

FOTOVOLTAİK ENERJİ DÖNÜŞÜM SİSTEMLERİNDE PARÇALI GÖLGELENME DURUM ANALİZİ

Murat ÜNLÜ

Sabri ÇAMUR

Biröl ARİFOĞLU

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü
Umuttepe Yerleşkesi, 41380, Kocaeli

muratunlu@kocaeli.edu.tr

scamur@kocaeli.edu.tr

barif@kocaeli.edu.tr

Özet: Bu çalışmada, Fotovoltaik (FV) panellerde önemli bir sorun olan parçalı gölgeleme konusunda ayrıntılı bir analiz yapılmıştır. Analiz için 80 Watt gücündeki bir FV güneş panelinin Matlab/Simulink ortamında matematiksel modeli tasarlanmıştır. Bu model kullanılarak 6 adet seri bağlı güneş panellerinin çeşitli parçalı gölgeleme durumları incelenmiştir. FV paneller üzerinde ışınım özdeş olduğunda sadece bir tane Maksimum Güç Noktası (MGN) mevcuttur. Bununla birlikte, parçalı gölgeleme durumlarında, bypass diyotlarının etkisiyle çok sayıda yerel (local) MGN oluşabilmektedir. Parçalı gölgeleme meydana geldiğinde; 1 tane genel (global) ve 1 yada daha fazla yerel MGN oluşmaktadır. Burada özellikle farklı parçalı gölgeleme durumlarında maksimum güç noktalarının nasıl değiştiğinin analizi yapılmıştır. Birbirine seri olarak bağlanmış altı güneş panelinin, farklı ışınım, farklı gölgeleme oranları, bypass diyotlarının bağlı olup olmadığı durumlarına göre güneş panelleri dizisinin Akım-Gerilim (I-V), Güç-Gerilim (P-V) eğileri elde edilmiş ve MGN'nin nasıl değiştiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: FV Güneş Panelleri, Parçalı Gölgeleme, Maksimum Güç Noktası.

1. Giriş

Elektrik enerjisi üretimi için geleneksel enerji kaynakları hidroelektrik, fosil yakıtlar ve nükleer enerjidir. Dünya çapında sera gazları emisyonunun artması ve fosil yakıtların hızla tükenmesi yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Ayrıca, çevrenin korunması, gelecekte insan yaşamı ve çevre dengeleri üzerinde oluşabilecek tehditlerin önlenmesi, ulusal kaynaklardan en üst düzeyde yararlanılarak ülkelerin enerji kaynakları arz güvenliğinin sağlanması, alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesini ve kullanılmasını gerekli hale getirmektedir. Bu kaynaklar arasında fotovoltaikler en önemli yenilenebilir enerji kaynakları arasındadır.

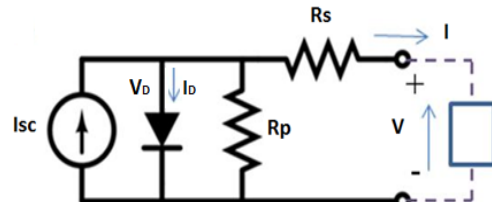
Fotovoltaik sistemler ister şebekeye doğrudan bağlı olsun ister şebekeden bağımsız olsun maliyetleri göz önüne alındığında maksimum verimde kullanılması gereken sistemlerdir.

Doğrudan yüke veya akü grubuna bağlı sistemlerde FV sistemin MGN'de çalışmadığı görülmüştür. Bu nedenle, FV verimliliğini artırmak ve FV'den maksimum gücü elde edebilmek için MGNİ-Maksimum Güç Noktası İzleyicisi (Maximum Power Point Tracker, MPPT) kullanmak gereklidir.

