

## MATHEMATICAL MODEL FOR COMPUTING OUTPUTVOLTAGE OF PV SOLAR MODULEDEPENDENT ON TEMPERATUREAND IRRADIANCE

Suleyman ADAK

*MardinArtukluUniversity, Vocational Schools, Department of ElectricalandEnergy, Mardin,  
mail:suleymanadak@yahoo.com(Assist. Prof. Suleyman Adak GSM:05438257834)  
suleymanadak@yahoo.com*

Hasan CANGİ

*KahramanmarasSutcu ImamUniversity, Faculty of EngineeringandArchitecture,Department  
of ElectricalandElectronicsEngineering, Kahramanmaras, hasancangi@yahoo.com  
(PhdstudentGSM:05424034564)*

Ahmet Serdar YILMAZ

*KahramanmarasSutcuImamUniversity, Faculty of EngineeringandArchitecture,Department of  
Electricaland ElectronicsEngineering, Kahramanmaras, asyilmaz@ksu.edu.tr  
(Prof.Dr.Ahmet Serdar Yilmaz GSM:05305601833)*

### ABSTRACT

Solar Photovoltaic (PV) technology system is a renewable energy and it is also an attractive technique to reduce consumption of fossil fuels such as coal, natural gas and oil causes of global warming. Solar PV system converts the photon energy to the direct-current (DC)energy. Output inducing voltage of the PV system which is depending onthe solarirradiance, shading, dust, temperature, humidity,tilt of solar panel, type of panel and other meteorological conditions. There is a common misconception that solar panels need hot style weather so as to work high yield. This idea is not true! Solar PV panels work by absorbing the irradiance from the sun, andturning it into direct current energy. The purpose of this paper is to investigate voltage changes of the PV panel terminals according to temperature and irradiance. Change of panel out put voltage which depends on the temperature and irradiance have been observed by using Matlab /Simulink. Inaddition, simulation allows us to design and analysis of complex systems. Theimportance of simulation in engineeringsystems isincreasingdaybyday. Generally, voltage drop occurs at high temperature of the PV panels so that PV system can Works more effective at lower temperature. The vltge induced by a PV panel is maximum at low temperature and on high irradiation. Moreover, it is a variable quantity depending on the solar irradiance and cell temperature. In this aspect, this paper is proposed modelling, design and simulation of the PV system equivalent circuit was executed by MATLAB/Simulink and also the analysis process has been achived by the SPSS statistical program. This program include sregression methods such as Logistic regression, nonlinear regression and Probit regression.

**Keywords:** PV system, modelling, solar Irradiance; Temperature, Solar PV systemequivalentcircuit, Mathematical model of PV outputvoltage.

### GİRİŞ

Günümüzde enerji üretimi için bir çok ülkede kömür, petrol ve doğalgaz kullanılmaktadır. Fosil yakıtlar olarak adlandırılan bu kaynaklar yenilenebilir değildir. Bu kaynaklar hem sınırlıdır, hem de rezervleri azaldıkça fiyatları artmaktadır. Buna karşın yenilenebilir enerji kaynakları sürekli olarak kendilerini yeniledikleri için süreklidirler.

Tükenmeyen enerji sınıfında yer alan güneş enerjisinden, özel kurulan sistemler sayesinde elektrik enerjisine dönüştürülür. Aynı zamanda güneş enerjisi, en temiz yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi ve evinizde ya da herhangi başka bir yerde kullanabileceğiniz uygun bir elektrik kaynağıdır. Yakıt sorununun olmaması, işletme kolaylığı, mekanik yıpranma olmaması, modüler olması, çok kısa zamanda devreye alınabilmesi, uzun yıllar

sorunsuz olarak çalışması ve temiz bir enerji kaynağı olması gibi nedenlerle dünya genelinde fotovoltaik elektrik enerjisi kullanımı sürekli artmaktadır.



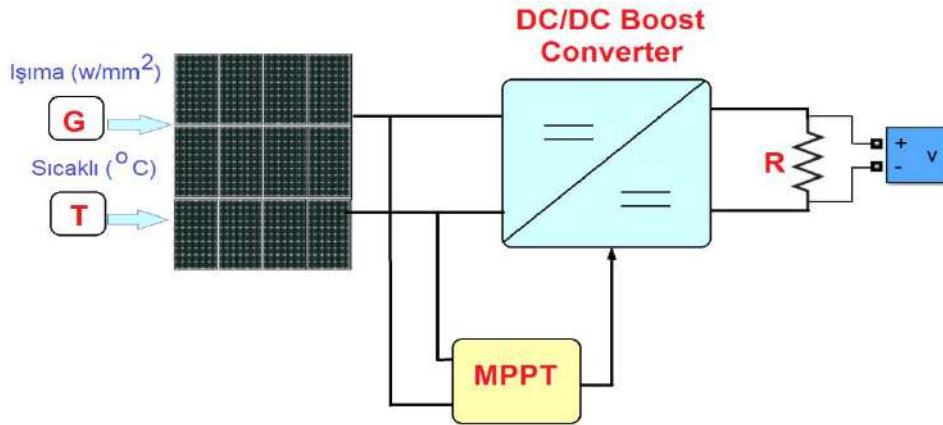
Şekil 1. Fotovoltaik hücre, modüle ve dizin

Güneş enerjisinin geniş kullanım alanı, güneşin elektrik üretimi için ne kadar kullanışlı bir kaynak olduğunu göstermektedir. Güneş enerjisi, elektrik enerji üretimi için alternatif enerji kaynaklarından biridir. Güneşin ısınım enerjisi, yer ve atmosfer sistemindeki fiziksel oluşumları etkileyen başlıca enerji kaynağıdır. Mevcut sistemlerden farklı olarak en büyük yararı, herhangi bir fosil yakıt veya bağlantı gerektirmeden bağımsız olarak elektrik üretebilmesidir. PV sistemlerin verimleri panellin yapıldığı kristal tipin bağlı olarak (% 15– %20) arasında değişir. Solar modüller ancak standart çalışma koşullarında nominal güçte çalışırlar. Üretilen enerji miktarını arttırmak amacıyla çok sayıda PV modüller kendi aralarında seri ve paralel bağlanırlar. Modüllerde kirlenme, güneş ışınlarının gelme açılarının dik olmaması, gölgelik ile ortam sıcaklığının çok sıcak veya çok soğuk olması modüllerin enerji üretme verimini etkiler [1].

Yenilenebilir enerji kaynakları oldukça temiz olup çevre sorunu oluşturmazlar. Gene bu bağlamda bu kaynaklar atık üretmediklerinden çevre dostu olup sağlık problemleri oluşturacak etkiler de oluşturmazlar. Kullanılan yakıtı, her yerde ve bedava bulmak mümkündür. Taşıma ve depolama gibi sorunlar yoktur.

