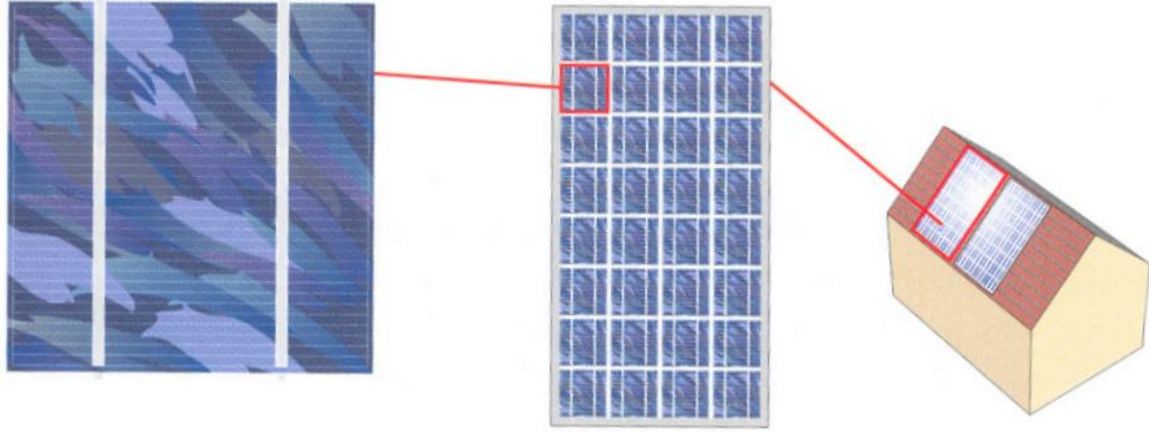


Güneş Pilleri ve Güneş Enerji Sistemleri

Hazırlayanlar: Osman Beyit – Şirin Dervişoğulları

Bölüm 1 : Güneş Hücreleri, PV Modüller ve Bazı Temel İlkeler

Güneşler elektrik elde edilen sistemlerin en temel yapıtaşı güneş hücreleri veya fotovoltaiik hücrelerdir. (PV-Cells). Bunlar üzerine ışık düştüğü zaman doğru akım (DC) üreten elemanlardır. Bu PV hücreler biraraya geldiği zaman güneş modüllerini (PV modül) oluşturur. Burada **güneş panelleri denmemesinin** sebebi, güneş enerjisinden su ısıtan termal panellerle karıştırılmasını önlemektir.



PV Hücresi - PV modülü - Güneş Enerji Sistemi

En temel bir **PV-hücre** silikon-kristalinden oluşan hücredir. Böyle bir hücre yaklaşık olarak 0.5-0.6 arası doğru gerilim (DC) üretir. Bu PV hücrelerin seri bağlanmasından bir **PV-modül** oluşur.

Güneş ışığından elektrik elde edilen bir sistemde, **PV hücresinin verimini, PV-modülünün verimini ve sistemin verimini** birbirinden farklı olarak anlamak gerekir.

Piyasadaki PV-hücrelerinden alınabilecek en iyi verim genelde % 20 şeklindedir, yani üzerlerine düşen ışık enerjisinin %20'sini elektrik enerjisine çevirir. Bir PV-modülünün verimi bu rakamdan biraz daha azdır.

Sistemin verimini etkileyen etkenler faktörler şöyle düşünülebilir:

- 1) Panellerin yerleştirildiği açı
- 2) Üzerlerine düşen ışık veya gölge miktarı
- 3) Sistemde kullanılan kablolar ve gerilim düşümleri
- 4) Sistemde kullanılan inverterler, vericiler, sigortalar gibi diğer malzemeler.

PV – Modül Teknolojisi

Günümüzde 100 üretici firma tarafından yaklaşık 800 değişik tipte PV modülleri üretilmektedir. Ancak bu PV modülleri üç ana grupta toplayabiliriz.

- 1) **Monokristal silikon hücreli PV modüller**
- 2) **Polykristal silikon hücreleri PV modüller (veya multikristal denebilir)**
- 3) **İnce tabaka (thinfilm) – amorphous –silikon hücreli PV modüller**

Bu tiplerin birbirlerine göre üstünlükleri olabildiği gibi zayıf tarafları da vardır.

Mono ve poly kristal silikon hücreleri olan PV modüller piyasada en fazla kullanılan modüllerdir (%93). Monokristal silikondan yapılan PV- modüllerin verimi polykristal silikondan yapılan PV modüllerden %1.59 ile %2 arası daha iyidir. Ancak polykristaller biraz daha ucuzdur.

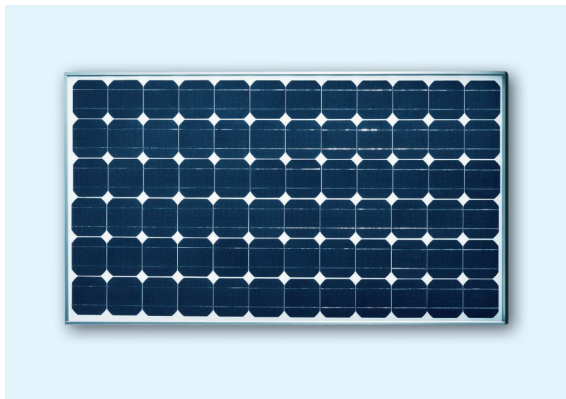
İnce tabaka (thin film) teknolojisi kullanılan hücrelerde verim diğerlerine göre daha düşüktür. Ancak bunlar gölge ortamlarda ve yüksek sıcaklığı olan yerlerde daha fazla dayanıklıdır. Ayrıca fiyatları daha ucuzdur.

Aşağıdaki tabloda değişik malzemelerden yapılan **PV modüllerin verimi** ve **1kWp** enerji için kaplayacakları **alan** özetlenmektedir.

Cell material	Module efficiency	Surface area need for 1 kW _p
Monocrystalline silicon	11–16 %	7–9 m ² 
Polycrystalline silicon (EFG)	10–14 %	8–9 m ² 
Polycrystalline silicon	8–10 %	9–11 m ² 
Thin film copper-indium-diselenide	6–8 %	11–13 m ² 
Amorphous silicon	4–7 %	16–20 m ² 

© www.solarpraxis.de

Aşağıdaki resimlerde ise bu PV-modüller görülebilir.



Monokristal PV modül



Polykristal PV modül

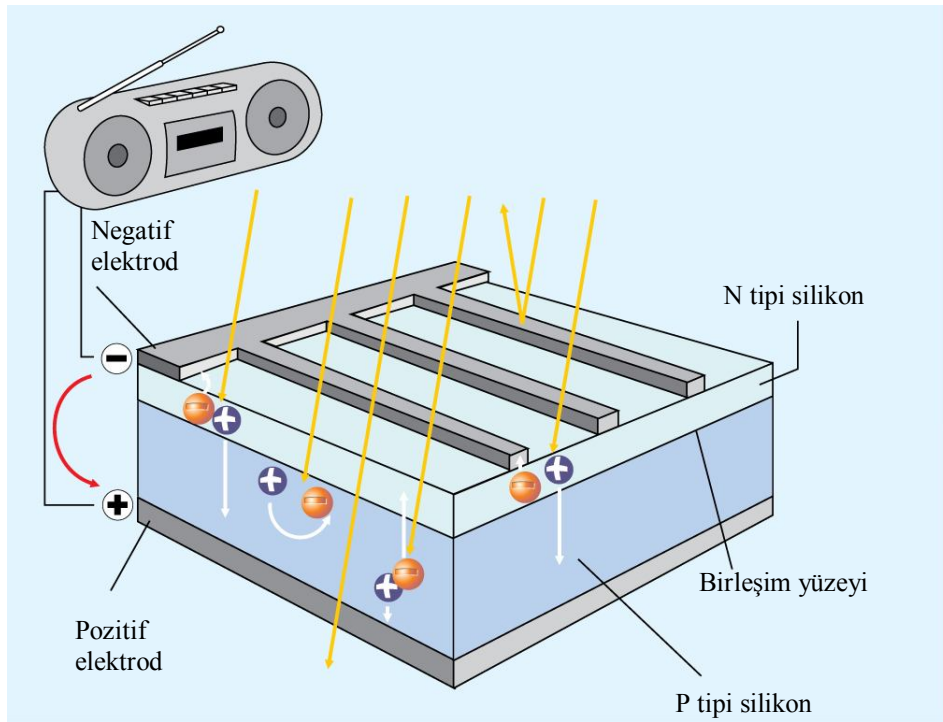


© United Solar Ovonix

Bükülgen Amorphous PV modülü

Güneş Hücrelerinin yapısı ve bazı elektriksel karakteristikleri

PV hücrelerinin çoğu elektronik sanayide kullanılan ve **yarıiletken** olan silikon (Si) yapılmaktadır. Hammadde olarak guartz kumu (SiO_2) kullanılmaktadır. Önce kimyasal olarak saf halde üretilen silikon daha sonra boron (B) ve fosfor (P) karıştırılarak P tipi ve N tipi olmak üzere iki tür yarıiletken hale getirilir. P ve N tipi katmanlar aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi birleştirildikten sonra ızgara şeklindeki iletkenlerin (elektrodların) arasına konur. Daha sonra ortaya çıkan hücre ışığın yansımasını önleyen bir tabaka ile kaplanır.