FV sistemlerinin çıkış güç eğrisinde parçalı gölgeleme durumları hariç tek bir maksimum nokta oluşmaktadır. Parçalı gölgeleme meydana geldiğinde; 1 tane genel (global) ve 1 yada daha fazla yerel (local) MGN oluşmaktadır. Burada amaç kullanılacak olan MGNİ'nin yerel noktalara takılmadan genel MGN'na ulaşabilmesi olmaktadır. Bu sebeple öncelikli olarak, parçalı gölgeleme durumlarının iyi analiz edilmesi ve MGN'nin farklı durumlar için nasıl değişiklik gösterdiğinin bilinmesi gerekmektedir. Konu ile ilgili yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde, bunların genel anlamda simülasyon modeli kullanılarak ve deneysel olarak, pv hücrelerinin üzerindeki gölgenin yüzey ve ışınım olarak oranı, gölgeli hücre sayısı, bypass paralel diyotların bağlı olduğu ve olmadığı, bypass diyotlarının farklı bağlantı kombinasyonlarında ve farklı hücrelerde gölge olması durumlarında çıkış gücüne ve I-V karakteristiklerine nasıl yansıdığı incelenmiştir [1],[2],[3],[4],[5],[6]. Bu raporda 80 W gücünde 6 tane panelin seri bağlı olduğu sistemde, parçalı gölgelemenin bir çok farklı durumları için analizler yapılmış güneş modüllerinin I-V ve P-V eğileri elde edilmiştir.

2. FV Hücre Modeli

Güneş pilleri p-n yarı iletkenlerinin ince bir katman haline getirilerek birleştirilmesinden oluşur. Karanlıkta FV hücre çıkış I-V karakteristiği diyot karakteristiğine çok benzer. Işığa maruz kaldığında fotonlar sayesinde elektron hareketi dolayısı ile akım sağlanır. FV hücreleri ihmallerin göz önüne alınmadığı durumda; Şekil 1'deki gibi bir akım kaynağı, akım kaynağına paralel bağlı direnç ile diyot ve oluşan yapıya seri bağlı bir direnç ile ifade edilirler.



Şekil 1. Güneş hücresi eşdeğer devresi

Burada R_s direnci hücredeki iç direnci ve bağlantı dirençlerini temsil ederken, R_p direnci ise paralel kaçak akım direncini temsil etmektedir. Bu hücreye ait devreye Kirchoff akım kanunu uygulandığında;

$$I_{SC} - I_D - \frac{V_D}{R_p} - I = 0 \quad (1)$$

$$I_D = I_o \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) = I_o \left(e^{\frac{q(V+I \cdot R_s)}{nkT}} - 1 \right) \quad (2)$$

$$\frac{V_D}{R_p} = \frac{V+I \cdot R_s}{R_p} \quad (3)$$

(2) ve (3) denklemleri (1) de yerine yazılırsa; hücreden çekilen akımı ifade eden (4) denklemi elde edilir.

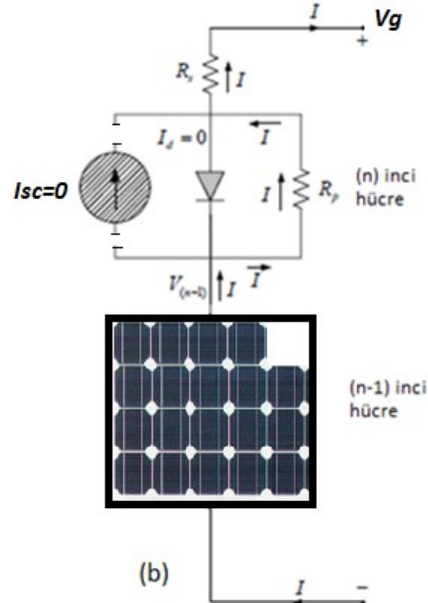
$$I = I_{SC} - I_o \left(e^{\frac{q(V+I \cdot R_s)}{nkT}} - 1 \right) - \frac{V+I \cdot R_s}{R_p} \quad (4)$$

Burada, q , bir elektron yükünü 1.6×10^{-19} , Coulombs, k Boltzman sabiti 1.38×10^{-23} J/K, T , Kelvin cinsinden hücre sıcaklığı, n ise diyodun ideal faktörünü ifade etmekte olup 1-2 arasında değerler almaktadır.