Güneş enerjisinin diğer enerji kaynaklarına olan üstünlükleri:

- Güneş enerjisi sonsuz güçlü bir enerji kaynağıdır.
- Bu enerji, çevre dostu temiz bir enerji olup, duman, toz, karbon gibi zararlı maddeler içermez.
- Güneşi erişim durumuna göre az veya çok gören yerlerde verim farklı olabilir.
- Dağların tepelerinde, vadilerde veya ovalarda bu enerjiden yararlanmak mümkündür.
- Güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren dönüştürücüler karmaşık teknoloji gerektirmemektedir.
- Şebekeden bağımsız (off- grid) ile şebekeye bağımlı (on - grid) şeklinde türleri mevcuttur.
- Çalışması için bir operatöre ihtiyaç duymaz, dolayısıyla işletme maliyeti çok düşüktür.
- Güneş enerjisinden taşıma problemi olmaksızın her yerde yararlanabilir.
- Panelleri seri bağlanması ile gerilimi değeri artar, buna karşılık paralel bağlamada panellerin yüke verdiği akım değeri artar.



Şekil 2. Fotovoltaik sistemin prensip şeması

Şarj Regülatörü, güneş panelinden gelen akımı ayarlayarak akünün tam dolmasını veya tamamen boşalmasını engeller. MPPT 'Maksimum Güç Noktası Takipçi' sidir. Belirli periyotlarda elde edilen gücün peak yaptığı değeri yani tepe değerini takip ederek yüke yollanmasını sağlar. Tüm sistemlerde elde edilen enerjiden maksimum seviyede yararlanmak, bu elektronik cihazlarla mümkün hale gelmiştir. Tüketici için gerekli akım değerine göre sistemde uyumlu çalışabilecek tipte seçilmesi gereklidir. Güneş pillerinin ve güneş panellerinin standart test koşullarında STC (Standard Test Conditions) elektriksel karakteristiklerini belirleyen temel büyüklükler aşağıda verildiği gibidir:

- Çekilebilecek maksimum güç (Pm),
- Açık devre gerilimi (Voc),
- Kısa devre akımı (Isc),
- Maksimum güç gerilimi (Vmp),
- Maksimum güç akımı (Imp)'dir.

126

En iyisi kendi elektriğini üretip, şebeke kayıplarını bu yöntemle de en aza indirmek akıllıca bir çözümdür. Ülkemiz güneşlenme süresi yönünden çok iyi bir bölgededir. Güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi güneş pilleri ile gerçekleştirilir. Panellerinin yüzeylerine çarpan güneş ışınları, güneş pili tarafından elektrik enerjisine dönüştürür. Öncelikli olarak tercih edilen direkt elektrik enerjisinin üretilmesidir. Gün boyunca bu enerji, aydınlatma veya bulunduğu bölgenin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılanmasında kullanılır, artan enerji ise şebekeye verilir. Bu durumda çift yönlü sayaç veya çift sayaç sistemi kullanmak gerekir [3].



Şekil 3. Fotovoltaik sistemin blok şeması

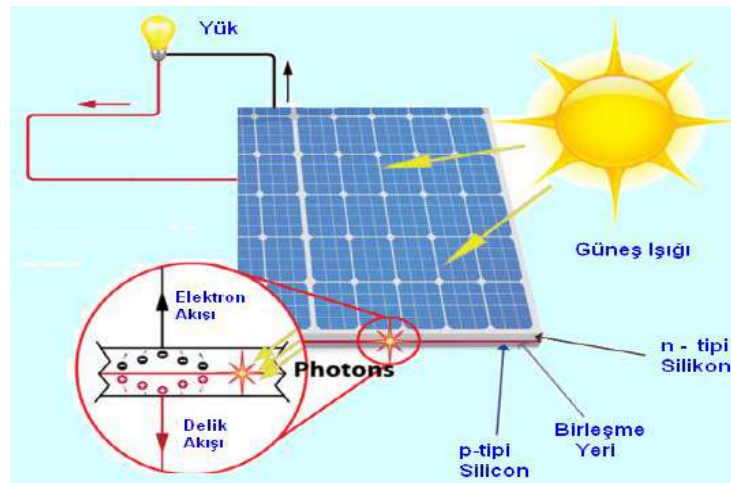
Güneş ışınlarını elektrik enerjisine çeviren cihazdır. Verimleri panel tipine göre değişmekle birlikte % 15-20 arasındadır. Laboratuvar çalışmaları devam etmekte olup verim değerlerinin yükseltilmesi hedeflenmektedir. İstenen enerji miktarına göre güneş paneli ve sayısı belirlenir. Güneş olmadığı zamanlarda enerjisiz kalmamak için akü grubu sisteme dahil edilir. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini

engellemek için akü şarj regülâtörü kullanılır. Şarj regülâtörü akünün durumuna göre, güneş pillerinden gelen akımı keser ya da yükün çektiği akımı keser.

Fotovoltaik sistem fotovoltaik panele bağlı olarak, akümülatörler, solar invertörler, akü şarj regülâtöründen aygıtları ile birlikte sistemi oluştururlar. Fotovoltaik paneller, güneşten gelen ışınlarını elektrik enerjisine çevirir. Verimleri panel tipine göre değişmekle birlikte ( % 15-20) arasındadır. Paneller ancak standart çalışma koşullarında nominal güçte çalışırlar. Çamda kirlenme, ışınlarının geliş açısının dik olmaması, gölgelik ile havanın çok sıcak veya çok soğuk olması panellerde verimini etkiler. Sistemde kullanılan akümülatörler solar sistemde üretilen elektrik enerjisinin depolanmasında kullanılırlar. Güneşsiz günler de tüketicilerin enerji ihtiyacı akü üzerinden sağlanır. Panellerde üretilen enerjinin depolanması oldukça önemlidir. Akü kapasitesinin belirlenmesinde solar sistemin güneş göremeyeceği sürenin hesabı oldukça önemlidir. Güneş enerjisi sistemleri en temiz çevre dostu güvenilir enerji kaynaklarından biridir. Ülkemiz güneşlenme süresi yönünden oldukça iyi bir bölgededir. Ayrıca enerjide dışa bağımlılığı azaltmakta, çevre protokollerine uyum göstermekte ve ulaşılması güç kırsal yerlerin elektrik enerjisine ulaşmasına olanak vermektedir [7].

### FOTOVOLTAİK PİLLER

Güneş enerjisinden elektrik üretiminde kurulu güç ve buna bağlı olarak üretilecek enerji birbiri ile doğru orantılıdır. Metrekareye düşen güneş ışını ortalaması ve bu ışınların ürettikleri enerji, tüketicilerin talep ettiği enerjiyi karşılamalı ve belirli oranda da tarelans içermelidir. Güneş pilleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Güneş pili modülleri uygulamaya bağlı olarak, akümülatörler, invertörler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş pili sistemi (fotovoltaik sistem) oluştururlar. Güneş pilleri yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerden oluşan dönüştürücülerdir. Güneş enerjisi, foton adı verilen belirli enerji paketleri halinde dalga şeklinde yayılan bir elektromanyetik ışımadır. Güneş pilleri (fotovoltaik piller), yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken maddelerdir. Deniz seviyesinde, parlak bulutsuz bir gündeki ışınım şiddeti maksimum 1000 w/m2 civarındadır. Yöreye bağlı olarak 1m2'ye düşen güneş enerjisi miktarı yılda 800-2600 KWh arasında değişir.

