

Fotovoltaik Sistemlerde Dağıtılmış Maksimum Güç Noktası İzleme Yöntemi için DA-DA Dönüştürücü Seçimi

Mehmet Can Özgönül¹, Türkan Çalışkan², Ayşenur Coşkun², Mutlu Boztepe²

¹Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği
mc_ozgonul@hotmail.com

²Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği
turkancaliskan2004@gmail.com, aysenurcoskun470@gmail.com,
mutlu.boztepe@ege.edu.tr

ÖZET

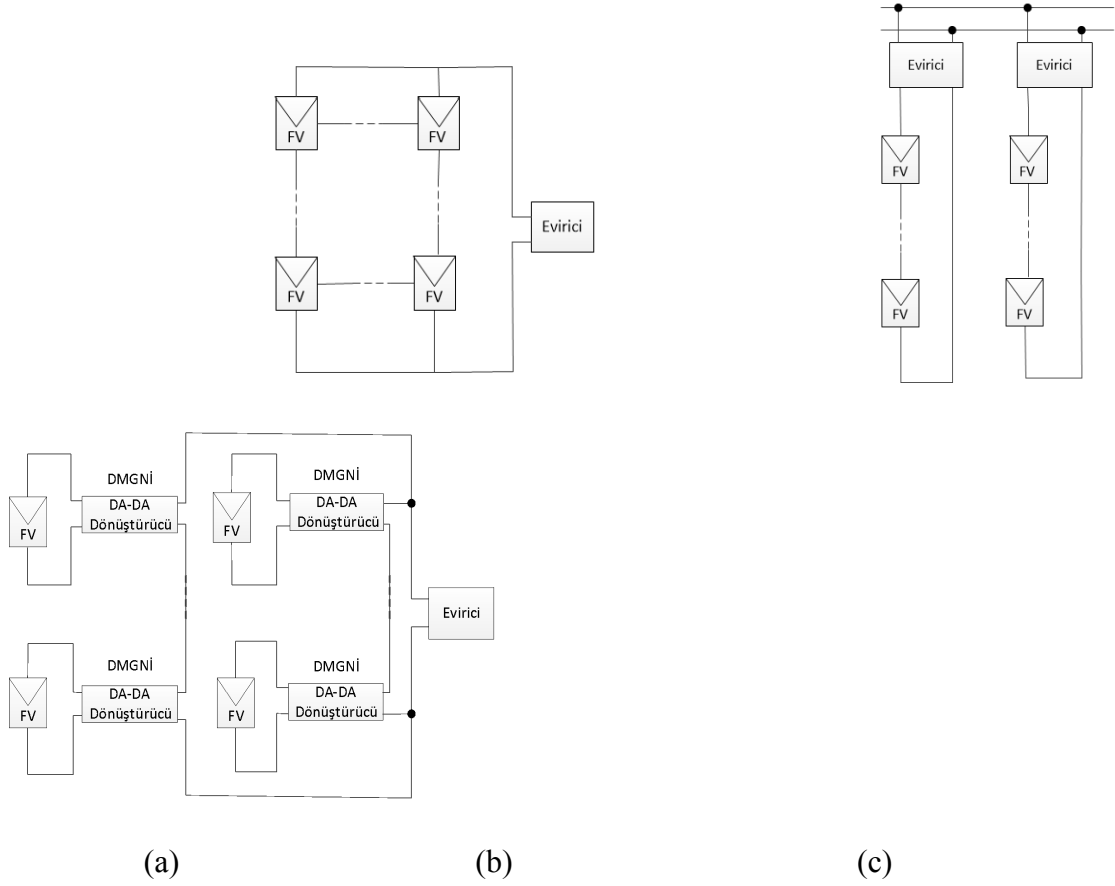
Fotovoltaik sistemlerden maksimum enerjiyi elde etmek için Maksimum Güç Noktası İzleme yöntemlerinin kullanılması gerekir. Bu yöntemlerin uygulamada karşılaştığı en önemli problemlerden biri kısmi gölgelenme durumudur. Kısmi gölgelenme güç üretimini ciddi oranda düşürmektedir. Global Maksimum Güç Noktası İzleme algoritmaları bu sorunu bir miktar iyileştirse de panellerdeki potansiyel gücü tam olarak ortaya çıkaramamaktadır. Son yıllarda bir (ya da birkaç) fotovoltaik panelin çıkışına bir dc-dc dönüştürücünün bağlandığı, panel seviyesinde Dağıtılmış Maksimum Güç Noktası İzleme yöntemi ön plana çıkmıştır. Bu çalışmada, birçok farklı durum dikkate alınarak Dağıtılmış Maksimum Güç Noktası İzleme yöntemi için gerilim yükselten, gerilim alçaltan ve gerilim yükselten/alçaltan dönüştürücüler incelenmiş ve en uygunu belirlenmeye çalışılmıştır.

1. GİRİŞ

Güneş, dünyada hayatın oluşmasını sağlayan yegâne enerji kaynağı olup aynı zamanda bütün yenilenebilir enerji kaynaklarını da ortaya çıkarmaktadır. Günümüzde, güneş enerjisi ısıtma ve doğrudan elektrik enerjisi elde etme amaçlı kullanılmaktadır. Türkiye'nin tüm yüzeyine gelen yıllık güneş enerjisi miktarı Türkiye'nin yıllık toplam elektrik üretiminin binlerce katına denk gelmektedir [1]. Bu sebeple, güneş enerjisinden maksimum faydalanma yöntemleri, dünyada olduğu gibi ülkemizde de önemi günden güne artan bir araştırma konusudur. Güneş enerjisinden birkaç farklı şekilde yararlanılabilir. Güneş kolektörleri ile güneş enerjisinin ısıtma özelliğinden yararlanılır. Fotovoltaik (FV) paneller ile güneş enerjisi foto-elektrik dönüşüm prensibine göre doğrudan elektrik enerjisine

dönüştürülür. Böylelikle elektriksel bir güç elde edilmiş olur. FV panelleri seri ve paralel bağlantı yapılarak elde edilen güç artırılabilir. Bu sayede, elektrik enerjisi üretim kapasitesi artırılır [2].