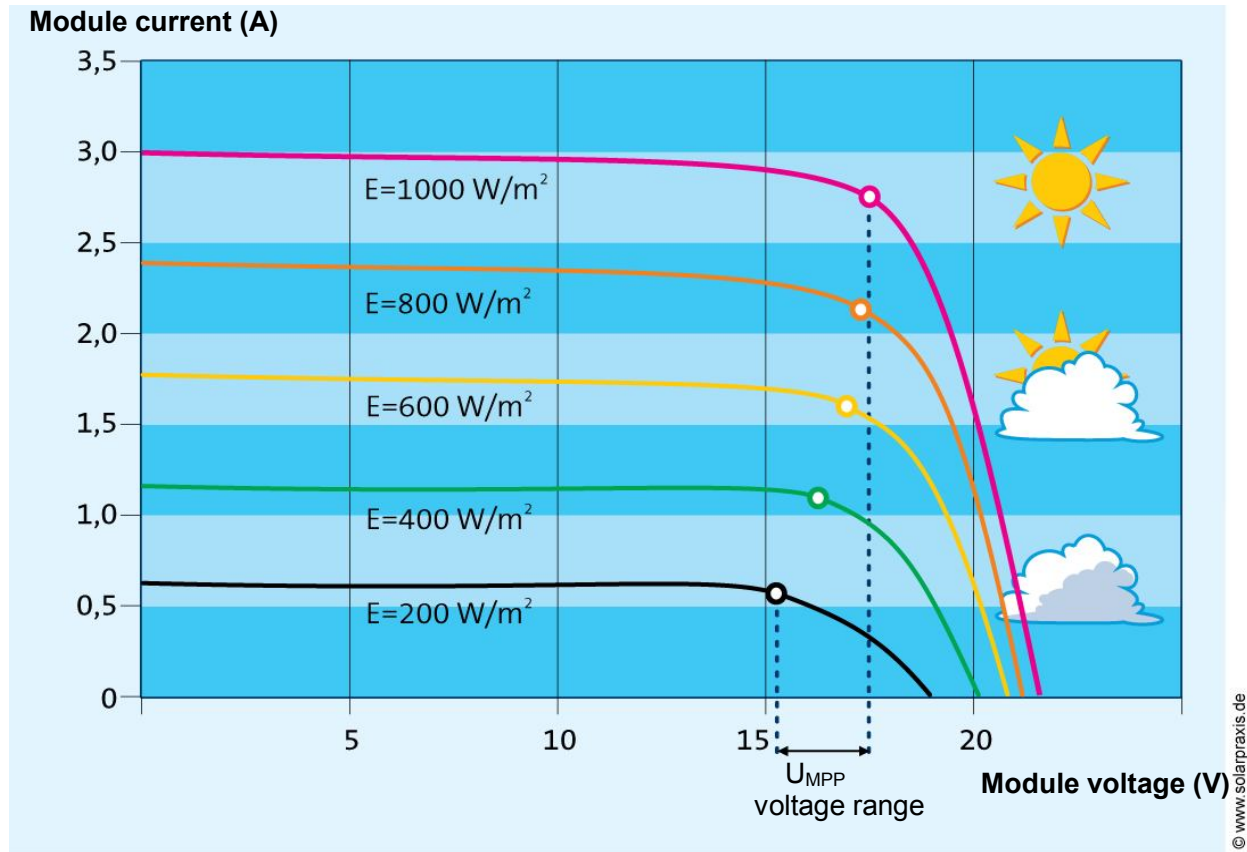
© www.solarpraxis.de

a. Tepe Gücü (Peak Power – Wp)

Bir PV hücresinden alınacak güç üzerine düşen ışık enerjisi (solar radiation) ile doğru orantılıdır yani ışık şiddeti arttıkça güç (birimi watt) de artar. Bir hücrenin veya modülün üretebileceği maksimum güç tepe gücü (peak power) olarak anılır. Birimi Wp watt-peak'dir.

Her PVmodülün etiketinde veya kataloğunda Standard Test Şartlarında (STC-Standard Test Conditions) üretilen maksimum güç yazar. Bunun anlamı, yani Standard Test Şartları (STC) 1000 W/m^2 güneş enerjisinin 25°C 'lık sıcaklığın ve hava kütesinin (Air Mass) 1,5 olduğu şartlardır. Sıcaklık ve Hava Kütesi (Air Mass) değiştikçe üretilen güçte değişir.

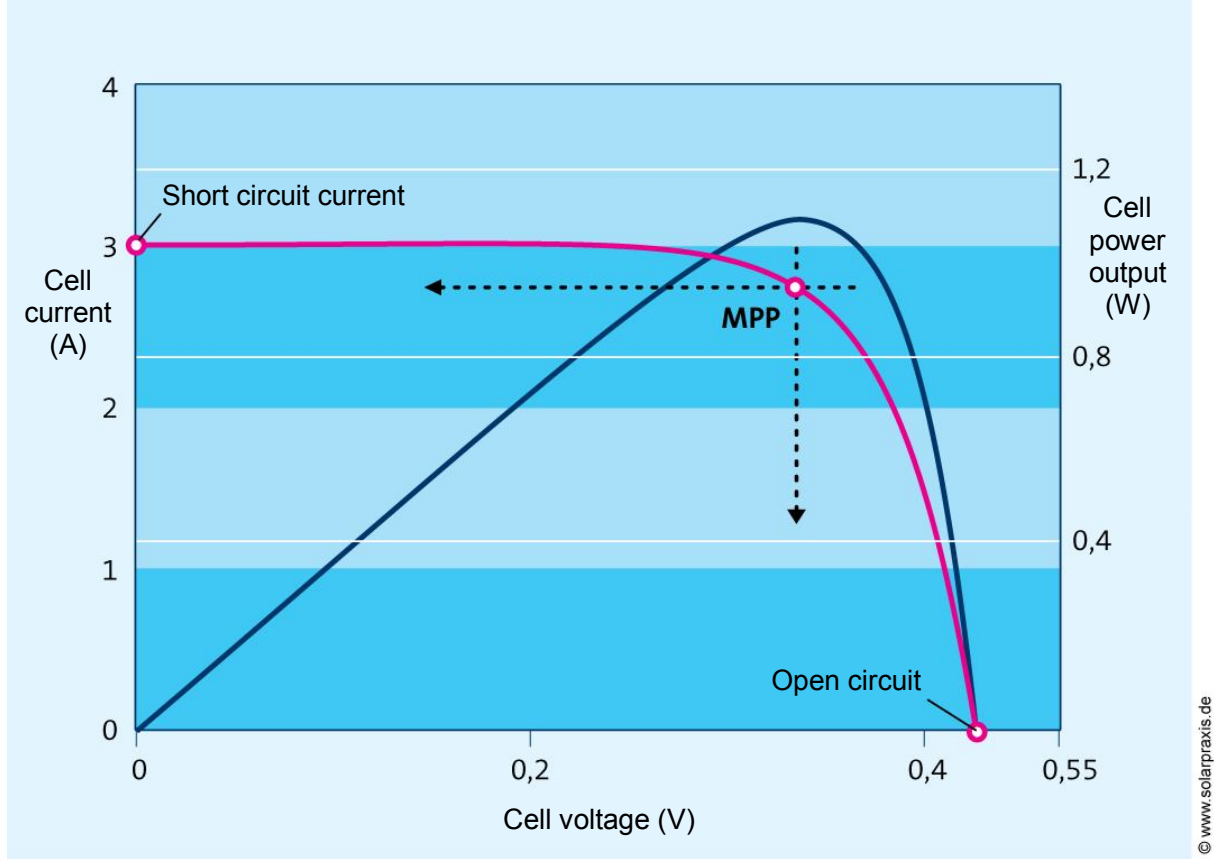
Aşağıdaki şekilde bir PV modülünün Akım – Gerilim (I V) eğrisi görülmektedir. Elde edilen güç (W) ve akım (A) güneşten gelen ışık şiddeti (solar radiation) ile artar. Ancak gerilim (V) değişikliği çok azdır.



b. Kısa Devre Akımı (Short circuit current I_{sc}) ve Açık Devre Gerilimi (Open circuit voltage V_{oc})

Bir PV modülün dikkate alınması gereken en önemli özellikleri ürettiği akım (A) ve gerilim (V) değerleridir. Üretilen akım PV modülün üzerine düşen ışık şiddeti ve kapladığı alan ile değişir, ancak PV modülün ürettiği gerilim ışık şiddeti ile pek değişiklik göstermez.