3. Parçalı gölgelenme durumu ve Blokaaj diyodu

Arzu edilen gerilim seviyesini elde edebilmek için FV hücreler seri bağlanarak FV modüller oluşturulur. Gerçek uygulama işletimi esnasında bütün hücreler aynı güneş seviyesine maruz kalmazlar. Yani hücreler çoğu kez homojen olmayan güneş radyasyonuna maruz kalırlar. FV modülde ufak bir kısım gölgelenme etkisine maruz kalsa bile FV modülün çıkışı ciddi miktarlarda azalabilir. Ancak gölgeli hücrenin FV çıkışı üzerinde oluşturabileceği olumsuz etkinin büyük bir kısmı köprüleme diyotları ile giderilebilir. Köprüleme diyotları normal iletim esnasında aktif değil iken, gölge etkisi durumunda aktif hale gelir.

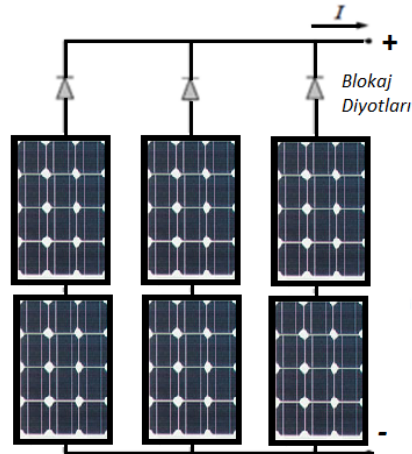
Parçalı gölgelenme durumunda; gölgelenmiş olan paneldeki kısa devre akımı (I_{sc}) sıfırdır. Şekil 2'de paneldeki hücrelerden birinin gölgeli olduğu durumun eşdeğer devre şekli verilmiştir. Şekil 2'den de görüldüğü gibi sistem tarafından üretilen akım gölgelenmiş olan hücrenin R_p direnci üzerinden akar. Bu durumda sistemin toplam çıkış gerilimi, gölgeli hücreden dolayı azalacaktır. n tane hücreden oluşan panelde bütün hücreler güneşe maruz kaldığında sistemin çıkış gerilimi V ise, 1 tane hücrede gölge olduğunda geri kalan hücrelerin üreteceği gerilim $V_{(n-1)}$ olacaktır. Panelin çıkış gerilimi V_g ise denklem (5)'deki gibi hesaplanmaktadır.



Şekil 2 Tek hücre gölgeli olan panel eşdeğer devresi

$$V_g = V_{(n-1)} - (R_p + R_s) \cdot I \quad (5)$$

Köprüleme diyotları sistem akımının gölgeli veya hatalı çalışan modülün etrafından dolaşarak akmasını sağlar. Köprüleme diyotları FV dizinin sadece performansını artırmakla kalmayıp, aynı zamanda hücrelerin fiziksel eşdeğerindeki paralel direçten akım geçmesinden dolayı oluşacak sıcak noktaların oluşmasını engeller.

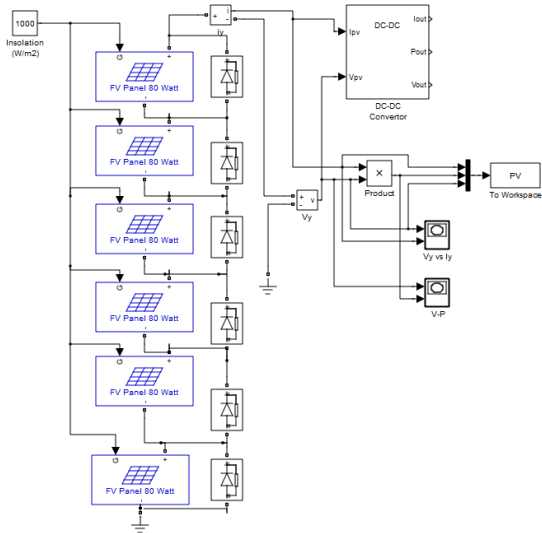


Şekil 3: Paralel bağlı paneller ve Blokaaj diyotları

Benzer bir problem birden fazla FV dizinin paralel bağlanması durumunda da oluşur. Bu durumda hatalı veya gölgeli çalışan modül geri kalan diğer modüllerden akım çeker. Bu akımın FV şerit üzerinde oluşturacağı olumsuz etkiyi ortadan kaldırmak için Şekil 3'de gösterildiği gibi her bir şeride blokaaj diyotları konur. Bu blokaaj diyotları aynı zamanda aküden gelebilecek ters akıma karşıda koruma görevi yapar.

