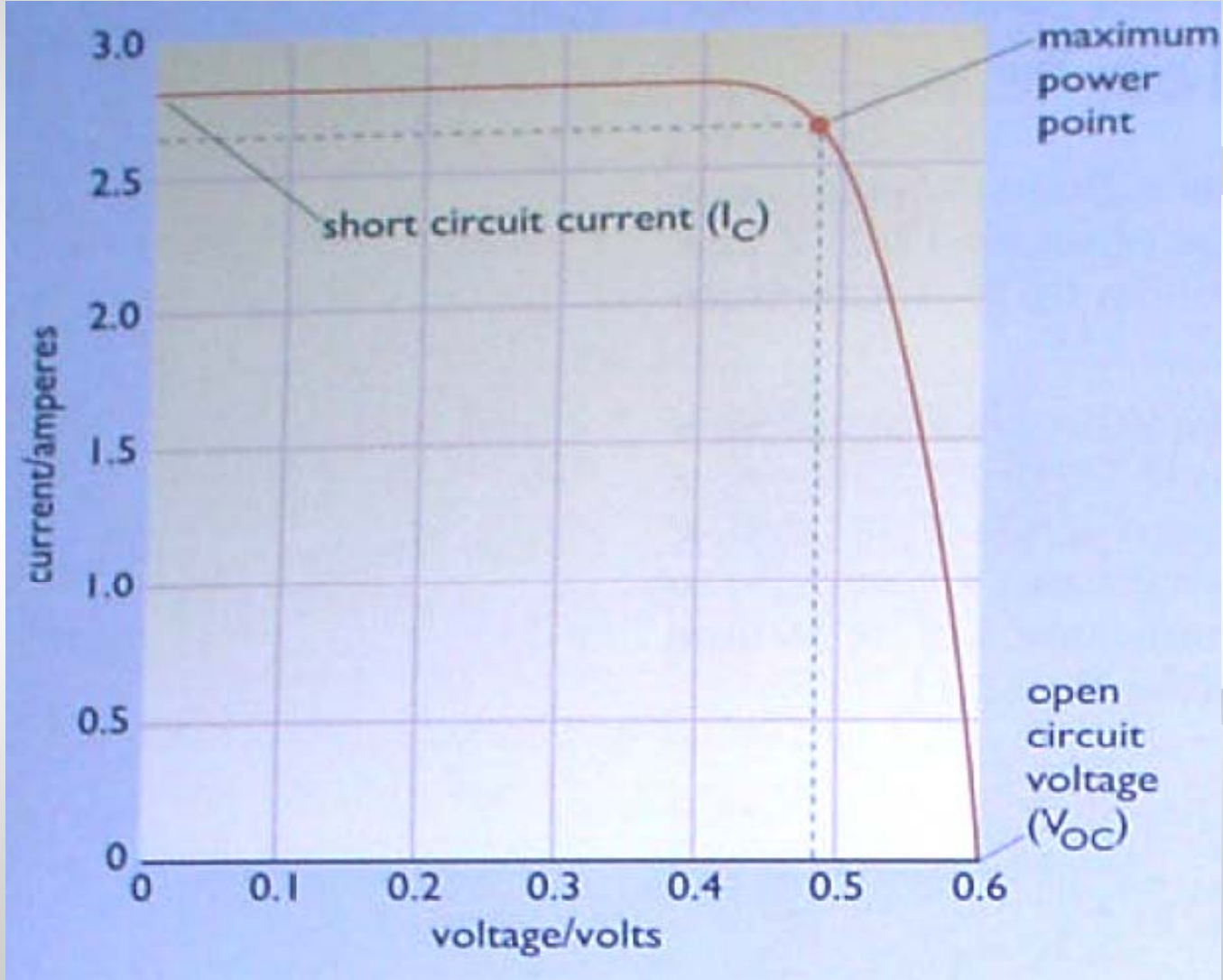
1. Gelen güneş ışınımının yoğunluğu
2. Güneşlenme süresi
3. Güneşin geliş açısı
4. En uygun verimlilik sıcaklığı
5. Kullanılan malzemenin yapısı.