Bir PV modülü kısa devre edildiği zaman maksimum akımını üretir . Buna **kısa devre akımı (I_{sc})** denir. PV modülü açık-devre bırakıldığında ise uçlarında ölçülen gerilim değerine ise **açık devre gerilimi (V_{oc})** denir. Güneş ışınlarının sabit tutularak yapılan ölçümlerde elde edilen akım değerinin çalışma gerilimi ile değiştiği gözlenir. Aşağıdaki şekilde Kristal bir hücrenin **I-V Akım Gerilim** eğrisi görülmektedir Bu eğride **MPP (maximum power point)** noktasıda görülebilir. Bu nokta bir PV hücresinden maksimum gücün alındığı noktadır ve buradaki akım değeri **I_{mpp}** ve gerilim değeri ise **V_{mpp}** olarak adlandırılır. Aynı prensip bir PV modülü için de geçerlidir.



Not: MPP noktasında $V_{mpp} - V_{oc}$ 'nin % 80 ni kadardır, $I_{mpp} - I_{sc}$ 'nin %95 i kadardır.

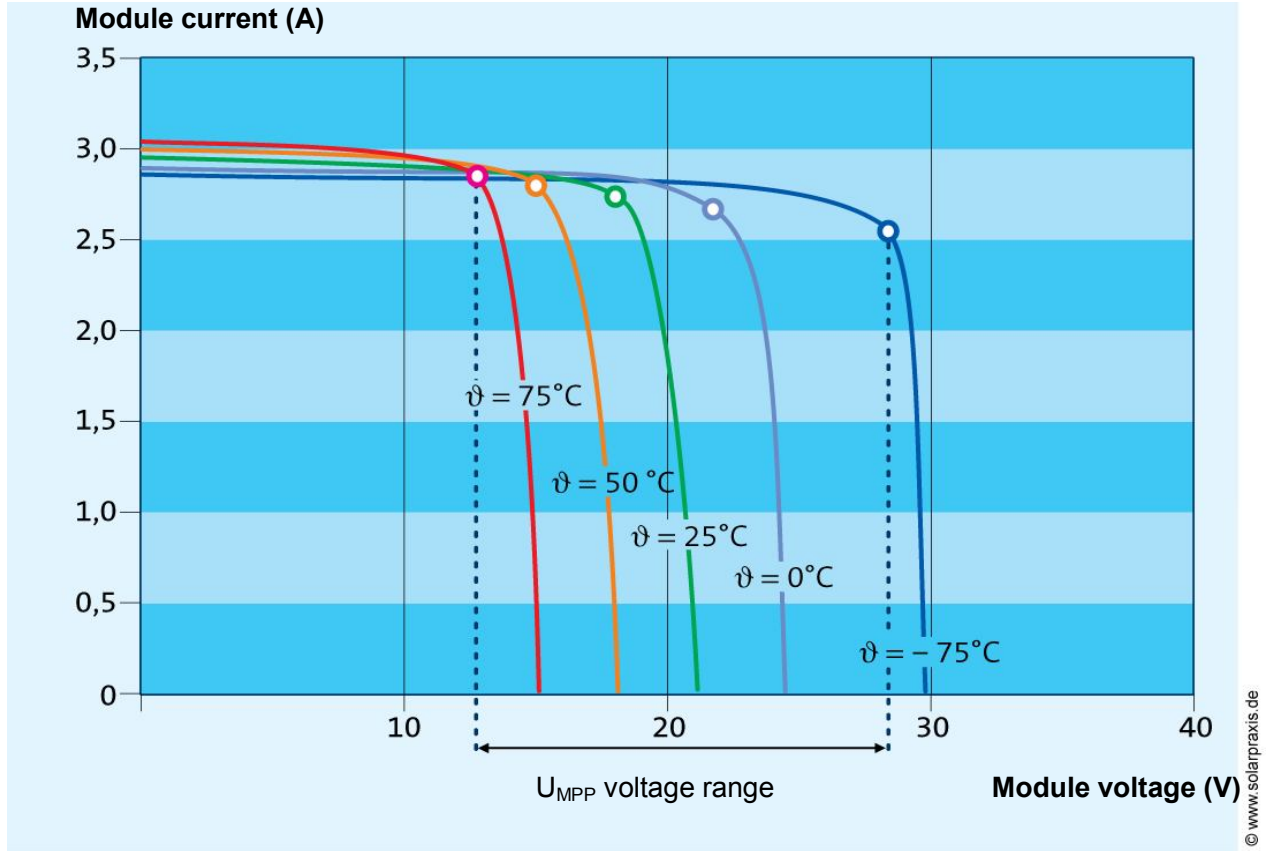
c. Sıcaklığın PV Modüllerine Etkisi

Hücrenin artan sıcaklıkla düşüş gösterir. Mono ve Poly kristal silikon hücrelerde bu düşüş ince tabaka (thin film) hücrelerine göre daha belirgindir. Bu nedenle kristal silikon hücreli modüller soğuk tutulması için çaba harcanmalı, çok sıcak şartlarda ince tabaka – amorphous silicon hücreler tercih edilmeli.

Aşağıda sıcaklığın kristal silikon hücreli PV modüllerin I-V Akım Gerilim eğrisine olan etkisi görülmektedir. Her 1 °C'lık sıcaklık artışı, elde edilen gücü % 0.5 oranında azaltmaktadır.

Amorphous silicon hücrelerde ise 1 °C'lık artış, gücü %0.2 oranında azaltmaktadır.

Bir PV modülün etiketinde veya teknik özellikler kataloğunda bu değerler yazılmalıdır.



Sıcaklığın I-V Akım Gerilim eğrisine yaptığı değişim.

Hangi PV modüller seçilmeli

Bir PV modülü seçilirken nelere dikkat edilmesini ve sorulması gereken soruları kısaca şöyle özetleyebiliriz.

- ✓ Ürünün uluslararası bir sertifikası var mı?
- ✓ İmalatçı ve sağlayıcı firmanın piyasadaki konumu nedir? **Örneğin** ne kadar zamandır bu işi yapıyor? PV modüllerin temini kolayca sağlanıyormu? Verilen garantilerin süresi nedir?
- ✓ Kullanılacak PV modüller kuracağımız sistem için uygun mu? **Örneğin** şebeke destekli bir sistem mi ? yoksa akü gruplarının kullanıldığı şebekeden bağımsız bir sistem mi kurulacak?
- ✓ Ürünün teknik özellikleri yeterince verildi mi?

Burada cevaplanması gereken en önemli sorulardan biri de teknik özellikler sorusudur. Avrupa Standardları EN 50380, bir PV modülünün Teknik Özellikler sayfasında (Data sheet) neler olması gerektiğini anlatır. Bir güneş enerjisinden elektrik üreten sistem kurulmadan önce bu bilgilerin anlaşılması ve sistem bu bilgiler doğrultusunda tasarlanmalıdır. EN 50380 aşağıdaki değerlerin verilmesini gerekli sayar:

*Wp- Peak watt (**peak güç** ve toleransı)*
*Vmpp- maximum power point (maksimum güç noktasındaki) **gerilimi***
*I mpp- maximum power point (maksimum güç noktasındaki) **akım***
Voc- açık devre gerilimi
I sc- kısa devre akımı
T- sıcaklık katsayıları (güç akım ve gerilim değişimleri için)

Aşağıda bazı önemli PV modül üreticilerinin listesi verilmiştir:

- BP Solar, www.bpsolar.com
- Evergreen Solar, www.evergreensolar.com/
- GE Solar, www.gepower.com/prod_serv/products/solar/en/index.htm
- Kyocera Solar, www.kyocerasolar.com
- Matrix/Photowatt Solar Technologies, www.matrixsolar.com
- Mitsubishi Electric, www.global.mitsubishielectric.com/bu/solar/index.html
- Photowatt, www.photowatt.com
- Sharp Solar Systems, www.sharp-world.com/solar/
- Shell Solar, [http:// www.shell.com/home/Framework?siteId=shellsolar](http://www.shell.com/home/Framework?siteId=shellsolar)
- Uni-Solar, www.uni-solar.com

Aşağıda örnek bir Teknik Özellik veri, sayfası görülmektedir:

Electrical data

The electrical data apply to standard test conditions (STC):

Irradiance at the module level of 1.000 W/m² with spectrum AM 1.5 and a cell temperature of 25 °C.