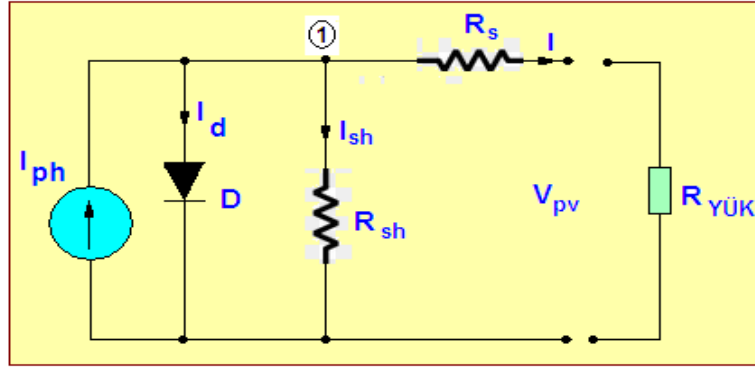


Şekil 4. Güneş pilinin çalışma prensibi

Güneş pillerinin ışık alan yüzeyleri kare, dikdörtgen veya daire şeklinde biçimlendirilmiştir. Güneş pilleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerine ışık düştüğü zaman uçlarında gerilim indüklenir. Güneş pilleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Pilin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Tek bir güneş pilinden elde edilen güç işletmeler için yeterli değildir. Bundan dolayı güneş pilleri kendi aralarında seri veya paralel bağlanır. Gerilim değerini artırmak için güneş pilleri seri bağlanır. Bu işlem N- tipi silikon tabakanın P-tipi silikon tabaka

ile bağlanması ile elde edilir. Akımı artırmak için güneş pilleri kendi aralarında paralel bağlanır. Buda N- tipi silikon tabaka aynı tabaka ile, P-tipi silikon tabaka yine aynı tip tabaka ile bağlanarak oluşturulur. 30-40 güneş pilinin seri bağlanması sonucu panel (modül) oluşturulur.

Güneş enerjisi, güneş pilinin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 20 arasında bir verimle elektrik enerjisine dönüştürülür. Modül performansı genel Standart Test Koşulları (STC) altında derecelendirilmiştir; Işınım, 1000 W/m<sup>2</sup>, solar spektrum A.M 1,5, modül sıcaklığı : 25 °C. Modülde bulunan pil sayısı, çıkış gücünü belirler. Genellikle, 12 voltluk aküler şarj etmek için 30-36 adet silisyum güneş pilinin bağlanması ile bir panel oluşsa bile, daha yüksek çıkış güçleri için daha büyük paneller yapılabilir.



Şekil 5. Güneş pilinin eşdeğer elektriksel devresi

Devrede 1 nolu düğüme Devreye **Kirchhoff** 'un akımlar kanunu uygulanırsa,

$$I_{ph} - I_D - I_{sh} = 0 \quad (1)$$

Diyot akımı, p-n jonksiyonundan geçen toplam akım olup, matematiksel olarak fotonlar tarafından harekete geçirilen elektronlar ve boşluklar tarafından oluşturulan akımların toplamıdır. İletim bandındaki elektron durumlarının ve valans bandındaki boşluk akımlarının Boltzman dağılımı ile net elektron akımı,

$$I_e = I_{eo} \left( e^{\frac{qV_D}{k_b T}} - 1 \right) \quad (2)$$

Boşluk akımı,

$$I_h = I_{ho} \left( e^{\frac{qV_D}{k_b T}} - 1 \right) \quad (3)$$

olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda diyot akımı net elektron ve boşluk akımlarının toplamı olarak ifade edilir. Diyot akımı,

$$I_D = I_e + I_h \quad (4)$$

İfadesinden hareketle,

$$I_D = I_o \left( e^{\frac{qV_b}{m k T}} - 1 \right) \quad (5)$$

olarak bulunur. Burada,  $q$ , elektron yükünü ( $1.602 \times 10^{-19}$  C),  $m$ , idealite faktörünü gösterir. İdeal diyotlarda  $m = 1$  'dir.  $k$ , Boltzman sabitini ( $1.381 \times 10^{-23}$  J/K),  $T$ , Kelvin ( $0K = -273.150$  C) cinsinden mutlak sıcaklığı göstermektedir. Foton akımı,

$$I_{sh} = \frac{V_D}{R_{sh}} = \frac{V_{pv} + IR_s}{R_{sh}} \quad (6)$$

buradan hareketle,

$$I_{ph} = I_0 \left( e^{\frac{q(V_{pv} + IR_s)}{m k T}} - 1 \right) + \frac{V_{pv} + IR_s}{R_{sh}} \quad (7)$$

elde edilir. Çıkış akımının değeri,

$$I = I_{ph} - I_0 \left( e^{\frac{V_{pv}}{m V_T}} - 1 \right) \quad (8)$$

olarak bulunur. Etiketdeki değerler normal koşullar altında alınmıştır. Güneş panelinin denendiği yerdeki değerler, STC (Standart test koşulları) değerlerinden, iyi ya da daha kötü ise panel watt değerinin eksik veya fazla olabilir. Panelin uluslararası geçerliliğinin olması için IEC 61215 sertifikasına sahip olması gerekir. Bir güneş panelinin performansı hakkında en kolay bilgi edinmenin yolu, seri bağlanacak bir ampermetre ile çok kısa süreli + ve - uçları kısa devre ederek akım değeri ölçülür. Bu değer ile etiket değeri karşılaştırılarak değerlendirme yapılır. Maksimum güç noktasına karşılık gelen akım ve gerilimde çalışan bir yük kullanılarak güneş pilinden maksimum güç çekilir.

Akü şarj regülatörü, panellerin ürettiği elektrik enerjisi akımını ayarlayarak akünün tam dolmasını veya tamamen boşalmasını engeller. Şarj regülatörü tüketicinin çekeceği nominal akım değerine göre belirlenir. Akü şarj regülatörünün akü gerilimi ile uyumlu olması gerekmektedir. Şarj regülatöründen tüketiciler için direkt doğru akım alınabilir.

Elektrik güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir. Bu yapıya güneş pili modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir. Gerekirse bu modüller birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak, fotovoltaik bir dizi oluşturulabilir. Birkaç modülün istenilen doğrultuda bir arada bağlanması ile panel adı verilen yapılar oluşturulur. Güneş panelleri, doğrudan eğimli çatılara veya bazı yöntemler ile belirli açılar verilerek kururlar. Kurulu güçlerin çoğu pek çok solar panelden oluşur ve bu sistem "fotovoltaik dizi" olarak adlandırılır. Fotovoltaik hücreler daha yüksek akım, gerilim veya güç seviyesi elde etmek için seri veya paralel bağlanırlar. Fotovoltaik modüller çevre etkilerine karşı sızdırmazlık sağlayacak şekilde birbirine eklenmiş fotovoltaik hücreler içerirler. Fotovoltaik paneller elektrik kabloları ile birbirine bağlanmış iki veya daha çok sayıda Fotovoltaik modül içerirler. Fotovoltaik diziler ise belli sayıda Fotovoltaik modül veya panel içeren sistemlerdir [10].