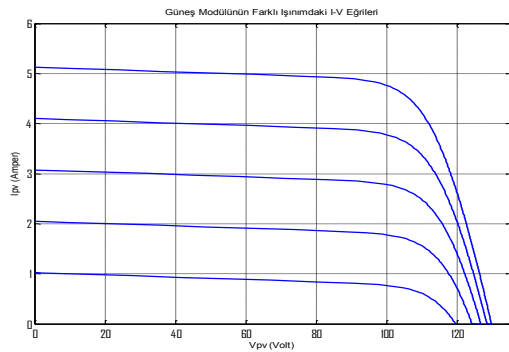
4. Benzetim Sonuçları

Açık Devre Gerilimi (V_{OC}) 21.6 V, Kısa Devre Akımı (I_{SC}) 5.15 A, Maksimum Güçte Çalışma Gerilimi (V_{pm}) 17.3 V, Maksimum Güçte Çalışma Akımı (I_{pm}) 4.63 A olan 80 Watt'lık bir güneş panelinin katalog bilgileri referans alınarak Matlab/Simulink ortamında matematiksel modeli oluşturulmuştur. Elde edilen panel modelinin Şekil 4'de gösterildiği gibi 6 tanesinin seri bağlanmasıyla FV dizin oluşturulmuştur. Daha sonra FV dizinde paneller üzerindeki gölgenin ışınım olarak oranı, gölgeli panel sayısı, panellerin farklı ışınım maruz kaldığı, bypass paralel diyotların bağlı olduğu ve olmadığı durumlarda FV dizi çıkışındaki güç, gerilim ve akımın değişimi P-V ve I-V eğrileri çıkarılmıştır.

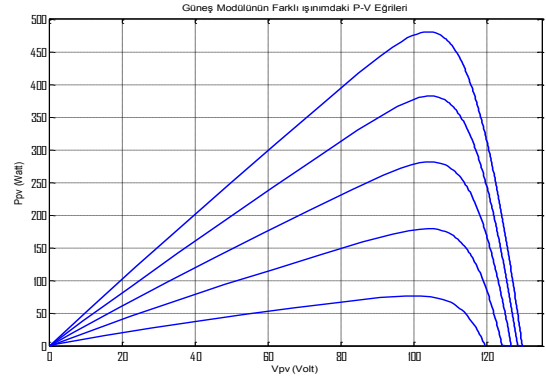


Şekil 4:6 adet seri bağlı panelden oluşan FV sistemi

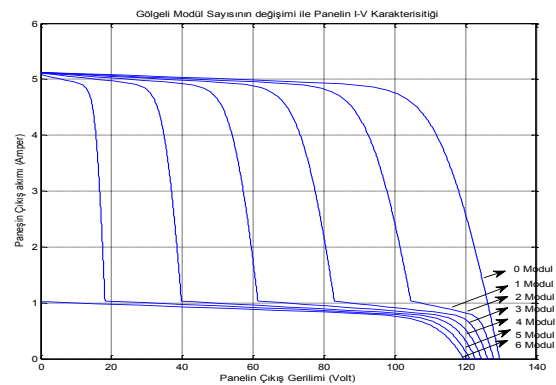
Şekil 5 ve 6 FV dizinin homojen ışınım altında I-V ve P-V değişimleri verilmiştir. Burada görüldüğü üzere her farklı ışınımında sadece bir tane MGN oluşmaktadır. Şekil 7 ve 8 sırasıyla gölgelenmiş olan panel (modül) sayıları artırılarak I-V ve P-V değişimleri elde edilmiş ve MGN'lerinin değişimi görülmüştür.