Nominal power	P_{nom}	285 Wp	300 Wp	315 Wp
Voltage at maximum-power point	U_{mpp}	50.5 V	51.2 V	51.7 V
Current at maximum-power point	I_{mpp}	5.64 A	5.9 A	6.1 A
Open-circuit voltage	U_{oc}	60 V	60 V	64.5 V
Short-circuit current	I_{sc}	6.2 A	6.4 A	6.7 A

The rated power may only vary by $\pm 4\%$ and all other electrical parameters by $\pm 10\%$.

Dimensions and weights



Area	2.42 m ²
Dimensions (tolerances ± 4 mm)	1.892 x 1.283 mm ²
Thickness with frame (± 2 mm)	50.8 mm
Weight	approx. 50 kg

Characteristic data



Solar cells per module	216
Type of solar cell	EFG solar cells (multi-crystalline, 10 x 10 cm ² full-square)
Connections	Connection box with bypass diodes, MC [®] -Connectors with cable (4 mm ² , Suhner RADOX 125 A, length of both poles 160 cm).

Cell temperature coefficients



Power	$T_k (P_n)$	- 0.47 % / °C
Open-circuit voltage	$T_k (U_{oc})$	- 0.38 % / °C
Short-circuit current	$T_k (I_{sc})$	+ 0.10 % / °C

Limits



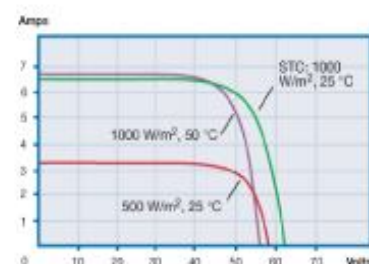
Max. system voltage	1000 V _{DC}
Operating module temperature	-40... +90 °C
Storm resistance	Wind speed of 130 km/h $\triangleq$ 800 Pa and safety factor of 3

The right is reserved to make technical modifications.

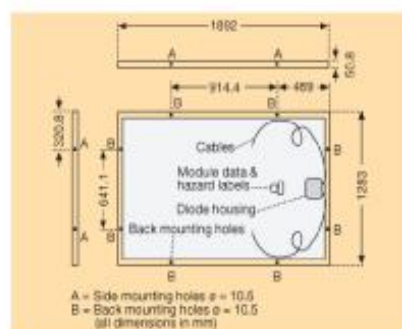
Qualifications



The ASE-300-DG-FT Module complies with the requirements of IEC 61215, NREL IQT, UL-1703 (USA) Fire Class A, Electrical Protection Class II and the EU guidelines, e.g. EMC according to DIN EN.



Current/voltage characteristics with dependence on irradiance and module-temperature.



A = Side mounting holes $\phi = 10.5$
B = Back mounting holes $\phi = 10.5$
(all dimensions in mm)

RWE SCHOTT Solar GmbH
Carl-Zeiss-Str. 4
63755 Alzenau
P +49 (0) 60 23 / 91-05
F +49 (0) 60 23 / 91-17 00
E sales@rweschottsolar.com
I www.rweschottsolar.com



© 2003 RWE SCHOTT Solar GmbH
Printed in the Federal Republic of Germany
DNR 72632-02

MANAGEMENTSYSTEM
Certified by DQS according to
DIN EN ISO 9001:2000 - Reg. No. 2184
DIN EN ISO 14001:1996 - Reg. No. 2184

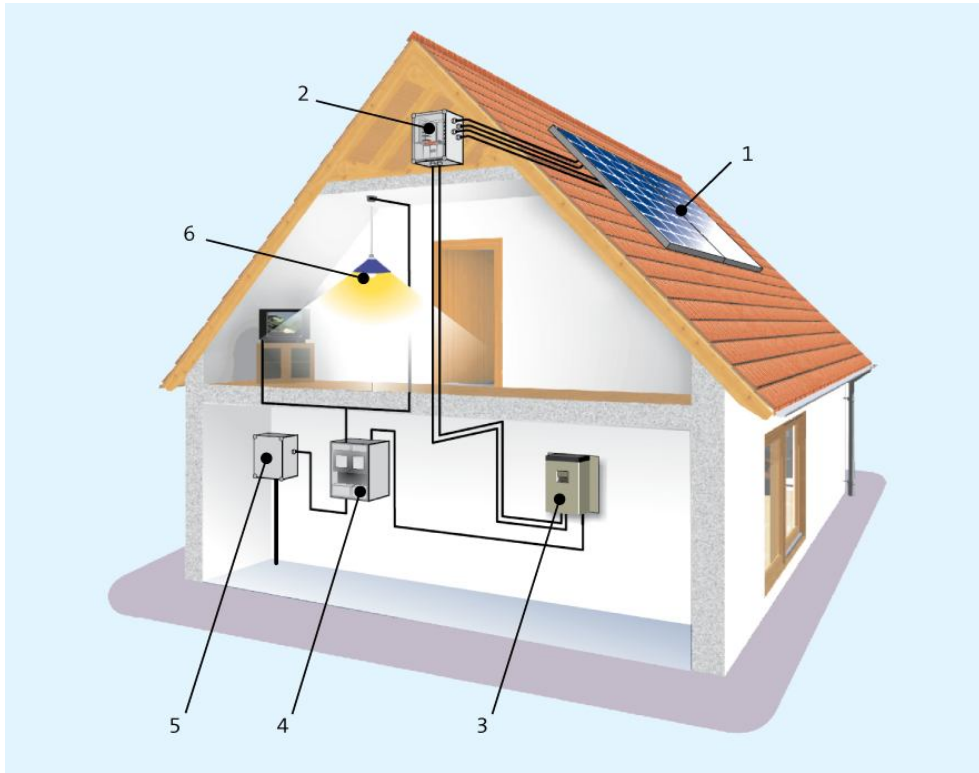


© Schott Solar GmbH

Bölüm 2: Şebeke Destekli Sistemler

Bu sistem şehir şebekesi ile beraber kullanılan bir sistemdir. Şebekeden bağımsız kurulan sistemlerden en belirgin farkı akü gruplarının kullanılmamasıdır. Ayrıca bu sistemde kullanılan inverterler şebekeden bağımsız kullanılan inverterler ile aynı teknik özelliklere sahip değildir. Bilindiği gibi inverterler DC gerilimi evdeki cihazlarımızda kullanılmak üzere AC gerilime çeviren cihazlardır. Ancak şebeke destekli sistemde kullanılan inverterler bir başka özelliği de şebeke ile senkronize çalışmasıdır. Bu inverterler evlerdeki dağıtım tablolarımıza bağlanabileceği gibi şehir şebekesinin girişine de çift taraflı sayaçlar sayesinde bağlanabilir.

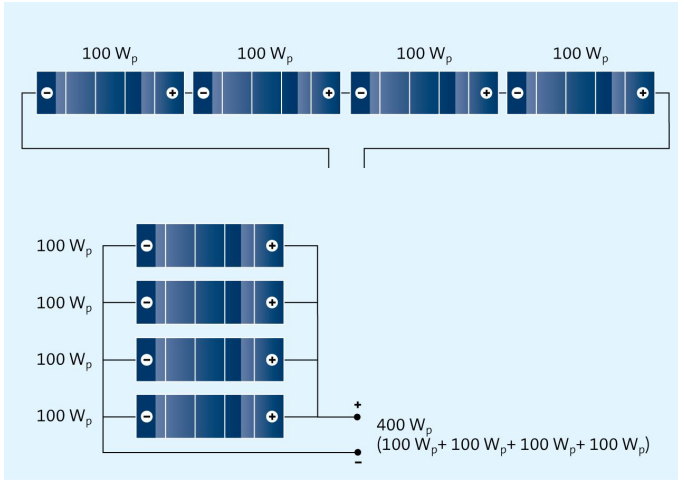
Aşağıda Şebeke Destekli bir sistemi oluşturan temel öğeler görülmektedir.



1. PV modüller
2. PV kablo bağlantı kutusu (water proof)
3. Şebeke destekli inverter (grid-tied inverter – synchronous inverter)
4. Çift taraflı sayaç (import – export meter)
5. Şebekeye bağlantı (connection to grid)
6. Yükler (load)

Burada kullanılan inverter terminolojisi normal şebekeden bağımsız çalışan sistemlerde kullanılan inverterler (veya inverter – charger) ile karıştırılmamalı çünkü şebekeden bağımsız çalışan inverterlerin export yapma özelliği yoktur.