### FOTOVOLTAİK PANELLERİN BAĞLANTI TÜRLERİ

Fotoelektrik paneller, seri, paralel ve seri paralel olmak üzere üç türlü bağlantı türü vardır.



### 3.1. Serial Connection of PV Panels

Panelleri seri ve ya paralel bağlamada verdiği gerilim ve akım değeri farklı olur. Güneş pillerinin voltajını arttırmak için güneş pilleri panelde seri bağlanırlar. Bu işlem bir güneş pilinin ön ( üst ) yüzü ( N-tip silikon ) ile diğer güneş pilinin arka ( alt ) yüzünün ( P-tip silikon ) bağlanması ile gerçekleştirilir. Seri bağlanmış güneş pilleri ile oluşturulan paneldeki gerilim yaklaşık olarak, paneldeki pil sayısı ile 0.5 V' ışın çarpılması ile elde edilebilir. Fotovoltaik panellerin seri bağlanmasında çıkış gerilim,

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n \quad (9)$$

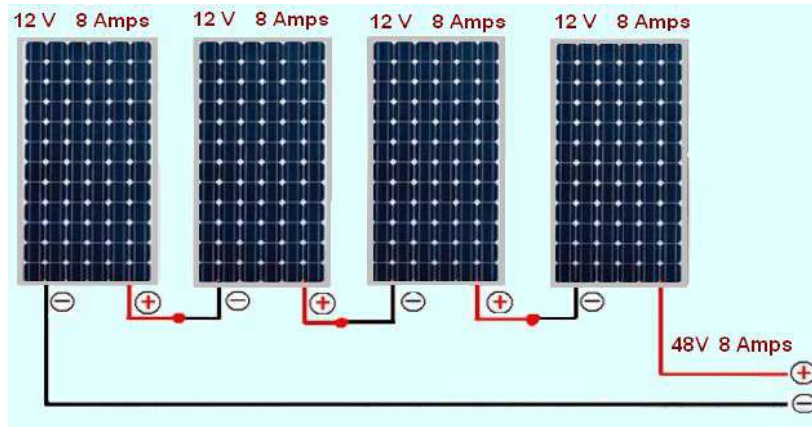
Panellerin iç direnci "r" olmak üzere toplam iç direnci,

$$r_T = r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n \quad (10)$$

Olarak bulunur. Fotovoltaik sistemin , R çıkış yükünü beslemesi durumunda yük akımı,

$$I = \frac{U}{R+r_T} \quad (11)$$

İfadesi ile bulunur. Burada I, yükün çektiği akım, R yük direncini, rT panellerin toplam iç direncini göstermektedir.



Şekil 6. Güneş panellerinin seri bağlanması

(30 – 40) adet güneş pilinin seri bağlanması ile oluşturulan bir modülden, açık ve güneşli bir günde yaklaşık olarak (33 W- 43 W)' lık bir güç çıkışı sağlanabilir, Bu güç değeri de yaklaşık olarak 16 V'lık bir gerilime karşılık gelmektedir. Eğer ihtiyacımız olan daha fazla gerilim ise bu sefer modüller seri bağlanarak ihtiyacımızı karşılayabiliriz.

Paralel Solar Güneş panel bağlantılarında mümkün olduğunca aynı model ve aynı güçte Solar paneller kullanılmalıdır. Solar Güneş panellerinin çoklu panel bağlantılarında solar panellerin üzerinde mevcut olan hazır kablolarını seri ve paralel sitemde bağlama imkanı veren konnektörler kullanılmalıdır.

### 3.1. Parallel Connection of Photovoltaic Panels

Bir modülden elde edilen gücü arttırmak için başvurulan bir yapılandırma biçimidir. Bu şekilde, çıkış gücü, 12, 24, 48 V veya daha yüksek olabilir. Birden fazla panelin kullanıldığı bir sistemde, paneller, kontrol cihazına veya akü grubuna, birlikte bağlanabilecekleri gibi, her panel tek olarak da bağlanabilir. Bu durumda, bakım kolaylığı sağlanır. Fotovoltaik panellerin paralel bağlanmasında çıkış gerilim,

$$U = U_1 = U_2 = U_3 = \dots U_n \quad (12)$$

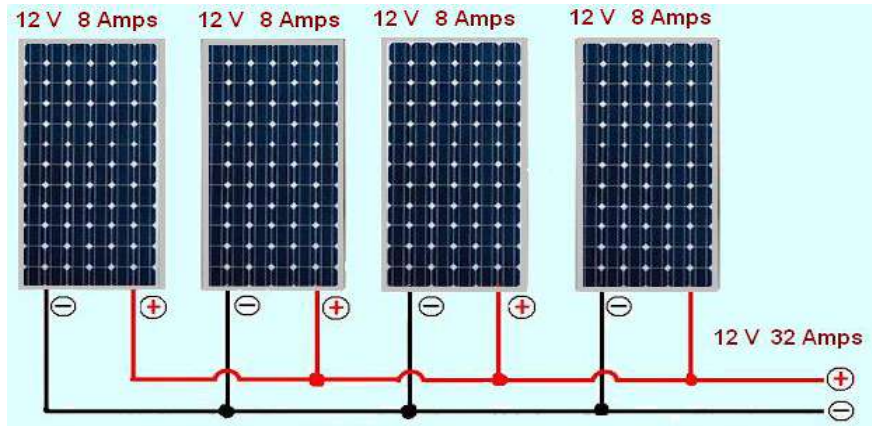
Paralel bağlı panel gerilimlerine eşittir. Burada U çıkış gerilim değeri, U1, birinci panel gerilimini, U2 , ikinci panel gerilimini, Un , n panel gerilimini göstermektedir. Panellerin iç direnci "r" olmak üzere toplam panellerin iç direnci,

$$r_T = \frac{r_1}{n} \quad (13)$$

Formülü ile bulunur. Burada rT panellerin iç dirençleri toplamını, r1 birinci panelin direncini n, panel sayısını göstermektedir. Fotovoltaik sistemin R çıkış yükünü beslemesi durumunda yük akımı,

$$I = \frac{U}{R + \frac{r_1}{n}} \quad (14)$$

İfadesi ile bulunur. Burada I, yükün çektiği akımı, R, yük direncini, r1 birinci panelin toplam iç direncini n panel adedini göstermektedir. Güneş pillerinin kullanım alanlarının başında aydınlatma ve haberleşme gelmektedir. Yerleşim merkezlerine uzak yerlerdeki GSM vericilerinin ve radyo istasyonlarının enerjilerini karşılamak için ideal çözümdür. Bunların yanı sıra geleneksel yakıtların kullanımından kaynaklanan çevresel sorunların çoğunun güneş enerjisi üretiminde bulunmaması bu enerji türünü temiz ve çevre dostu bir enerji yapmaktadır.