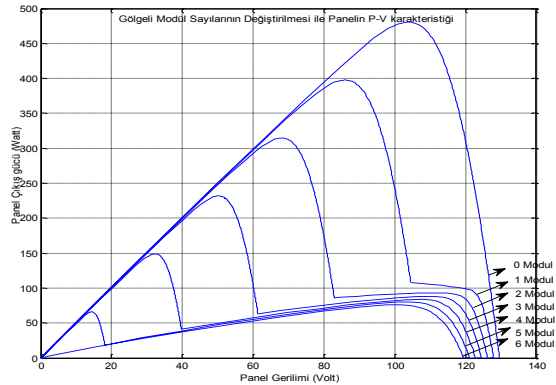
Şekil 5:FV sistemin homojen ışınım altında farklı ışınım seviyelerinde I-V değişimi.



Şekil 6:FV sistemin homojen ışınım altında farklı ışınım seviyelerinde P-V değişimi.

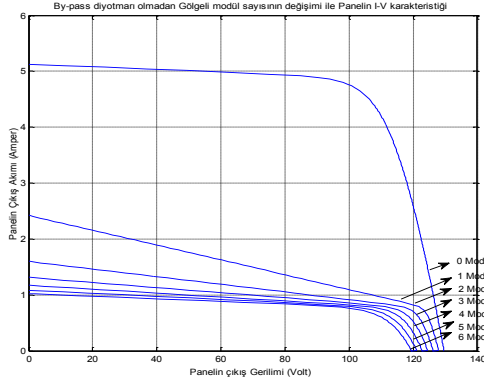


Şekil 7: Gölgeye maruz kalan panellerin sayısının FV sistemin I-V değişimine olan etkisi.

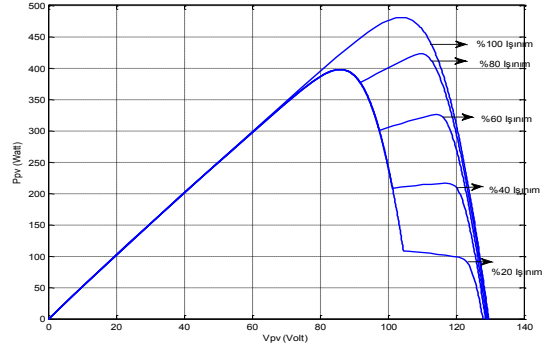


Şekil 8: Gölgeye maruz kalan panellerin sayısının FV sistemin P-V değişimine olan etkisi.

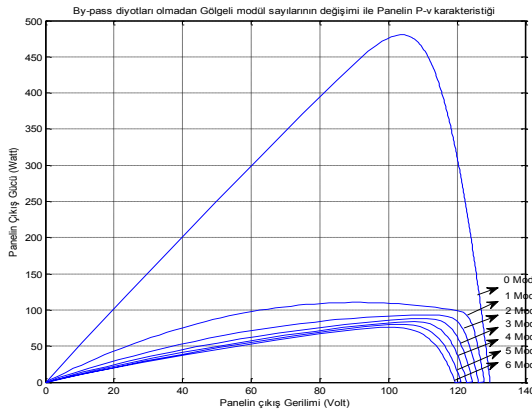
Şekil 9 ve 10'da bir önceki Şekil 7 ve 8'deki FV dizinde bağlı olan bypass diyotlarının kaldırıldığı durum için yapılmış analiz sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 9: Bypass diyodu yok iken, gölgeye maruz kalan panellerin sayısının FV sistemin I-V değişimine olan etkisi.

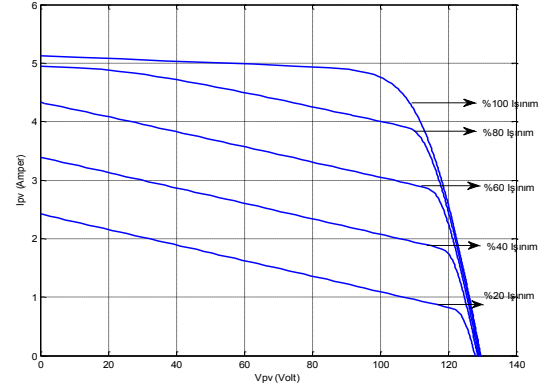


Şekil 12: Tek panel gölgeye maruz kaldığında, gölge oranının değişiminin, FV sistem P-V değişimine olan etkisi.