Sıcaklık ve Fotovoltaik Pillerin Performansları

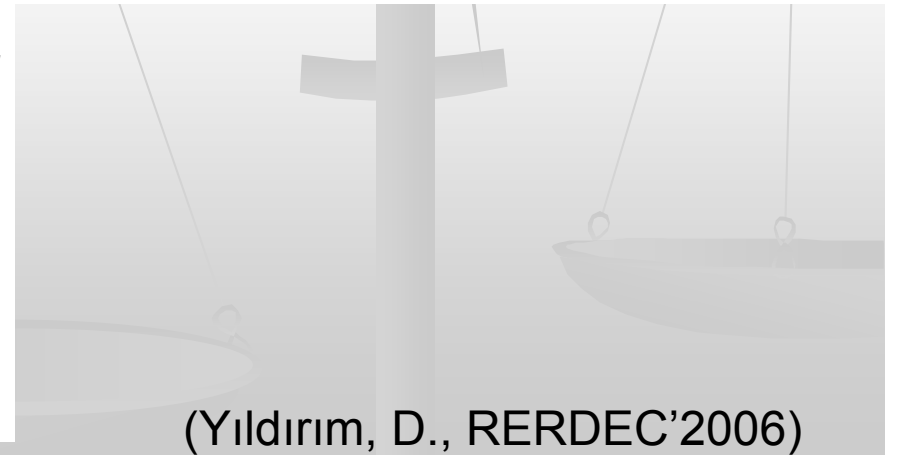
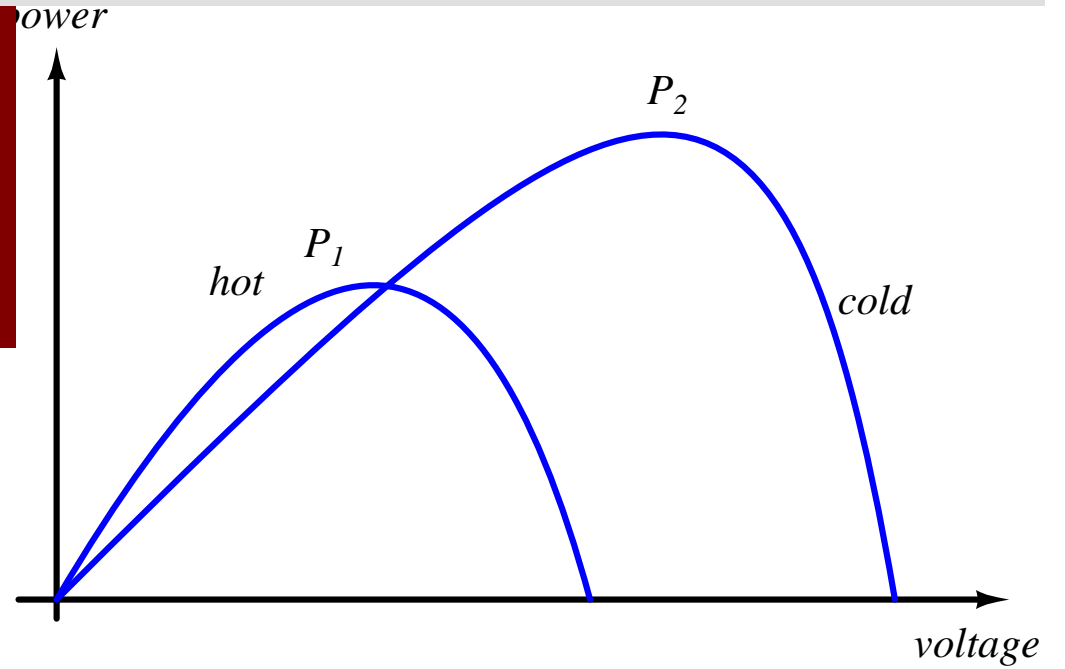
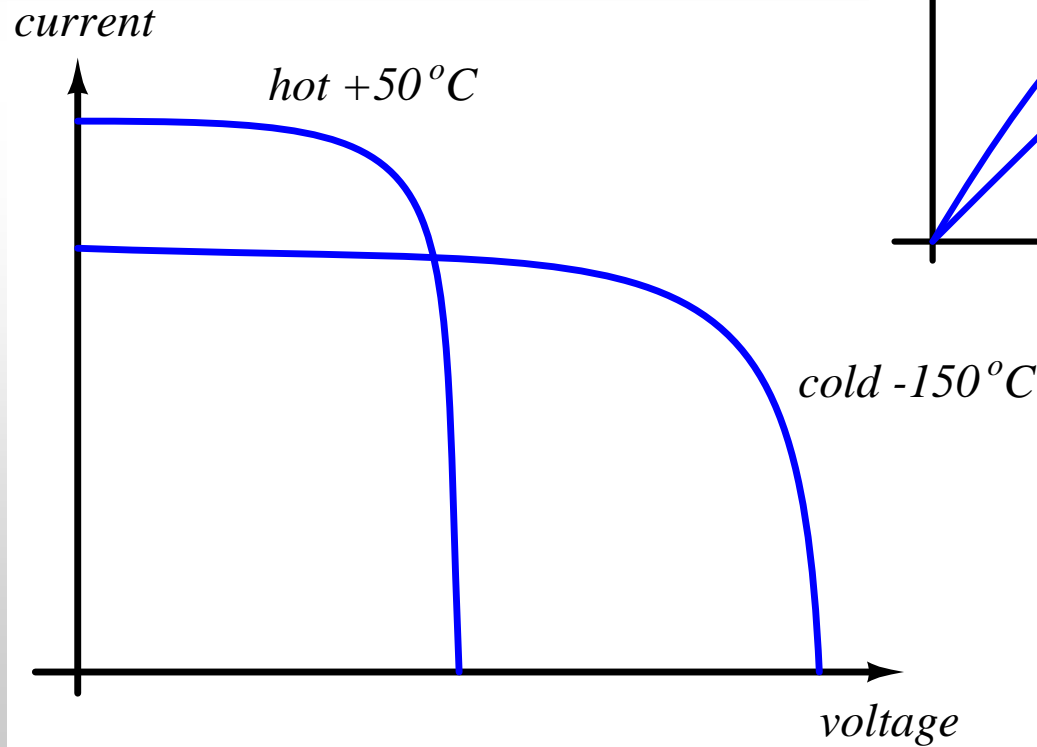
- Fotovoltaik piller bilinenin aksine yüksek sıcaklıktan ziyade çok düşük sıcaklıkta yeteri güneş ışınımını aldıkları konumlarda daha verimli çalışırlar. Yapılan bazı verimlilik hesaplamalarında güney kutbunun güneş aldığı süreçte verimliliğin daha yüksek olduğu görülmüştür.
- Fotonun elektrona dönüşümü esnasında düşük sıcaklıklarda bu dönüşümlerde kararlılık vardır.
- I-V eğrilerine baktığımızda yüksek sıcaklıkta akım artışı olmasına rağmen voltaj düşüşü olmaktadır. Sonuçta üretilen güç daha düşük değerlerde olmaktadır (Yıldırım, D., TEMEK'2008).