Şekil 7. Güneş panellerinin paralel bağlanması

Akımı arttırmak için ise güneş pilleri paralel bağlanır. Burada ise ön yüzle ön yüz , arka yüz ile de arka yüz arasında bağlantı sağlanır. Eğer aynı gerilimde daha fazla akıma ihtiyacımız varsa bu sefer de modüller paralel bağlanarak istediğimiz 12 V' luk güç çıkışını alabiliriz. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları genellikle 100 cm<sup>2</sup> civarında, kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasındadır. Güneş pilleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Pilin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, güneş pilinin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 20 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir.

PV hücreler 0,5 civarında küçük bir gerilim üretirler. Bir PV modül veya panel yüksek gerilim veya yüksek akım elde yapmak için, güneş pilleri Seri veya paralel bağlanırlar. Seri bağlantıda hücrelerin gerilimler değerleri, paralel bağlantıda ise hücrelerin akım değeri toplanır. Sistemde kullanılan, fotovoltaik üreteçlerin tümünün oluşturduğu yapıya ise örgü veya dizi denilmektedir.

Dizinin çok büyük olduğu uygulamalarda, daha kolay yerleştirme ve çıkış kontrolü için sistem, alt-örgü gruplarına ayrılabilir. Dizi, bir modülden oluşabileceği gibi 100.000 veya daha fazla modülden de ulaşabilir. Güneş pilleri, elektrik şebekesinin olmadığı, yerleşim yerlerinden uzak yerlerde, jeneratöre yakıt taşımanın zor

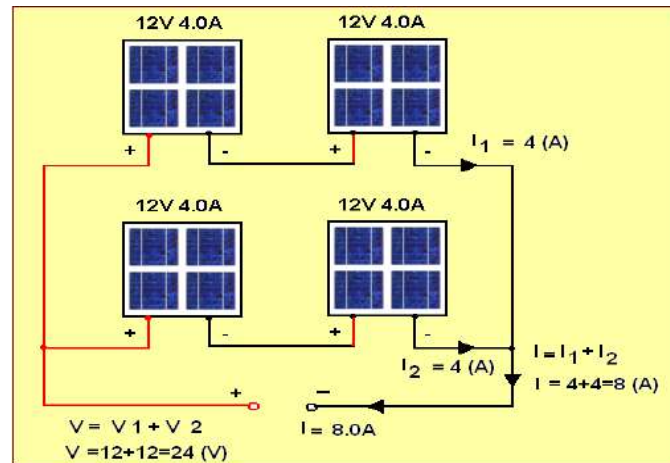


ve pahalı olduğu durumlarda kullanımı ekonomik yönden çok uygundur. Güneş ışınlarını elektrik enerjisine çeviren ve sistemin ana elemanı güneş pilleridir. 1950'ler de %4 olan verimleri günümüzde %20 civarına gelmiştir. Verimleri güneşin 1000 W/m<sup>2</sup> enerji yaydığı bölgeye göre hesaplanmaktadır ancak Türkiye'de bu değer 1300 W/m<sup>2</sup> olduğundan verimleri daha iyi değerler almaktadır. 1 m<sup>2</sup> alanda kayıplar ihmal edilirse 195 Watt elektrik üretilebilir. Seri bağlamada solar panelin bağlantıları yapılırken bir panelin artı ucu diğer panelin eksi ucuna bağlanır. Paralel bağlamada ise bunun tam tersi durum geçerli. Bir panelin artı ucu diğer panelin artı ucu ile birleştirilir [14].

### 3.1. Serial-Parallel Connection of PV Panels

Değişik seri ve paralel kombinasyonlar uygulanarak panelin akım-gerilim karakteristikleri ayarlanabilir. Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş pili birbirine paralel ya da seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya güneş pili modülü ya da fotovoltaik modül adı verilir. Ancak fotovoltaik paneller optimum şartlarda optimum güçlerini verebilirler. Panelin camının kirlenmesi, güneş ışınlarının sabah ve akşam dik açıyla gelmemesi, havanın çok sıcak ve çok soğuk olması verimin düşmesine neden olur.

Güneşten gelen ışınların güneş panellerine dik olarak düşmesi ve düşüş açının dik olması gerekir. Bu açıları hesaplayan güneş takibi yapan aparatların kullanılması sistem verimini artırır ve bu açıyı hesaplamak zorunluluğunu ortadan kaldırır. Açının önemi, panellerin verimliliğinin maksimum seviyede kullanılması ve elde edilen enerjinin maksimum seviyede olması için çok önemlidir. Bir güneş panelinin etiketindeki değerler yazılıdır. STC (Standart test şartları). Bu şartlar 1000 W/mgüneş enerjisinin 25 C'lık sıcaklığın ve hava kütlesinin (AirMass) 1,5 olduğu şartlardır.



Şekil 8. Serial-Parallel Connection of PV Panels

Seri paralel bağlantı büyük değerlerde akım ve gerilim değerleri sağlar. Güneş pilleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Güneş pili modülleri uygulamaya bağlı olarak, akümülatörler, invertörler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş pili sistemi (fotovoltaik sistem) oluştururlar.

Bu sistemlerde yeterli sayıda güneş pili modülü, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akümülatör bulundurulur. Güneş pili modülleri gün boyunca elektrik enerjisi üretirken bunu akümülatörde depolar, yüke gerekli olan enerji akümülatörden alınır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi ise akünün durumuna göre, ya güneş pillerinden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser.

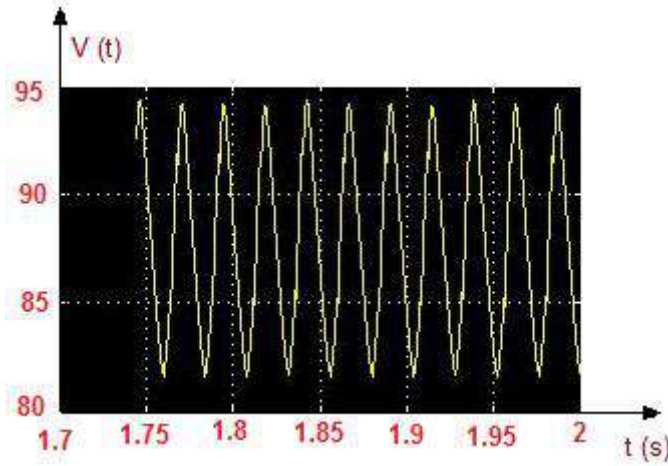
Güneş pillerinin kullanım alanlarının başında aydınlatma, haberleşme ve hesap makineleri gelmektedir. Gene bu bağlamda yerleşim merkezlerinden uzak yerlerdeki GSM vericilerinin ve radyo istasyonlarının enerjilerini karşılamak için ideal çözüm sağlarlar. Güneş pilleri ile elektrik üretildiğinde, bizleri şebeke bağımlılığından, jeneratörlerin bakım ve işletme masraflarından kurtarır. Solar panellerin paralel bağlanması sonucu çıkış akım değerini artırır buna karşılık panellerin seri bağlanması sonucu gerilim değeri yükselir. Solar panel bağlantıları kullanımlarına bağlı olarak farklı sistemlerde farklı tipte bağlanabilir. Bazı durumlarda akımın artırılması

gerektirirken, bazen de gerilimin artmasına ihtiyaç olabilir.