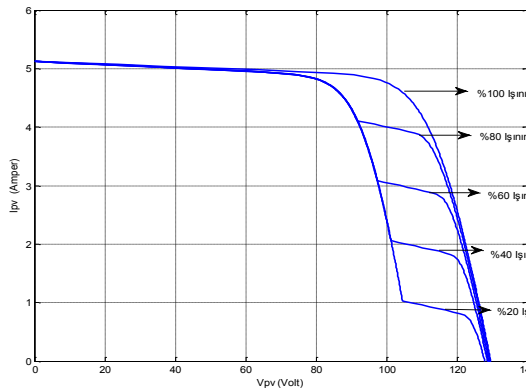
Şekil 10: Bypass diyodu yok iken, gölgeye maruz kalan panellerin sayısının FV sistemin P-V değişimine olan etkisi.

Şekil 13 ve 14'de bir önceki Şekil 11 ve 12'deki FV dizinde bağlı olan bypass diyotlarının kaldırdığı durum için yapılmış analiz sonuçlarını göstermektedir.



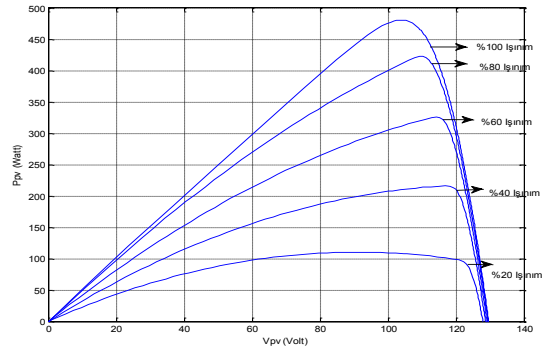
Şekil 13: Bypass diyodu yok iken, tek panel gölgeye maruz kaldığında, gölge oranının değişiminin, FV sistem I-V değişimine olan etkisi.

Şekil 11 ve 12 FV dizinde sadece tek panel gölgeli iken I-V ve P-V değişimleri elde edilmiştir. Burada diğer paneller maksimum ışınım altındayken, gölgeli panelin ışınım oranı değiştirilerek MGN'sinin nasıl değiştiği gözlemlenmiştir.



Şekil 11: Tek panel gölgeye maruz kaldığında, gölge oranının değişiminin, FV sistem I-V değişimine olan etkisi.

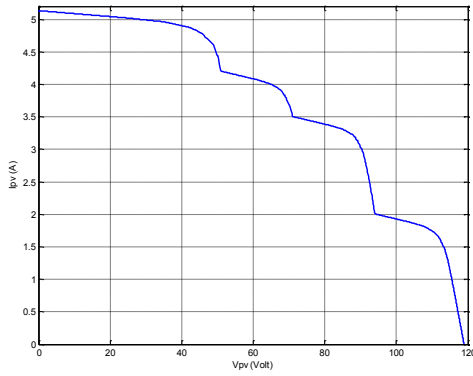
Şekil 15 ve 16 FV dizinde 3 panel maksimum ışınım altında iken, diğer üç panel farklı gölgeleme oranları ile gölgelemeye maruz kaldığındaki I-V ve P-V değişimlerini göstermektedir.



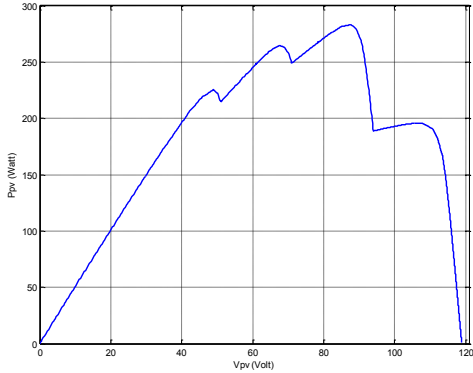
Şekil 14: Bypass diyodu yok iken, tek panel gölgeye maruz kaldığında, gölge oranının değişiminin, FV sistem P-V değişimine olan etkisi.

Buradan görüleceği üzere, FV dizindeki panellerin gölgeleme oranlarının farklı olması yerel MGN'larının sayısını artırmaktadır.