Fotovoltaik piller için tipik bir I-V eğrisi



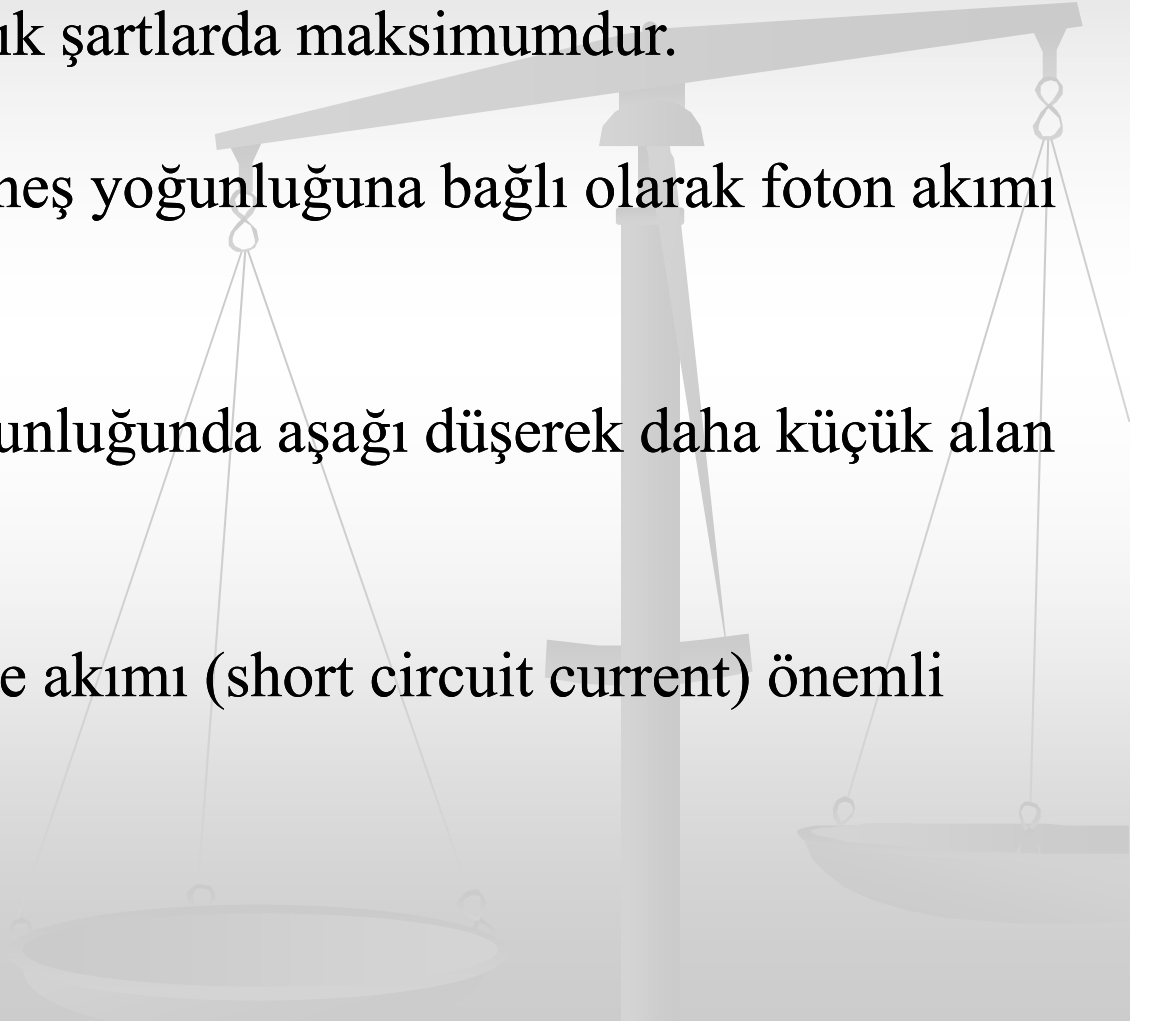
Fotovoltaik pillere sıcaklık etkisi

Düşük sıcaklıklarda PV'lerin ürettikleri güç bilinenin tersine daha yüksek olmaktadır.



Fotovoltaik piller ve güneş ışınımı yoğunluğu

- Foton akımı güneşli tam açık şartlarda maksimumdur.
- Parçalı bultulu şartlarda güneş yoğunluğuna bağlı olarak foton akımı azalacaktır.
- I-V eğrisi düşük güneş yoğunluğunda aşağı düşerek daha küçük alan kaplayacaktır.
- Bulutlu bir günde kısa devre akımı (short circuit current) önemli oranda düşecektir.