Aşağıda şebeke destekli inverterlerden birinin teknik özellik data sayfası görülmektedir. Dikkat edilirse bu inverterlerin **DC input girişleri 125V- 440V** arası değişmekte, PV paneller ise **seri veya paralel** şekilde bu teknik sayfaya bakılarak bağlanmaktadır. Ayrıca bu inverterlerin trafosuz modelleri de vardır.



Seri Bağlantı

Paralel Bağlantı



Technical Data

- Flexible application options due to MPP tracking for different strings
- Extended input voltage range up to 750 V DC
- High input current for highest level of module compatibility
- Transformerless with integrated universal current sensitive leakage-current breaker
- Indoor and outdoor installation
- Extended temperature range -25 °C to +60 °C
- SMA grid guard: Automatic disconnection unit
- Electronic Solar Switch ESS: Integrated DC circuit breaker (optional)
- Diagnostics and communication via network, radio or cable (RS232 or RS485)
- HC technology with grid feeding even at the lowest power levels
- Integrated 2-line display
- 5-year SMA warranty (10 years optional)

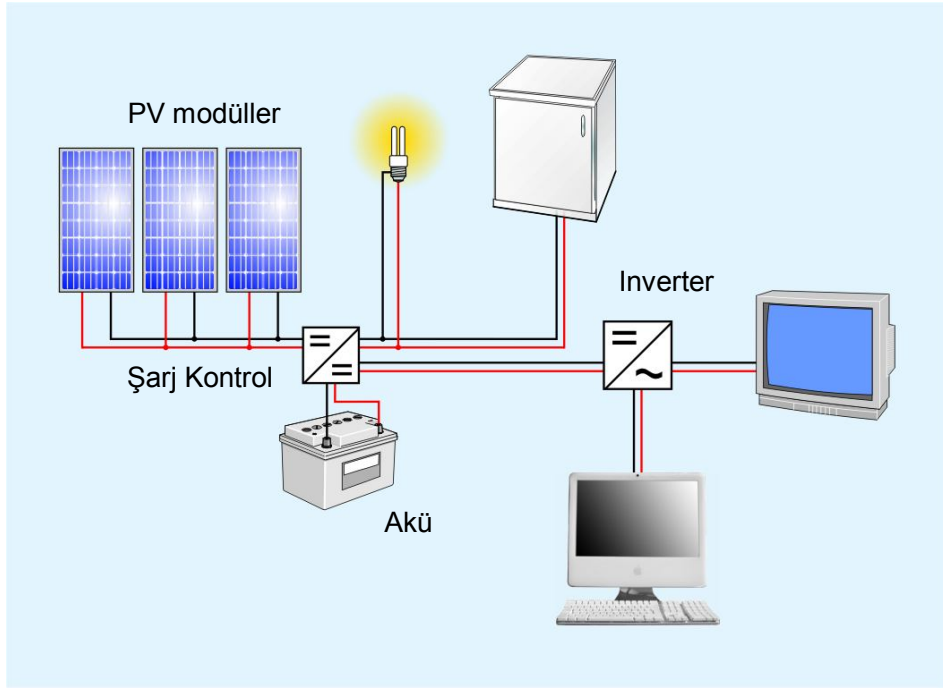
	SB 4200TL HC MultiSetag	SB 5000TL HC MultiSetag
Input data		
Max. DC power (P _{DC, max})	4200 W	5000 W
Max. DC voltage (U _{DC, max})	750 V	750 V
RV voltage range, MPPT (U _{MPPT})	112 V - 750 V	112 V - 750 V
Max. input current (I _{in, max})	25.11 A	25.11 A
DC voltage ripple (ΔU _p)	< 10 %	< 10 %
Number of MPPT trackers	2	2
DC isolator	plug connection, ESS	plug connection, ESS
Thermally monitored voltage	yes	yes
Ground fault monitoring	yes	yes
Reverse polarity protection	short circuit diode	short circuit diode
Output data		
Max. AC power (P _{AC, max})	4200 W	5000 W
Max. AC output (P _{AC, nom})	4000 W	4800 W
Harmonic distortion of grid current	< 4 %	< 4 %
Nominal AC voltage (U _N , nom)	220 V - 240 V	220 V - 240 V
Nominal AC frequency (f _N , nom)	50 Hz	50 Hz
Power factor (cos φ)	1	1
Short-circuit proof	yes, current regulation	yes, current regulation
Anti-islanding	AC terminal	AC terminal
Efficiency		
Max. efficiency	96.3 %	96.2 %
Europe	96.4 %	96.5 %
Protection degree (in accordance with DIN EN 60529)	IP65	IP65
Mechanical data		
Width/height/depth (mm)	470 / 490 / 325	470 / 490 / 325
Weight	31 kg	31 kg

Inverterlere ait bir teknik sayfa örneği...

Şebeke destekli sistemlerin kurulması için iyi çalışan, 'stabıl' bir elektrik şebekesine sahip olmak ve bazı yasal düzenlemelerin yapılması gerekir. Şebeke destekli sistemlerde kullanılan inverterlerin ise şebekeye gerilimi bağlayabilmeleri için daha farklı elektronik devreleri olması gerekir. Bu elektronik devreler şebekeden örnek olarak dc gerilimi ac yapar ve şebekeye senkron bir şekilde verir. Böylece akü gruplarına gerek kalmadan enerji fazlası diğer tüketiciler tarafından kullanıma sunulur. Bu şekilde teşvik edilen sistemler Elektrik Kurumları'nın daha büyük yatırımlar yapmasını da önlemiş olur. Avrupa Birliği'nde 2014 yılına kadar tüketilen enerjinin %10'luk bir kısmının yenilenebilir enerji kaynaklarından yapılması hedeflenmektedir.

Bölüm 3: Şebekeden Bağımsız Sistemler

Bu sistem şebekeden uzak çiftlik,dağ kulübesi,su kuyusu motorları,verici antenleri,tekneler....vs gibi yerlerin elektrik temininde kullanılır. Bunlara ada sistemleri de denir.PV (fotovoltaik) panellerde üretilen elektrik enerjisi akülerde depolanır ve invertörler ile AC'ye çevrilerek kullanılır.Ayrıca üretilen gerilim direk DC olarakta kullanılabilir.Bu sistemlerde kullanılan elemanların bazı özellikleri aşağıda verilmiştir.



a. Şarj Kontrol Ünitesi

Güneş panellerinde üretilen enerji DC olduğundan doğrudan kullanılamaz.Akülerde depolanır ve invertörler ile AC'ye dönüştürülerek kullanılır.Üretilen gerilim akülere şarj kontrol ünitesi vasıtası ile doldurulur.Şarj kontrol ünitesinin ana görevi akülerin aşırı dolmasını (over charge) ve aşırı boşalmasını (over discharge) önlemektir.



© Steca

Şarj Kontrol Ünitelerinin ana görevi olan aşırı şarj ve aşırı deşarja karşı koruma dışında başka görevleride vardır. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz:

- Değişik akü çeşitlerine göre ayarlanabilir şarj edebilme yeteneği örneğin hem kurşun asit hem de kuru veya sealed/gel aküleri şarj edebilme
- Aşırı yük ve kısa devreye karşı koruma
- Akülerin ısınmasına karşı koruma
- PV panellere düşebilecek yıldırıma karşı koruma
- Değişik göstergeler örneğin PV'lerden gelen şarj akımı, yüke giden akım, vs...

Ancak her şarj kontrol ünitesi bu görevleri yerine getirmeyebilir. Bu nedenle şarj kontrol ünitelerinin seçimi yapılırken teknik özellikleri iyice anlaşılmalı ve amaca hizmet edecek şarj kontrol üniteleri seçilmelidir.

Aşağıda bazı Şarj Kontrol Ünitesi ve DC aydınlatma armatürü üreticilerinin adresleri verilmiştir:

- Morningstar, www.morningstarcorp.com
- Sollatek, www.sollatek.com
- Steca, www.stecasolar.com

b. Akü grubu

PV modüllerinde üretilen elektrik enerjisi her zaman bizim ihtiyaç duyduğumuz zamanlarla uyuşmayabilir. Geceleri ve güneşin olmadığı zamanlarda elektrik ihtiyacı güneşin olduğu zamanlarda doldurulan akü gruplarından karşılanır.