### SOLAR PV ENDÜKLENEN GERİLİMİN ANALİTİK İFADESİNİN BULUNMASI

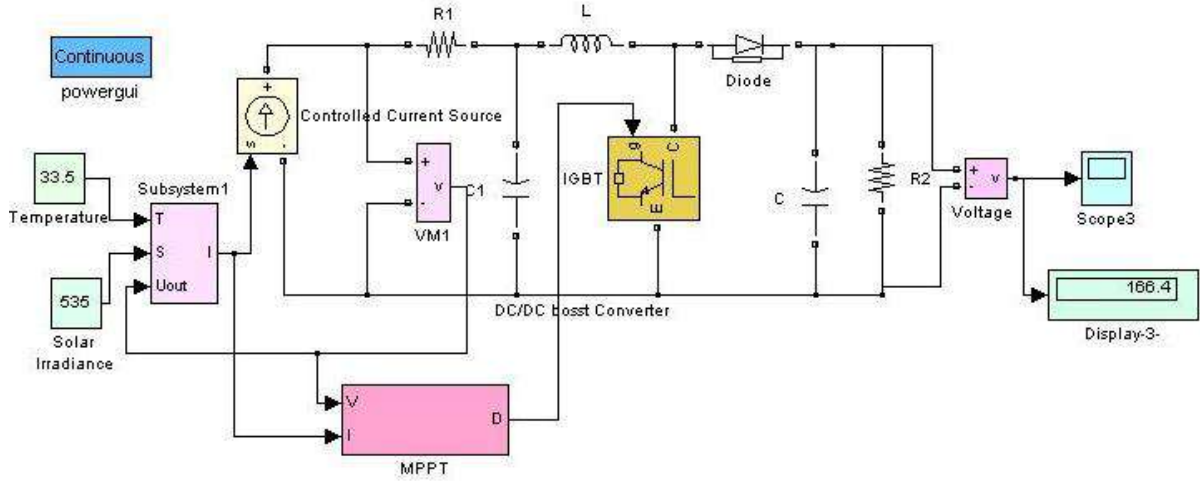
Fotovoltaik hücrelerde güneşten gelen ışınımın bir kısmı emilir ve emilen bu kısım elektrik enerjisine dönüştürülür. Modül yüzeyine gelen güneş ışınımının bir kısmı ise hücreler tarafından soğurulmadan modül yüzeyinden geri yansır. Yansımayı en aza indirmek için yüzey kaplama camlarının yapısı önemlidir. Modül yüzeyinden hücrelere iletilen güneş ışınımı emiliminin artırılması için farklı güneş pilleri kullanılır. Fotovoltaik modüllerin verimliliğini etkileyen bir diğer faktör modül yüzeyinin kirlenmesidir. Kirlenmeden dolayı hücrelere iletilen güneş ışınımının da azalma oluşur. Işınımın azalması ki bu azalma soğurulma miktarını azaltır ve enerji üretimde kayıplara neden olur. Modül yüzeyinde oluşan kirlilik yağışlardan, tozlanma ile çevresel etkenlerden kaynaklanmaktadır.

Modüllerin konumlandırılması verimliliği etkileyen bir başka koşuldur. Modüller maksimum verimi güney cephesinde vermektedir. Panellerin hareketli bir konstrüksiyon üzerinde tasarlanmalarında güneşten gelen ışınımı takip edebilmekte ve günün her saatinde en yüksek verimi sağlamaktadır. Panellerin aşırı ısınması sonucu kayıplar oluşur. Ortam sıcaklığı yükseldikçe hücre sıcaklığı da yükselir ve sistemde kayıplar oluşur. Bu kayıpları önlemek için soğutma sistemleri kullanılır. Panelleri konumlandırmadan önce bölgenin yıl içindeki sıcaklık değerleri bilinmelidir ve buna göre konumlandırma yapılmalıdır.



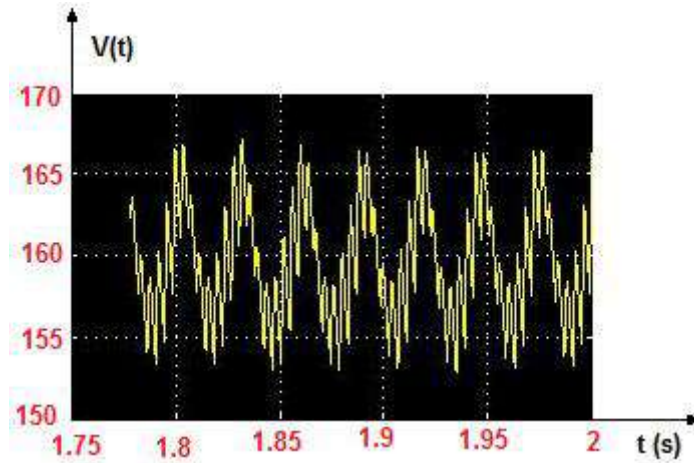
Şekil 9. Fotovoltaik panellerde endüklenen gerilim ((28.2° C) sıcaklık ve 100 (w/mm<sup>2</sup>) ışınma değerinde)

Fotovoltaik panellerin gölgede kalması da modül verimliliğini etkilemektedir. Gölgeye neden olan etkenler dağlar, ormanlık araziler, ağaçlar, binalar gibi çevresel etkenlerdir. Hücre üzerindeki küçük bir gölgelenme verimliliğe önemli ölçüde etki eder. Bir hücredeki gölgelenme diğer dizelerde ki hücrelerin performansını da önemli ölçüde etkiler. Dış etkenlerden kaynaklan gölgelenmenin yanı sıra aynı dizede ki modül sırası öndeki modül sırası tarafından gölgelenebilir bu da verimliliğe etki eder. Bu kayıpların yanı sıra sistemde oluşan kayıplar, kablolarda oluşan kayıplar, doğru akımı alternatif akıma çevrimde kullanılan invertörlerde oluşan kayıpları söyleyebiliriz.



Şekil 10. Fotovoltaik panellerde endüklenen gerilim için eşdeğer devre (Değişik sıcaklık ve ışıkma değerlerinde)

Paneller, ortam koşullarının elverişli olması durumunda nominal güçlerini üretebilirler. Panel camının kirli olması, güneş ışınlarının geliş açısının dik olmaması, havanın çok sıcak veya çok soğuk olması panel verimini düşürecektir. Bu yüzden hesaplanan güç değerinin biraz yukarısında bir değerde panel kullanmak uygun olacaktır.