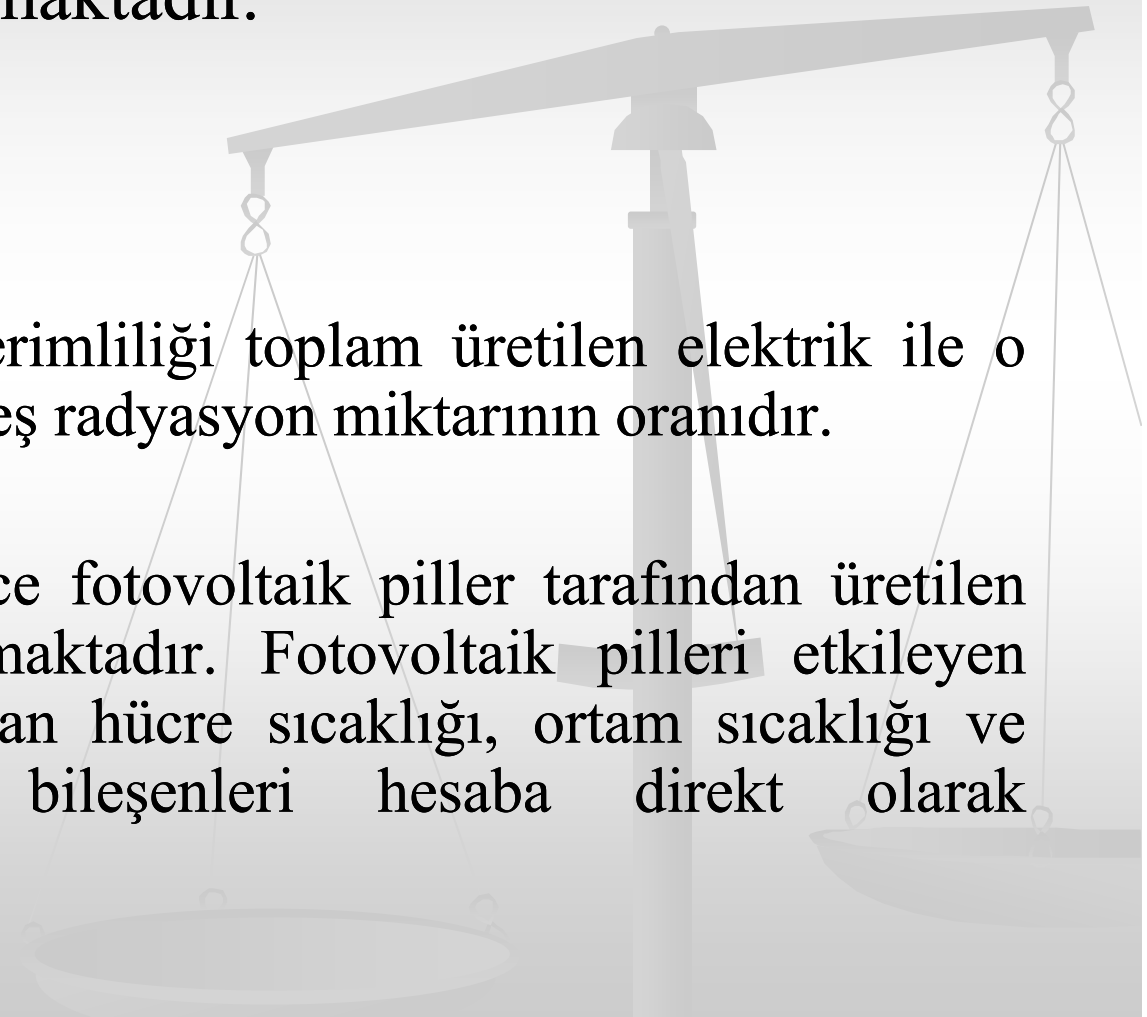


Verimlilikler

Güneş fotovoltaik sistemde güç dönüşüm faktörü (fill Factor) bazen verimlilik ile karıştırılır ve bu kullanım bazı zorluklara yol açmaktadır.

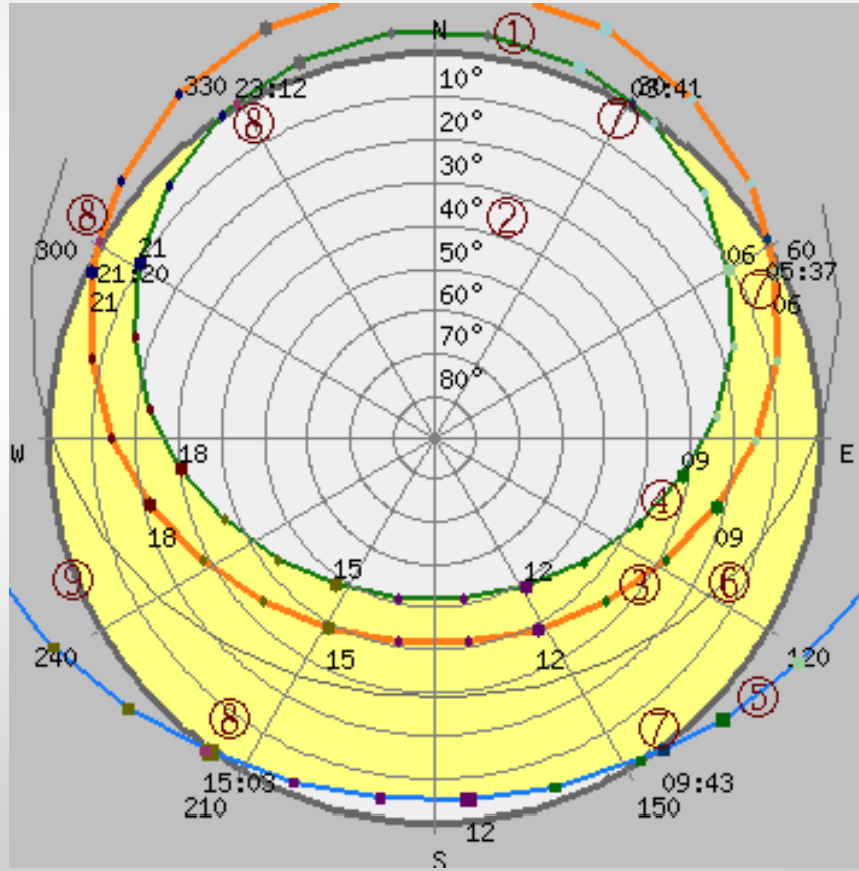
$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}}$$

- Fotovoltaik pillerin verimliliği toplam üretilen elektrik ile o alana gelen global güneş radyasyon miktarının oranıdır.
- Bu tanımlamada sadece fotovoltaik piller tarafından üretilen elektrik hesaba katılmaktadır. Fotovoltaik pilleri etkileyen diğer bileşenlerden olan hücre sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve hücrenin kimyasal bileşenleri hesaba direkt olarak katılmamaktadır.