Burada kullanılan aküler deep-cycle özellikli sabit tesis aküsü olmalı yani birçok kez dolup boşalmaya dayanıklı olmalıdır. Ancak bu aküler genelde kurşun-asit aküler olduğundan bu türlerin yaşam alanı içine konmaması gerekir Çünkü zehirli olabilecek gazlar çıkartmaktadır. Aküler eğer iç mekanlara konulacaksa insan sağlığı açısından kuru akü seçilmesi gerekir.

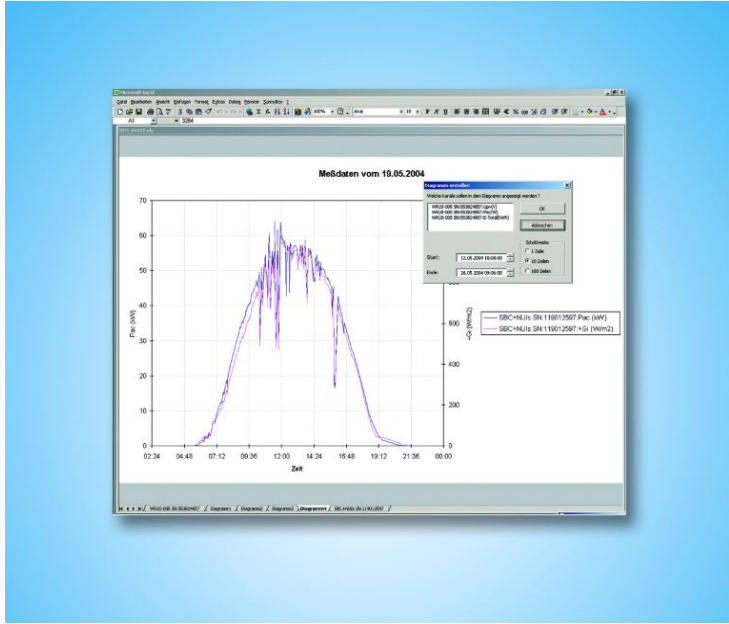


Bazı akü üreticileri:

- Concorde Battery Corporation, www.concordebattery.com
- Exide, www.exideworld.com
- Hawker Batteries, www.hawkerpowersource.com
- Hoppecke, www.hoppecke.com
- MK Battery, www.mkbattery.com
- Moll, www.moll-batterien.de
- Varta, www.varta.com

c. İnverter :

PV modüller ve aküler doğru akım (DC) üretmekte olduğunu biliyoruz. Ancak kullandığımız çoğu elektrikli cihaz alternatif akımla (AC) çalışmaktadır. Genel anlamda DC akımı AC akıma çeviren cihazlara inverter denir. Burada **şebeke destekli sistemlerde** kullanılan inverterler ile **şebekeden bağımsız sistemlerde** kullanılan inverterler farklılıklar gösterir. Şebekeden bağımsız sistemlerde kullanılan inverterler ada tipi (**island veya battery based**) inverter olarak adlandırılır.



Aşağıda şebekeden bağımsız sistemlerde kullanılan inverterlerde aranan özellikleri verilmektedir:

- **Tam sinüs** eğrisi vermeli (bu özellik endüktif yüklerin olduğu bir sistemde çok önemli)
- Sabit AC gerilim ve frekans çıkışı olmalı
- DC giriş gerilimi aralığı akülerin boş ve doluluk durumuna göre uygun aralıkta olmalı
- Yüklerin çalıştırılmasında meydana gelecek yüksek kalkış akımlarından etkilenmemeli (surge capacity)
- Maksimum yükte yüksek verimde çalışmalı
- Elektromanyetik parazitlerden etkilenmemeli
- Stand-By modunda fazla güç harcamamalı

Bağımsız bir sistemde birden fazla inverter kullanılabilir ancak seçilecek inverterler birbirleriyle paralel ve senkronize bir şekilde çalışması için **master-slave setup** özellikli olmalıdır. Buradaki amaç büyük sistemlerde güç güvenliğinin sağlanması, bir inverteri maksimum kapasitede çalıştırmasını önleyerek sistemin veriminin artırılmasıdır. Master inverter genelde tüm yüklerin ihtiyacını karşılamaya çalışırken, Slave inverter ihtiyaç duyulduğu zaman devreye girer.

Aşağıda bazı inverter üreticilerinin adresleri verilmiştir:

- Beacon Power, www.beaconpower.com
- Fronius Solar Electronics, [http:// www.fronius.com/solar.electronics/about/index.htm](http://www.fronius.com/solar.electronics/about/index.htm)
- Mastervolt, www.mastervolt.com
- Outback Power Systems, www.outbackpower.com
- PV Powered, www.pvpowered.com
- Sharp Electronics, <http://www.sharp-world.com/solar/>
- SMA , www.sma.de/en.html
- Studer, www.studer-inno.com
- Xantrex Technology, www.xantrex.com

Bölüm 4 : Şebekeden Bağımsız bir sistemin Tasarımı

Aşağıdaki formül şebekeden bağımsız kurulacak bir sistemin **gücünün (watt peak)** dolayısıyla (PV modul miktarının) hesaplanmasında kullanılır.

$$W_{pv} = E / G / \eta_{sys}$$

Burada

W_{pv} - kullanılacak PV modüllerin peak gücü (Wp)

E – beslenecek yerin günlük enerji ihtiyacı (Wh – watt saat)

G – PV modüllerin avaraj peak güneş ışınlarını alacağı zaman (saat)

Burada avaraj peak denmesinin sebebi güneş ışınlarının mevsimlere ve tesisin dünya üzerinde bulunduğu yere göre değişiklik göstermesidir.

η_{sys} - kurulacak sistemin verimi. Bu değer genelde 0,6 (%60) olarak alınabilir.

% 100 bir verimden bahsetmek mümkün değildir çünkü bu değeri etkileyen pek çok etken vardır ve sistemimizi kurarken kullandığımız malzeme ve elemanlardan dolayı kayıpların olması kaçınılmazdır. 0,6 (yani%60) verimi olan bir PV sistemi hiç te küçümsenmemesi gereken bir rakamdır. η_{sys} şu şekilde hesaplanır:

$$\eta_{sys} = \eta_{pv} \cdot \eta_{pv-bat} \cdot \eta_{cc} \cdot \eta_{bat} \cdot \eta_{kablo} \cdot \eta_{inv}$$

η_{pv} - PV modüllerin her zaman MPP (maksimum peak noktasında) işlemesi mümkün olmamaktadır ve % 20 lik kayıpların olması kaçınılmaz olabilir. Dolayısıyla 0,8 lik bir değer hesaba katılmalıdır.

η_{pv-bat} - PV modüller ve aküler (bataryalar) arasında kullanılan kablolarda %2 ‘lik kayıblardan bahsederek bu değer 0,98 olur.

η_{cc} - kaliteli bir şarj regülatörünün (charge regulator) verimi 0,98 alınabilir.

η_{bat} - akülerin Ah (amper saat) verimi % 10’luk kayıplardan sonra 0,9 alınabilir.

η_{kablo} - aküler ile yük (veya beslenecek dağıtım tablosu) arasındaki kabloların kayıplarını %2 alırsak, 0,98 lik bir değer hesaba katılmalıdır.

η_{inv} - kaliteli bir inverterin verimi 0,9 alınabilir

Böylece $\eta_{sys} = 0,8 \times 0,98 \times 0,98 \times 0,9 \times 0,98 \times 0,9 = 0,6$ olarak hesaplanır.

Dolayısıyla kaliteli şarj regülatörü, inverter ve aküler ayrıca doğru bir şekilde yapılan kablo kesit hesapları sistemimize etki eden faktörler olarak düşünülmelidir.

Burada kaç adet akü kullanılacağı diğer hesaplanması gereken bir durumdur. Bu ise şu formülle hesaplanır:

$$Q = (E \times A) / (V \times T \times \eta_{inv} \times \eta_{kablo})$$

Q - amper saat olarak kullanılacak minimum akü kapasitesi (Ah)

E - beslenecek yerin günlük enerji ihtiyacı (Wh – watt saat)

A – enerjinin depolanması istenen gün miktarı

V – sistemde kullanılacak DC gerilim (volt)

T – akülerin müsaade edilen boşalma sınırı 0,3 – 0,9 arası (depth of discharge – DOD)

η_{inv} - inverterin verimi

η_{kablo} - aküler ile yük arasında kabloların verimi

Burada T değerinden bahsetmek gerekirse şunları söyleyebiliriz. Kullanılan akü tipine göre akülerde müsaade edilen ve daha aşağıya düşmesini istemediğimiz bir discharge sınırı (depth of discharge DOD) değeri vardır. Hiçbir Kurşun – Asit akünün tam boşalmasına müsaade edilmemelidir. Bu değer genelde 0,3 – 0,9 arası değişen bir rakamdır ve seçilen akü türünün kataloğuna bakılarak bulunmalıdır.