Şekil 11. Fotovoltaik panellerde endüklenen gerilim ((28.2 ° C) sıcaklık ve 535 (w/mm<sup>2</sup>) ışıkma değerlerinde)

Fotovoltaik pillerde atmosfer ve diğer çevresel etkilerin verimlilik üzerine etkileri oran azaltma faktörü ile belirlenir. Bu faktörde, yıl içindeki zaman, bulutluluk, toz, sıcaklık, hava kirlenmeleri, kar miktarı, gölge gibi parametreler etkili olmaktadır. Belirtilen her bir parametrenin etkisi verimlilik hesaplamalarında kullanılır.

Tablo 1. Çeşitli sıcaklık ve ışınma değerlerinde PV panellerdeendüklenen gerilimler

Saat	Sıcaklık (° C)	Solar Işıma (w/m <sup>2</sup> )	İndüklenen gerilim (V)
5:30	100	28.2	81.8
6:00	190	29.3	116.9
6:30	260	29.8	137.5
7:00	320	30.2	146.5
7:30	405	31.4	156.3
8:00	490	32.4	157.7
8:30	535	33.5	166.4
9:00	605	34	160.2
9:30	650	34.4	166
10:00	730	35.5	162.1
10:30	740	35.7	156.8
11:00	750	35.9	155.6
11:30	755	36.01	154.3
12:00	775	36.03	157.1
12:30	800	36.04	161.7
13:00	790	35.08	159.2
13:30	750	35.05	154.8
14:00	725	35.2	159.2
14:30	700	34.6	157
15:00	600	33.8	159
15:30	500	32.4	157.9
16:00	400	31.3	158.4
16:30	250	29.6	133.4
17:00	100	28.2	81.8

Fotovoltaik piller yarıiletken malzemeler yapılmış olup güneş ışığını doğrudan elektriğe çevirirler. Fotovoltaik piller bilinenin aksine yüksek sıcaklıktan ziyade çok düşük sıcaklıkta yeteri güneş ışınımını aldıkları konumlarda daha verimli çalışırlar. Fotovoltaik piller ve güneş ışınımı yoğunluğu değişimi aşağıda verildiği gibidir:

- Foton akımı güneşli tam açık havada maksimumdur.
- Parçalı bulutlu, kapalı hava şartlarında güneşten gelen ışımaya bağlı olarak fotonakımı azalır.
- Akım- gerilim (I-V) eğrisi düşük güneş yoğunluğunda aşağı düşerek daha küçük alan kaplar.
- Bulutlu bir havada kısa devre akımı ( $I_{sc}$ ) önemli oranda düşecektir.

Artan güneş ışınımı ile panelden elde edilen güç artarken, sıcaklık artışı güç üretimini olumsuz etkilemektedir.SPSS istatistik programı ile Tablo 1 deki değerler kullanılarak, Fotovoltaik sistemde endüklenen gerilimin sıcaklık ve ışımaya bağlı ifadesi,

$$V = 0.175 * G - 8.402 * T + 331.919 \quad (15)$$

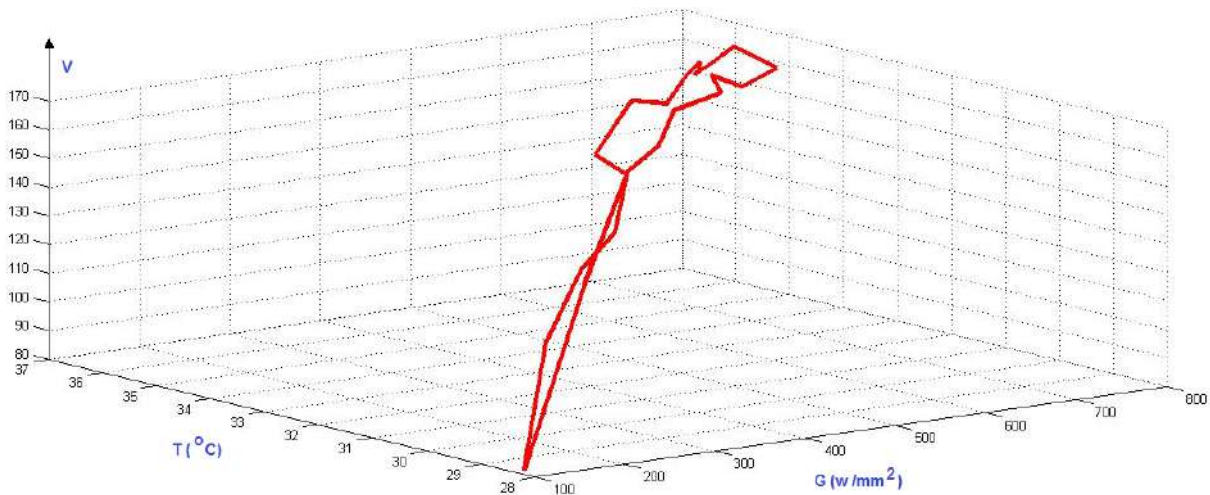
olarak bulunur. Burada V, fotovoltaik sistem terminallerinde endüklenen gerilim, G, güneşten gelen ışıma, T, ortam sıcaklığını göstermektedir.

G=[100 190 260 320 405 430 535 605 650 730 740 750 755 775 800 790 750 725 700 600 500 400 250 100];

T=[28.2 29.3 29.8 30.2 31.4 32.4 33.5 34 34.4 35.5 35.7 35.9 36.01 36.03 36.04 35.08 35.05 35.2 34.6 33.8 32.4 31.3 29.6 28.2 ];

V=[81.8 116.9 137.5 145.5 156.3 157.7 166.4 160.2 166 162.1 156.8 155.6 154.3 157.1 161.7 159.2 154.8 159.2 157 159 157.9 158.4 133.4 81.8];

Plot3(x,y,z), grid on



Fotovoltaik sistemlerde elektrik enerji üretimini etkileyen parametreler:

- Fotovoltaik panel yüzeyine gelen güneş ışınımının yoğunluğu,
- Fotovoltaik sistemin kurulduğu yöredeki güneşlenme süresi,
- Güneş ışınımının panel yüzeyine geliş açısı,
- Fotovoltaik panel yüzeyinin sıcaklığı,
- Kullanılan malzemenin yapısı, multi kristal paneller ısıdıkça verimleri mono kristal panellere göre daha çok düşmektedir. Bu yüzden multikristal panellerin yeterli derecede soğutulmaları daha çok önem kazanmaktadır.

Güneş panel yüzeyin çok az tozlanması bile toplam elektrik akımının maksimum çıkış gücünü önemli ölçüde azaltır. Ayrıca, donatıların üzerine düşebilen kuş pislikleri ve yaprak gibi küçük nesnelerin ortadan kaldırılması da önemlidir. Söz konusu nesnelere sadece güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren üniteleri gölgelemekle kalmaz, aynı zamanda güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren diğer üniteler zarar verebilir. Panelde en yüksek güç, güneşli ve serin havalarda elde edilir.