“Güneş izleme grafiği” veya “güneş eğrisi”, güneş yörüngesinin gökyüzünde izlediği yolu gösterir. Bu izlenen yol belirlenen gün içerisinde güneşin azimut (soldan sağa) ve yükseklik (yukarıdan aşağıya) açılarını gösterir.

Azimut açısının 60° ve yükseklik açısının 30° olduğu durumları düşünelim. Bu açıları bulmak için diyagramın tam ortasında durduğumuzu ve kuzeyden başlayarak 60° sağa doğru hareket ettiğimizi düşünelim. Ayrıca yükseklik açısı yataydan itibaren 30° yukarı bakılmasıyla elde edilebilir.



1. Azimut açısı
2. Yükseklik açısı
3. Örnek gün güneş yörüngesi
4. 21 Haziran güneş yörüngesi
5. 21 Ekim güneş yörüngesi
6. Ekinokslardaki güneş yörüngesi
7. Güneşin doğuşu
8. Güneşin batışı
9. Güneşin yataydaki durumu

Örneğin 3 nolu güneş yörüngesi izlendiğinde Güneşin kuzey-doğu (azimut= 60°) da $05:37$ 'de doğduğu ve güneş batışının $21:20$ 'de kuzey-batı (azimut= 300°) da gerçekleştiği görülmektedir. Bugün içerisinde yükseklik açısı öğle saatlerinde 50° 'ye yaklaşmaktadır.

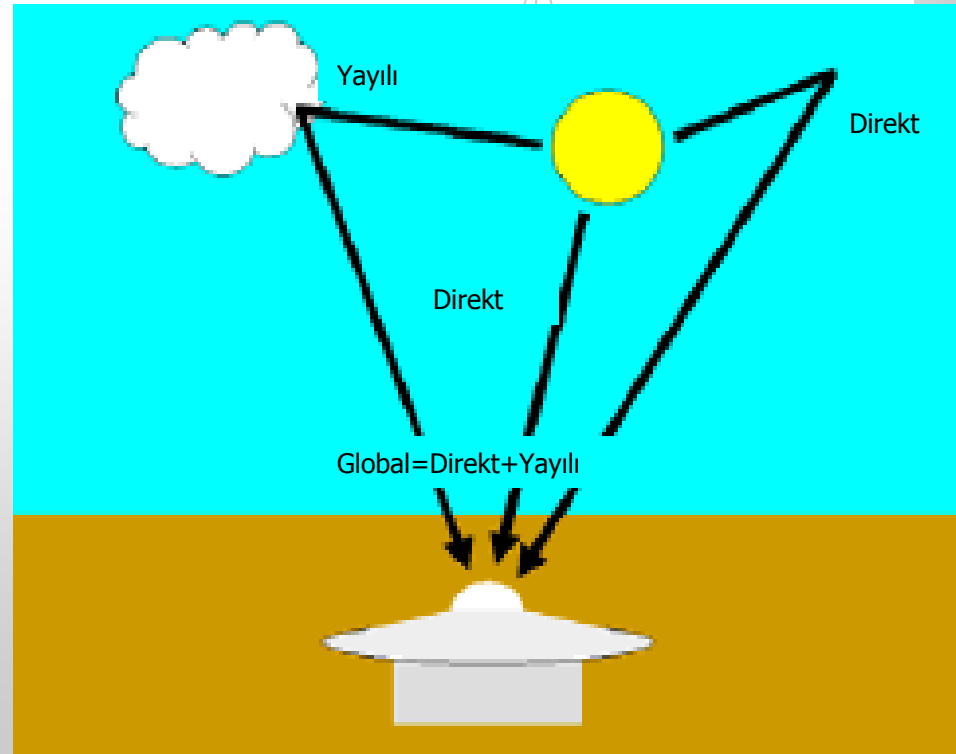
Güneş Işınımı Ölçümleri Temelde

- Gökyüzünün durumuna
- Kısa süreli zaman değişimine (dakika, saat)
- Uzun süreli zaman periyoduna (mevsim, yıl, on yıllara)
- Bulunulan noktaya göre değişim göstermektedir.



GÜNEŞ IŞINIMI ÇEŞİTLERİ

- Güneşten Direk Gelen (Direkt ışınım)
- Güneş Dışında Her Yönden Gelen (Diffüz, yayılı ışınım)
- Gökyüzü Toplamından Gelen (Global veya Toplam Işınım, $\text{Toplam Işınım} = \text{Direkt} + \text{Yayılı}$)