Örnek olarak Şekil 5 ve 6'daki FV sistemin P-V değişimi incelendiğinde; ışınım homojen olduğundan dolayı sistemin MGN'de çalışması için, ışınımın en üst seviyesinde (1000 W/m^2), FV sistem geriliminin (V_{pv}) 103.8 V , akımının (I_{pv}) 4.63 A ve sistemde çekilecek gücün (P_{pv}) 480 W olması gerekirken, Sistem parçalı gölgelenmeye maruz kaldığındaki durum Şekil 15 ve 16'daki değişimler incelenirse sistemin MGN'da çalışması için sistem geriliminin $V_{pv} = 87.9 \text{ V}$, $I = 3.22 \text{ A}$ olması gerekmektedir. Bu sayede sistemden elde edilecek güç 283 W olacaktır, aksi halde sistem yerel maksimum noktaya takıldığından aynı gerilimde çalışmaya devam etmekte ve sistemden ancak 194 W güç çekebilmektedir.



Şekil 15:FV sistemde üç panel farklı gölgelenme oranı ile gölgelendiğinde, sistemin I-V değişimi.



Şekil 16: FV sistemde üç panel farklı gölgelenme oranı ile gölgelendiğinde, sistemin P-V değişimi.

5. Sonuçlar ve Öneriler

Verimleri halen çok düşük olan FV güneş panellerinden en iyi şekilde faydalanmak için FV sistemler maksimum güç noktasında çalıştırılması gerekmektedir, bunu sağlamak için MGNİ kullanılmaktadır. Kullanılacak olan MGNİ devresinin FV sistemde meydana gelen parçalı gölgelenme durumlarında da MGN'de çalışması arzu edilen durumdur. Bunu sağlamak için öncelikle parçalı gölgelenme durumlarının iyi

analiz edilmesi gerekmektedir. Bu raporda parçalı gölgelenmenin bir çok farklı durumları için analizler yapılmış güneş modüllerinin gerilime bağlı olarak akım (I-V) ve güç (P-V) eğrileri elde edilmiştir.

Elde edilen bu eğrilerle, MGNİ devresinin kullanılacağı bu sistemde parçalı gölgelenme etkisinin her farklı durumu için maksimum güç noktasının nasıl değiştiği gözlemlenmiştir. FV sistemde parçalı gölgelenme ne kadar farklı oranlarda ve farklı panellerde meydana gelirse MGN sayısı artmaktadır. Bu güç noktalarından sadece 1 tanesi genel MGN diğerleri yerel MGN olmaktadır. Bunlar gözönüne alınarak tasarlanacak olan MGNİ devresi ve algoritmasının yerel noktalara takılmadan genel maksimum güç noktasına ulaşması sağlanmalıdır.

6. Kaynaklar

- [1] Kawamura, H., Naka, K., Yonekura, N., Yamanaka, S., Kawamura, H., Ohno, H. and Naito, K., "Simulation of I-V characteristics of a PV module with shaded PV cells", *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 75, 613–621, (2003).
- [2] M. C. Alonso-Garcia, J.M. Ruiz and F. Chenlo, "Experimental study of mismatch and shading effects in the I-V characteristic of a photovoltaic module," *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 90, 329–340, 2006.
- [3] M. C. Alonso-Garcia, J. M. Ruiz and W. Herrmann, "Computer simulation of shading effects in photovoltaic arrays," *Renewable Energy*, Vol. 31, No. 12, 1986-1993, 2006.
- [4] Yaw-Juen Wang, and Po-Chun Hsu, "Analysis of Partially Shaded PV Modules Using Piecewise Linear Parallel Branches Model", *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Vol. 60, 783-789, 2009.
- [5] Ramaprabha, R., Mathur, B., L., "Impact of Partial Shading on Solar PV Module Containing Series Connected Cells", *International Journal of Recent Trends in Engineering*, Vol. 2,no. 7, 56-60, (2009).
- [6] Patel, H. and Agarwal, V., "MATLAB-Based Modeling to Study the Effects of Partial Shading on PV Array Characteristics" *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 23, no. 1, 184–190, Mart, (2008).