Buradan yola çıkarsak, bir güneş sisteminin kurulumu gerçekleştirilirken, kurulumun yapıldığı bölgedeki iklimsel koşulların mutlaka dikkate alınması gerekir. Güneş panellerinin mümkün olan en verimli şekilde kullanılabilmesi için, gün içerisinde sürekli olarak değişen  $P_{MAX}$ 'in takip edilmesi ve tüm sistemin bu çalışma noktasında çalıştırılması gerekir. Bunu sağlayan çeşitli algoritmalar mevcuttur. B u işleme en yüksek güç noktası takibi MPPT (Maximum Power Point Tracking) denmektedir [16].

## SONUÇLAR

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinin kullanım miktarı ülkemizde oldukça düşük seviyelerdedir. Birçok dünya ülkesinin güneş enerjisi potansiyeli ülkemizden daha düşük olmasına rağmen bu ülkelerin güneş enerjisinden faydalanma oranı ülkemize göre çok, çok yüksek seviyelerdedir.

Bu çalışmada fotovoltaik panelin eşdeğer devresi Matlab/Simulink ile modellenmiştir. Çıkış gerilimin analitik ifadesi sıcaklık ve ışınma değerlerine bağlı olarak SPSS istatistik programı ile bulunmuştur.

Güneş ışınım şiddeti panelde endüklenen gerilimi doğrudan etkilemektedir. Güneş ışınım şiddetinin düşmesi panellerde endüklenen gerilim değerini düşürmektedir. Panel sıcaklığı ile panelde endüklenen gerilim arasındaki ilişki ise ters orantılıdır. Ortam sıcaklığı arttıkça panelde endüklenen gerilim düşmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1]. Batzelis, E. I. Kampitsis, G. E. Papathanassiou, S. A. And Manias, S. N., 2015. Direct MPP calculation in terms of the single-diode PV model parameters," IEEE Trans. Energy Convers., vol. 30, no. 1, pp. 226–236, Mar.
- [2]. Ramli, M. A. Prasetyono, E. Wicaksana, R. W. Windarko, Sedraoui, N. A. K. and Al-Turki, Y. A. On the investigation photovoltaic output power reduction due to dust accumulation and weather conditions," Renew. Energy, vol. 99, pp. 836–844, 2016.
- [3]. Veldhuis, A. J. Nobre, A. M. Peters, I. M. Reindl, T. Rother, R. and Reinders, A. H. M. E. 2015, An empirical model for rack-mounted PV module temperatures for South east asian location evaluated for minute time scales, IEEE J. Photovolt., vol. 5, no. 3, pp. 774–782, May.
- [4]. Cangi, H. Adak, S., 2015, Analysis of solar inverter THD according to PWM's carrier frequency, 4th International Conference on Renewable Energy Research and Applications, Palermo, Italy, 22-25 Nov.
- [5]. Nou, J. Chauvin, R. Thil, S. and Grieu, S., 2016, A new approach to the real time assessment of the clear-sky direct normal irradiance," Appl. Math. Modelling, vol. 40, no. 1516, pp. 7245–7264.
- [6]. Bayrak, G. Ve Cebeci, M., 2012, 3,6 kW Gücündeki Fotovoltaik Generatörün Matlab/Simulink ile Modellenmesi, Erçiyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü dergisi.
- [7]. El Khateb, A. Abd Rahim, H. N. Selvara, J. and Williams, B. W., 2015, DC-to-DC Converter with Low Input Current Ripple for Maximum Photovoltaic Power Extraction, IEEE Transactions on Industrial Electronics, APRIL.
- [8]. Rustemli, S. Dincer, F. 2011, Modeling of Photovoltaic Panel and Examining Effects of Temperature in Matlab/Simulink, Electronics and Electrical Engineering, ISSN 1392-1215, no. 3(109), pp. 35-40.
- [9]. Nema, S. Nema, R. K. Agnihotri G., 2010, MATLAB/Simulink based study of photovoltaic cells / modules / array and their experimental verification, International journal of Energy and Environment, vol. 1, No. 3, pp. 487-500.
- [10]. Perez M. D. And Gorji, N. E., 2016, Modeling of temperature profile, thermal runaway and hot spot in thin film solar cells, Mater. Sci. Semicond. Process., vol. 41, pp. 529–534.



- [11]. Badawy, M.O. Yilmaz, A.S. Sozer, Y. And Husein, I., 2014, Parallel Power Processing Topology for Solar PV Applications, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 50, No.2, pp. 1245-1255, 2014.
- [8]. Atlas, I.H. Sharaf, A.M., 2007, A Photovoltaic Array Simulation Model for Matlab-Simulink GUI Environment, International Conference on Clean Power, pp. 341-345.
- [9]. LoBranco, V. Orioli, A. Ciulla, G. And DiGangi, A., 2010, An improved five parameter model for photovoltaic modules, Sol. Energy Mater. Sol. Cells, vol. 94, no. 8, pp. 1358–1370.
- [10]. Hirose, T. Osaki, Y. Kuroki, N. And Numa, M., 2010, A nano-ampere current reference circuit and its temperature dependence control by using temperature characteristics of carrier mobilities, in Proc. Eur. Solid State Circuits Conf, Sep. 2010, pp. 114-117.
- [11]. Uno, M. And Kukita, A., 2017, Currents sensorless equalization strategy for a single-switch voltage equalizer using multi stacked buck–boost converters for photovoltaic modules under partial shading,” IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 53, no. 1, pp. 420–429, Jan./Feb.
- [12]. Yazdani, A. and Dash, P. P., 2009, A Control Methodology and Characterization of Dynamics for a Photovoltaic (PV) System Interfaced With a Distribution Network, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 24, No. 3, July.
- [13]. Tekin M., Kececioglu O.F., Yildiz C., Karadol I., Gani A., Sekkeli M., 2017, Modeling The Solar Power Plants In Terms Of Effects Over The Electricity Network. 4th International Conference On Computational And Experimental Science And Engineering. Antalya, November.
- [14]. Li, H. Li, F. Xu, Y. Rizy, D. T. and Kueck, J. D., 2010, Adaptive voltage control with distributed energy resources: Algorithm, theoretical analysis, simulation and field test verification,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 25, pp. 1638–1647, Aug.
- [15]. Xiao, W. Edwin, F. F. Spagnuolo, G. Jatskevich, J., 2013, Efficient approach for modelling and simulating photovoltaic power system” IEEE Journal of photovoltaics., vol. 3, no. 1, pp. 500-508, Jan.
- [16] Chatterjee, A. Keyhani, A. And Kapoor, D., 2011, Identification of photovoltaic source models,” IEEE Trans. Energy Convers., vol. 26, no. 3, pp. 883–889, Sep.
- [17]. Cotfas, D. T. Cotfas, P. A. and Kaplanis, S. 2013, Methods to determine the dc parameters of solar cells: A critical review,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 28, pp. 588–596.
- [18] Schuss, C. Leppanen, K. Saarela, J. Fabritius, T. Eichberger, B. And Rahkonen, T., 2016, Detecting Defects in Photovoltaic Cells and Panels and Evaluating the Impact on Output Performances”, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 65, issue: 5, pp. 1-12, 2016.