A değerinin ise enerjinin depolanması gereken gün miktarı veya depolama yapmadan güneşsiz geçecek gün miktarı olduğunu söyleyebiliriz. Bu değer 3 gün (ülkemiz için geçerli) ile 20 gün (ör. Kuzey Amerika) arası değişen bir değerdir.

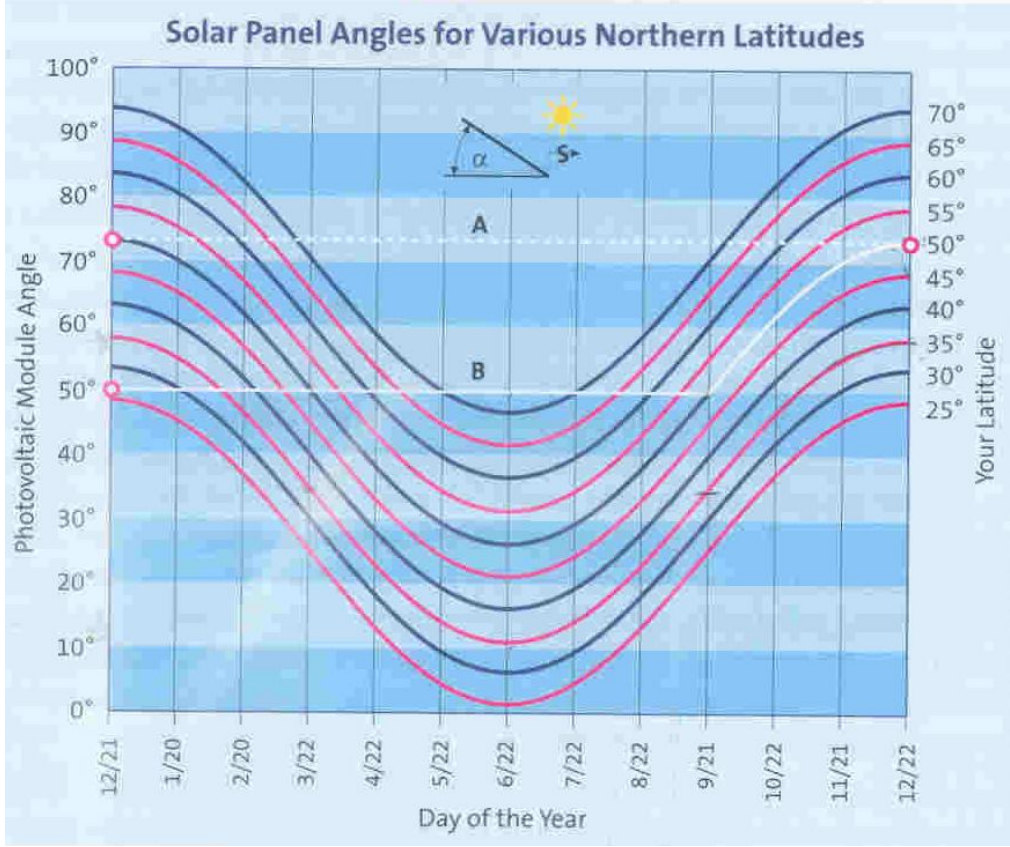
‘Basit’ bir Şebekeden Bağımsız Sistemin yapılması için gereken adımları aşağıdaki örneklerle sıralayalım:

ÖRNEK: Kıbrıs’ın Karpaz bölgesinde bir tatil evi Nisan ve Ekim ayları boyunca haftada 7 gün, geriye kalan aylarda ise sadece hafta sonları kullanılmak üzere güneş enerjisinden beslenmek isteniyor. Bu evde kullanılan elektrik yükleri; birkaç lamba, bir televizyon, az enerji sarfeden bir buzluk, mutfakta kısa süreli kullanılacak birkaç cihaz, mikser ve mikrodalga vb gibi olarak özetlersek nasıl bir sistem tasarlamalıyız?

Adım 1: Evin konumu ve güneş enerjisinin durumunun araştırılması

Burada araştırmamız gereken bilgiler evin konumu itibarı ile peak güneş ışınlarını alacağı zaman (saat) ve PV modüllerimizi sabitleyeceğimiz açı değeridir. Bu değerleri bulmak için bilgisayar programlarından yararlanabileceğimiz gibi aşağıdaki grafik gibi grafiklerden de yararlanabiliriz.

Aşağıdaki grafikte dünyanın değişik enlemlerinde (latitude-sağ taraf) - PV panellerin açısının (PV module angle-sol taraf) değişik aylara göre ne olması gerektiği verilmiştir.



Karpaz'daki evimiz dünya üzerinde konum itibarı ile 35° N enleminde olduğundan bu grafikte alttan üçüncü çizgiye bakmamız gerekiyor. Bu çizgiye göre PV modüllerinin açısı **(tam güneye bakmak şartı ile)** tüm sene boyunca aylara göre 10° ile 55° arasında değişiyor. İyi bir verim için Nisan ve Ekim aylarında 10° ile 25° arası, diğer aylarda 25° ile 55° arası olması gerekiyor. Ancak burada kurulumun basit tutulması açısından ve ülkemizde su ısıtıcı panellerinde konulduğu açı olan 45° açı kullanmak önerilebilir. Ancak aşağıdaki resimde görüldüğü gibi Sedat Simavi Endüstri ve Meslek Lisesi çatısına yerleştirilen paneller gibi bu açı 35° ile 45° arası değişecek şekilde tam güneye sabitlenerek yapılabilir.



Sistemi oluştururken dikkat edilecek diğer bir husus da güneş panellerimizin ne kadar süreyle peak güneş enerjisi alacağıdır. Aşağıdaki veriler bizim ülkemizde bir gün boyunca olan güneşlenme sresinin (saat) aylara göre dağılımını göstermektedir. Burada önemli olan panellerimizin alacağı peak güneş saatidir ki bunu da **5 saat** olarak alırsak hata yapmış sayılmayız.

METEOROLOJİ İSTASYONU: Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti

METEOROLOJİK GÖZLEM: Ortalama Güneşlenme Sresi (saat/gün)

Yıllar	Oca	şub	Mar	Nis	May	Haz	Tem	Ağu	Eyl	Eki	Kas	Ara	Yıllık
2003	5.3	5.2	6.1	7.6	10.7	12.0	12.5	11.6	10.1	8.3	6.7	4.4	8.4
2004	4.0	5.0	7.3	9.2	10.4	11.8	12.5	11.2	10.4	8.3	5.8	4.8	8.4
2005	4.3	5.7	7.8	8.5	10.6	12.2	11.5	11.0	10.1	8.6	6.2	4.3	8.4
2006	4.6	4.2	6.5	7.9	10.9	11.4	11.6	10.8	9.8	7.3	7.0	5.7	8.2
2007	5.8	5.0	7.6	8.7	8.4	11.6	11.4	10.7	10.0	8.2	6.3	5.6	8.3
ORT	4.8	5.0	7.0	8.4	10.2	11.8	11.9	11.1	10.1	8.2	6.4	5.0	8.3

Ayrıca panellerin kurulacağı yer ile yklerimiz (veya Dağıtım Tablosu) arasındaki mesafe hakkında da bilgi sahibi olmamızda önemi vardır çünkü paneller ile dağıtım tablomuz arasında 30 m'lik bir mesafe söz konusu ise sistemin voltajı (inverter ve akülerin gerilimi) 24 V olarak alınabilir.Bu g kaybılarımızı (kablo vs...) azaltmak veya kablo kesitini azaltma açısından önemli bir nokta olabilir.

Bu aşamada ayrıca hesaplanan PV panel miktarının eve (atısına veya bahçesine) yerleştirilmesinin mümkün olup olmadığıda araştırılmalıdır. Örneğin tam güneye bakan ve gün boyu glgelenmeyen bir alanın olup olmadığı gibi....

Güneş enerjisinin potansiyeli hesaplanırken bu çeşit basit grafiklerden yararlanmak küçük sistemler için yeterli olabilir. 200Wp PV panelleri kullanılacak bir sistemde bu yöntemlerle yapılan hesaplamalar %10 olarak yanlışta olsa pek önemli sayılmayabilir ancak rakamlar büyüdükçe rneğin 4000Wp 'lik bir sistem tasarlanırken daha kapsamlı verilerden yararlanılmalı ve daha dikkatli düşünülmelidir. Bu verileri elde etmek için National Renewable Energy Laboratory web sitesi (www.nrel.gov) ve (www.solarpathfinder.com) gibi sitelerden faydalanılabilir.