Güneş Işınımı Ölçen Aletler

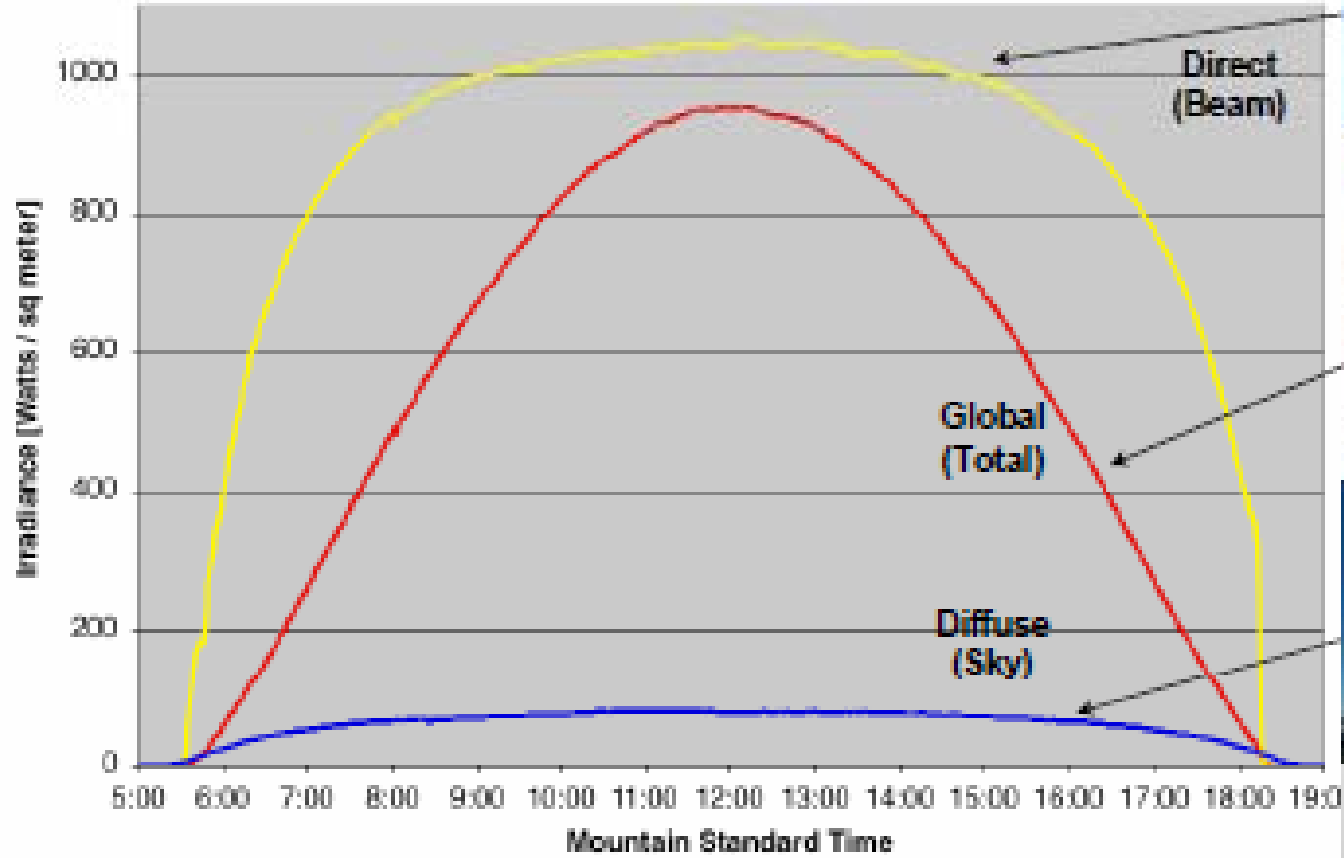
Direct Normal Işınım	Yataya Gelen Toplam (Global) Işınım	Yayılı (Diffüz) Işınım
Pirheliyometre tarafından güneş izleyici yörünge sistemleri yardımıyla ölçülmektedir	Yatayda Piyranometre ile ölçülmektedir	Gölgelendirilmiş Piyranometre ile ölçülmektedir. Aynı zamanda İzleyici Topları da Bulunmaktadır