Adım 2: Evde kullanılacak elektrikli cihazların araştırılması

Sistemi kullanacak kişiye sorularak aşağıdaki gibi bir tablo doldurmak günlük enerji ihtiyacımızı (E – watt saat) bulmamız açısından önemlidir. Bizim örneğimizde bu **tüketim tablosu** aşağıdaki gibidir.

Evdeki Elektrikli Cihazlar	Cihazların harcadıkları güç (W)	Cihazların miktarı (adet)	Toplam harcanan güç (W)	Cihazların bir günde kullanıldıkları süre (saat)	Günlük enerji ihtiyacı (Wh-waat saat)
Enerji tasarruflu PL lambalar	20W	3	60	3	180 Wh
Mutfaktaki Floresant Lamba	40W	1	40	1,5	60 Wh
Televizyon	60W	1	60	2	120 Wh
Mikrodalga fırın	700W	1	700	0,2	140 Wh
Mutfak mikseri	400 W	1	400	0,1	40 Wh
Enerji tasarruflu Buzdolabı	80W	1	80		400Wh katalog değeri
TOPLAM			1340W		940 Wh

Adım 3: PV panelleri ve akülerin hesaplanması

PV panellerinin hesabı:

$$W_{pv} = E / G / \eta_{sys}$$

E = 940 Wh (günlük enerji ihtiyacı)

G = 5 saat (peak güneş ışınlarının süresi)

η_{sys} = 0,6 (tüm sistemin verimi)

Dolayısıyla $W_{pv} = 940 / 5 / 0,6 = 313,3\text{Wp}$

Bu ihtiyaç duyduğumuz minimum PV modüllerinin toplam gücüdür.

Akülerin hesabı:

$$Q = (E \times A) / (V \times T \times \eta_{inv} \times \eta_{kablo})$$

E = 940 Wh (günlük enerji ihtiyacı)

A = 4 gün (enerjinin depolanması istenen gün miktarı)

V = 24V (kurulacak sistemin DC gerilimi)

T = 0,5 (akülerin müsaade edilen boşalma sınırı-DOD sınırı)

$\eta_{inv} = 0,9$ (inverterin verimi)

$\eta_{kablo} = 0,97$ (aküler ile yük arasında kabloların verimi)

Dolayısıyla $Q = (4 \times 940) / (24 \times 0,5 \times 0,9 \times 0,97) = 358 \text{ Ah}$

Adım 4: Malzemelerin Seçimi

Burada seçilecek PV modülleri için PV modüllerinin katalog bilgilerine başvurulması gerekir. 313 Wp elde etmek için **4 adet 80 Wp** “kristal” modül seçilebilir. Bu modüllerin nominal gerilimleri genelde 12 V, Voc gerilimleri ise 21 V ‘tur. Dolayısıyla iki çift seri bağlı modülün paralel bağlanması gerekecektir. Bu PV modüllerin fiziksel büyüklükleri genelde 8kg, 1.2m x 0.5m’dir. Dolayısıyla monte edilecekleri yerin durumu bu doğrultuda düşünülmelidir.

Seçilecek **charge controller** (şarj regülatörü) ise seçilen PV modul kataloğuna bakılarak üretilen Imp=4.5A akım değeri göz önüne alınarak seçilir. Modüller seri bağlanınca alınacak akım 4.5 A’dır. Ancak 2 çift seri modul, paralel bağlanınca maksimum akım 9 A çıkar. Sistemin kapasitesinin artırılması olasılığı da göz önüne alınarak **20 A’lık** bir şarj regülatörü seçilebilir.

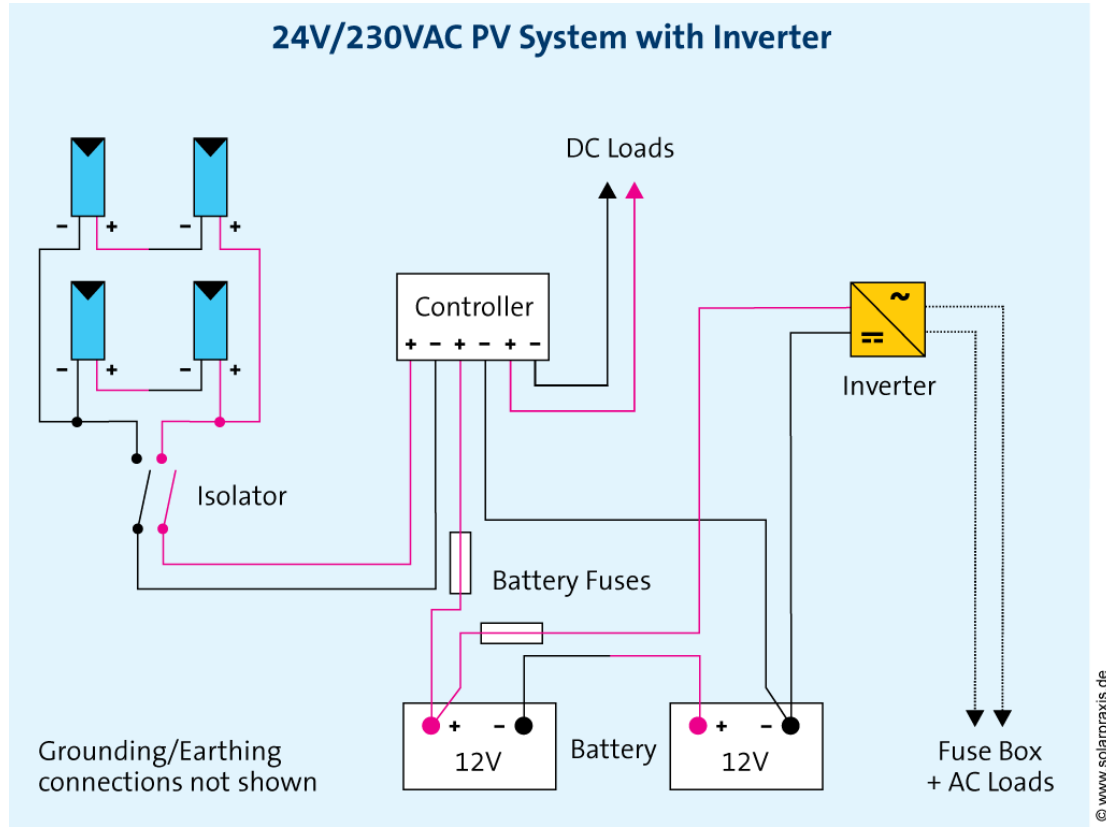
Buradaki hesaplamalarımızda (bkz. Tüketim Tablosu) bir anda kullanılacak güç toplamı 1340W olacağından inventerlerimiz buna göre seçilmelidir. Dolayısıyla **2000 W’lık** ve giriş gerilimi 24 V olan bir **inverter** seçilebilir. Ancak burada yükün artırılabilme olasılığı da göz önünde tutulmalı, ayrıca motorlar gibi (endüktif yük) ilk çalışma anında fazla akım çekme olasılığı olan yükler hesaba katılarak daha güçlü bir inventer tercihi de yapılmalıdır.

358 Ah olarak hesaplanan **aküler** için ise yine akü üreticilerinin kataloglarına bakarak bu değerin üzerinde en yakın bir değer olan **24 V - 400 Ah** kapasiteyi verecek deep cycle özellikli aküler seçilmelidir. Bu aküler 24 V elde etmek için seri bağlanmış 2 adet 12V akülerden oluşabilir.

Özet olarak sistemimizin ihtiyaç listesi ve bağlantı şekli aşağıda verilmiştir.

- Liste:** 4 adet 80 Wp nominal gerilimi 12 V olan PV modülleri
1 adet 20 A 'lık şarj regülatörü
2 adet deep cycle özellikli 12 V - 400 Ah Akü
1 adet 2500 W continuous power ratingli ve tam sinus eğrisi veren 24 V input'u olan inverter

Bağlantı Şekli:



Yararlanılan Kaynak:

Falk Antony, Christian Dürschner, Karl-Heinz Remmers, **Photovoltaics for Professionals**, Solarpraxis AG-Berlin-2006

Bu makale Sedat Simavi Endüstri ve Meslek Lisesi öğretmenleri tarafından Avrupa Komisyonu'ndan aldıkları '**Yenilik ve Değişim İçin Okulların Önceliği**' isimli hibe sonucunda hazırlanmıştır. Anlatılanlar hazırlayanların sorumluluğundadır ve hiçbir şekilde Avrupa Birliği'nin görüşlerini yansıtmamaktadır.