AÇIK GÖKYÜZÜ

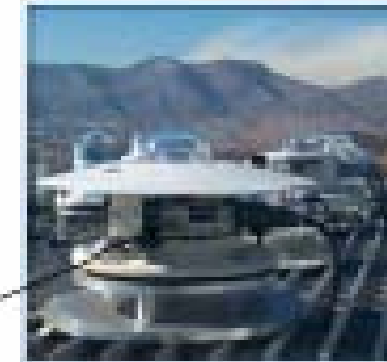
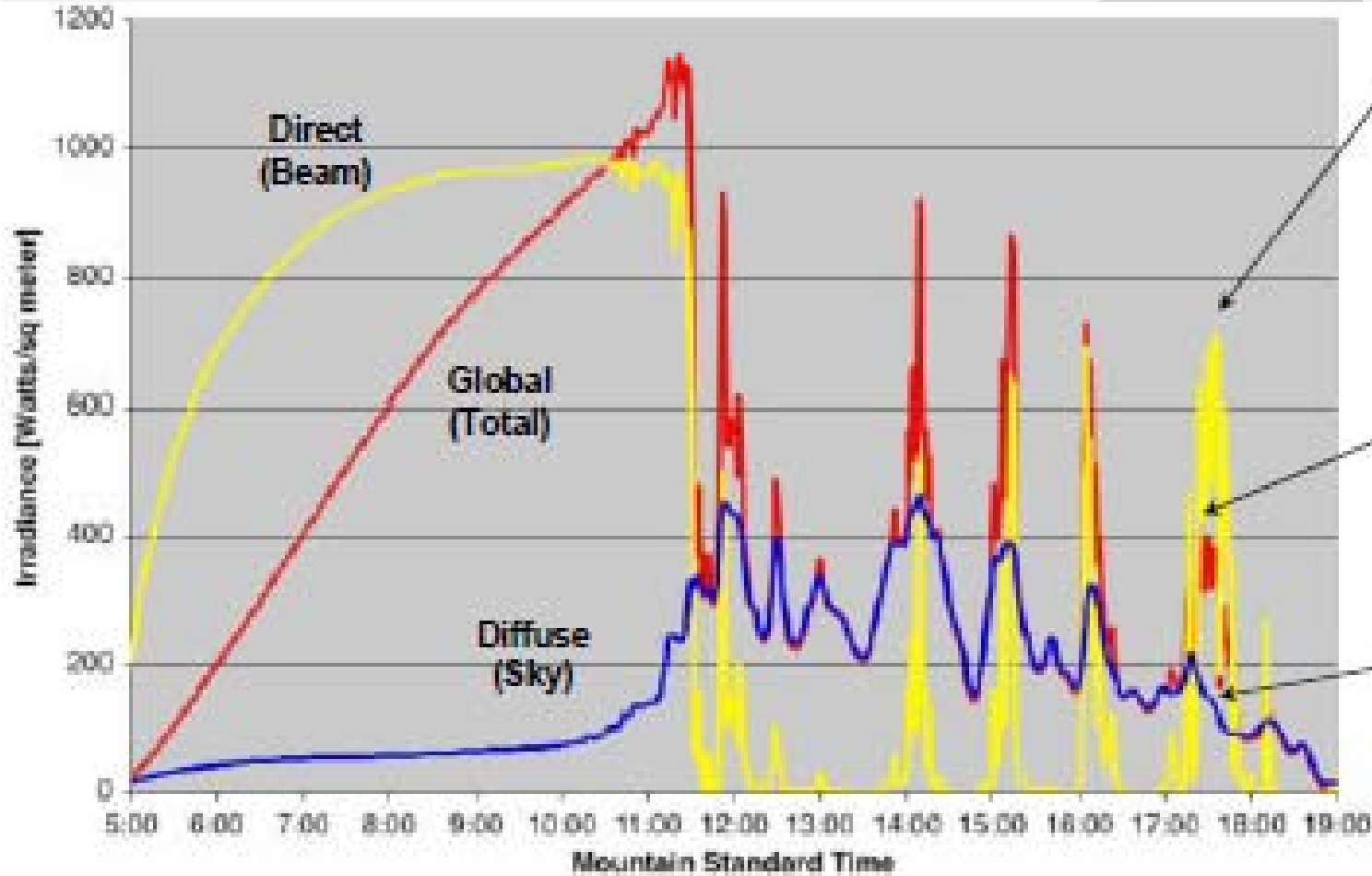
Direkt ışınımda izleyici sistem güneşi takip etmektedir. Toplam ve difüz ışınım değerleri ise yatayda ölçülmektedirler.

Golden Colorado, 9 Nisan 2003



Parçalı Bulutlu Gökyüzü Koşulları Güneş Işınımı Ölçümleri

Golden Colorado, 3 Temmuz 2004

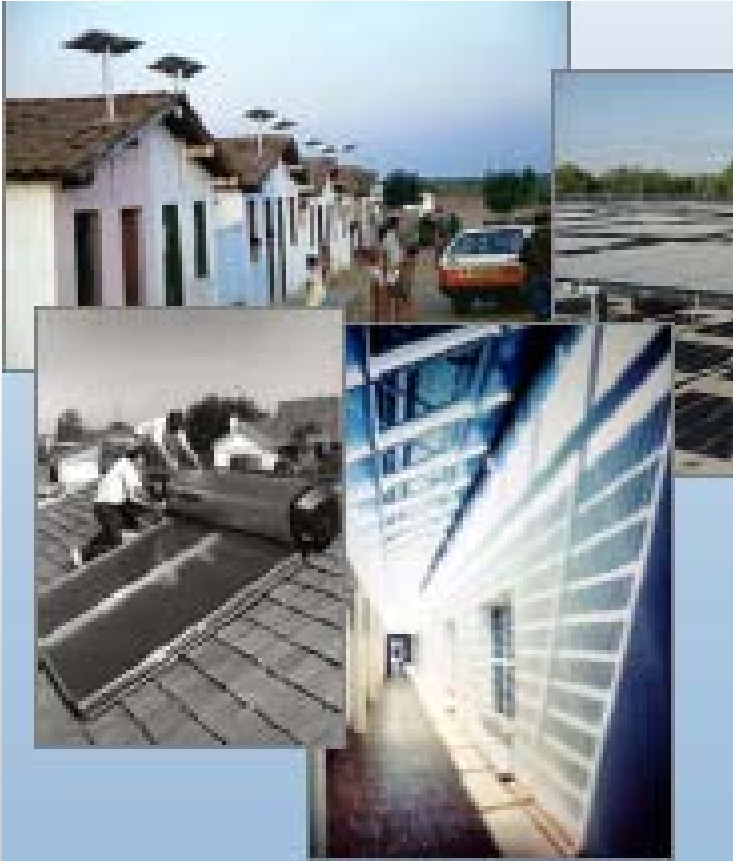


Güneş ışınım miktarını etkileyen bileşenler ve etkileri

<u>Bileşen</u>	<u>Etkileri</u>
Güneş çıktısı	11 yıllık güneş peryodu
Dünya-güneş mesafesi	Yıllık %3.5 değişim
Bulutlar	Baskın faktör görevi
Su buharı	Seçici yutucu
Hava Kirliliği	Direkt ışınımın %50 azaltılması
Orman Yangınları	Bölgesel etki
Volkanik küller	Küresel yıllık etki
Konum	Güneşin konumu
Gün içindeki zaman ve mevsim	Güneşin konumu

Güneş Işınımı Verisini Nerede ve Nasıl Kullanırız?

- Teknoloji Seçiminde
- Kurulumda
- Sistem Tasarımında
- Performans İzlemede
- İleriye yönelik enerji üretim tahminlerinde



Veri Hassasiyetleri Ne Oranda Olmalı?

- RİSKLERİ BELİRLEMEDE
 - Kaynağın maliyet/fayda analizinde temel oluşturmaktadır
- UYGULAMA ÇEŞİDİNİ BELİRLEMEDE
 - Günışığı ve binaların termal verimlilikleri
 - Güneş termik santrallerinde konsantre kolektörler
 - Fotovoltaik pil uygulamalarında
 - İklim değişikliği veya klimatolojik hesaplamalar için bulut analizleri
- İLGİLENİLEN ZAMAN ARALIĞI NE OLMALIDIR?
 - Ölçüm belirsizlikleri uzun yıllara dayalı ortalamalar ile azalacaktır
 - Son yıllardaki veri hassasiyetleri teknolojik gelişmelerden dolayı daha yüksek olmaktadır.

Verinin Hassasiyeti Ne Oranda Olmalıdır?

	Pirheliyometre (Direkt Normal)	Piranometre Global (Toplam)
Kalibrasyon	$\pm\%1.6$	$\pm\%4.2$
Alan Verisi (En iyi uygulama)	$\sim \pm\%5$	$\sim \pm\%5$

•Fotovoltaik pillerde yapılan verimlilik hesaplamalarında standart şartlar gözönünde tutulmaktadır. Bu şartlar 1000 W/m² toplam güneş ışınımı, 25 °C ortam sıcaklığı ve diğer atmosferik etkilerin olmaması durumudur.

•Fotovoltaik pillerde atmosfer ve diğer çevresel etkilerin verimlilik üzerine etkileri **oran azaltma faktörü** ile hesaba katılmaktadır. Bu faktörde, yıl içindeki zaman, bulutluluk, toz, sıcaklık, hava kirleticileri, kar miktarı, gölge vb. parametreler etkili olmaktadır. Belirtilen her bir parametrenin etkisi verimlilik hesaplamalarında kullanıldığında aslında beklenen verimlilikler hesaplanmış olacaktır.

• Aşağıdaki tabloda özel bir istasyonda yatay yüzeyde ölçülmüş toplam güneş ışınımı değerlerine göre seçilen bir fotovoltaik pil sisteminde oran azaltma faktörü düşünülerek verimlilik hesaplamaları yapılmıştır (Yerli, 2009).

Aylar	Minimum Verim (%)	Ortalama Verim (%)	Maksimum Verim (%)	Üretici Ürün Verimi (%)
Ocak	6	16	24	17
Şubat	6	16	25	17
Mart	5	12	18	17
Nisan	4	11	16	17
Mayıs	4	9	14	17
Haziran	4	9	15	17
Temmuz	4	10	15	17
Ağustos	4	9	14	17
Eylül	5	12	18	17
Ekim	5	12	19	17
Kasım	6	15	24	17
Aralık	7	17	26	17

Bu faktörlerin gözardı edilmesi durumunda fotovoltaik pil üreticisinin verdiği verimlilik %17 'dir.

Tablo: Oran azaltma faktörü ve üreticinin verdiği değerlere göre hesaplanan verimlilik değerleri

- Aynı istasyonda 2007-2008 yılları arasında toplam güneş ışınımı değerleri saatlik ortalamalar şeklinde ölçülmüştür. Bunun sonucunda toplam ışınım değerleri ile Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) değerleri karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda bağıl hata değerlerinin bazı aylarda %30'un üzerinde olduğu görülmüştür (Yerli, 2009).

AYLAR	GEPA (kWh)	ÖLÇÜM (kWh)	BAĞIL HATA (%)
Ocak	1,47	1,62	9
Şubat	2,36	2,3	3
Mart	3,21	3,06	5
Nisan	4,4	3,63	21
Mayıs	5,6	5,84	4
Haziran	5,99	7,06	15
Temmuz	5,82	7,08	18
Ağustos	5,24	6,77	23
Eylül	4,16	6,13	32
Ekim	2,8	3	7
Kasım	1,7	1,91	11
Aralık	1,2	1,43	16

Sonuçlar

- Güneş enerjisi ve özellikle fotovoltaik pil uygulamalarına dünyada ve Türkiyede hızlı bir üretim ve yatırım süreci yaşanmaktadır.
- Enerji planlamalarında haritalar ile proje geliştirmek verimlilik ve yatırımlar açısından büyük sorunlara neden olmaktadır.
- Proje başlatılabilmesi için temelde yapılması gereken güneş ışınımı ve güneşlenme süresi değerlerinin en az bir yıllık süreçte ölçülmesidir.
- Fotovoltaik pilleri etkileyen atmosferik ve çevresel etkilerin ölçülmesi ve bu doğrultuda fizibilite çalışmalarının gerçekleştirilmesi gerekir.

Kaynaklar

- New et al., 2002, NASA Langley Research Center Atmospheric Science
- Şahin, A.D., 2008, RERDEC kurs notları, www.rerdec.org
- Şahin, A.D., 2008, Temiz Enerji Kursu Ders Notları , www.uteg.org
- Yerli, B., 2009, Fotovoltaik pillerde fizibilite süreci ve örnek uygulama. Bitirme Ödevi, İTÜ Meteoroloji Müh. Bölümü.
- Yıldırım, D., 2006, RERDEC kurs notları, www.rerdec.org
- Yıldırım, D., 2008, Temiz Enerji Kursu Ders Notları, www.utrg.org
- European Commission, DG Joint Research Centre
- www.eie.gov.tr
- www.nrel.gov
- www.solarbuzz.com