FV paneller yalnızca tek bir çalışma noktasında maksimum güç verebilirler. Bu çalışma noktası hem panel üzerine düşen ışınımına hem de panel sıcaklığına bağlı olduğundan sabit değildir ve sürekli değişkenlik arz etmektedir. FV sistemlerden elde edilen gücün maksimum verimle yüke aktarılması için panellerde Maksimum Güç Noktasının izlenmesi (MGNI) oldukça önemlidir [3]. MGNI verimli, hızlı ve doğru bir şekilde gerçekleştirilmelidir. MGNI yapıları üç ana gruba ayrılır. Bunlar; merkezi MGNI, dizi MGNI ve panel seviyesinde MGNI'dir [4]. Şekil 1'de bu yapılar gösterilmiştir.



Şekil 1. (a) Merkezi MGNI (b) dizi MGNI (c) panel seviyesinde MGNI

MGNI yapılarında FV sistemlerin karşılaştığı en büyük problemlerden biri paneller arası uyumsuzluk durumudur. Bir ya da birkaç panelin gölgelendiği kısmi gölgelenme durumunda uyumsuzluk oluşur. Kısmi gölgelenme durumunda FV dizisinin maksimum gücü, o anki panellerin maksimum güçlerinin tek tek toplamından az olabilmektedir [5]. Gölge panellere sadece difüz ışınım etki eder. Difüz ışınım da direk ışınım gibi coğrafik konuma ve zamana bağlıdır [6]. Merkezi MGNI ve dizi MGNI yapılarında kısmi gölgelenme sonucu oluşacak uyumsuzluk; güç-gerilim eğrisinde birden çok tepe noktası oluşturmaktadır. Global MGNI (GMGNI) algoritmaları ile bu sorun kısmen çözülebilsede diziden elde edilen toplam güç, tüm panellerden elde edilebilecek toplam gücün altında kalmaktadır. Çünkü uyumsuzluk yaratan

kısım, uyumsuzluk olmayan kısmın akımını sınırlar [7,8]. Bu durumun üstesinden gelebilmek için panel seviyesinde DMGNI yöntemi ile FV dizideki her bir panel kendi maksimum güç noktasında çalıştırılarak teoride panellerden alınabilecek maksimum güç elde edilir. Bu yöntemde, tek bir evirici kullanımıyla şebeke entegrasyonu gerçekleştirilirken her bir ya da birkaç FV panel için ayrı DA-DA dönüştürücü ile her panelin MGN'si izlenir [9].

DMGNI birçok DA-DA dönüştürücü topolojisi kullanılarak gerçekleştirilebilir. Literatürde DMGNI için gerilim yükselten, gerilim alçaltan ya da gerilim yükselten/alçaltan dönüştürücü içeren birçok yöntem önerilmiştir [10,11,12,13,14,15]. Ancak bu yöntemler dönüştürücülerin anlık güç dönüşüm verimleri kullanılarak belirli gölgelenme

senaryoları altında ve bir ya da birkaç çalışma noktası için yapılmıştır. Bu bildirideki çalışmada, hem iki farklı Global Işınımında (1000 W/m^2 ve 250 W/m^2) hem de Difüz Işınımın Global Işınımına oranının (α) farklı olduğu durumlarda (0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9) DMGNİ için gerilim yükselten, gerilim alçaltan ve gerilim yükselten/alçaltan dönüştürücüler ile benzetimler yapılmıştır. Böylelikle birçok **Tablo 1.** OST-80 FV panelinin elektriksel özellikleri

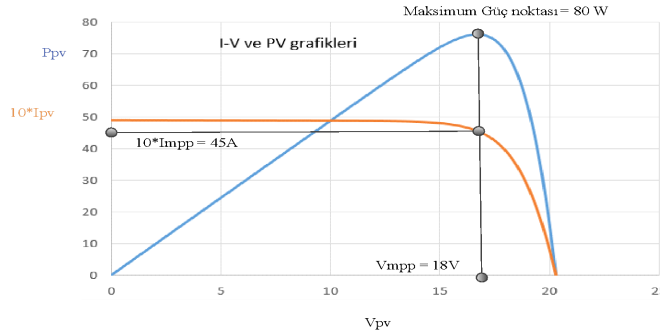
Karakteristik	Değer
Açık devre gerilimi (V_{oc})	22 V
Kısa devre akımı (I_{sc})	4,9 A
Maksimum güçte gerilim (V_m)	18 V
Maksimum güçte akım (I_m)	4,5 A
Hücre sayısı	36
Seri direnç değeri (R_s)	15Ω
Paralel direnç değeri (R_{sh})	$4,9 \Omega$
Saturasyon akımı (I_s)	$5,68 \cdot 10^{-8}$

farklı durum dikkate alınarak DMGNİ için maliyet, verim ve uygulanabilirlik açısından en uygun topoloji belirlenmeye çalışılmıştır.

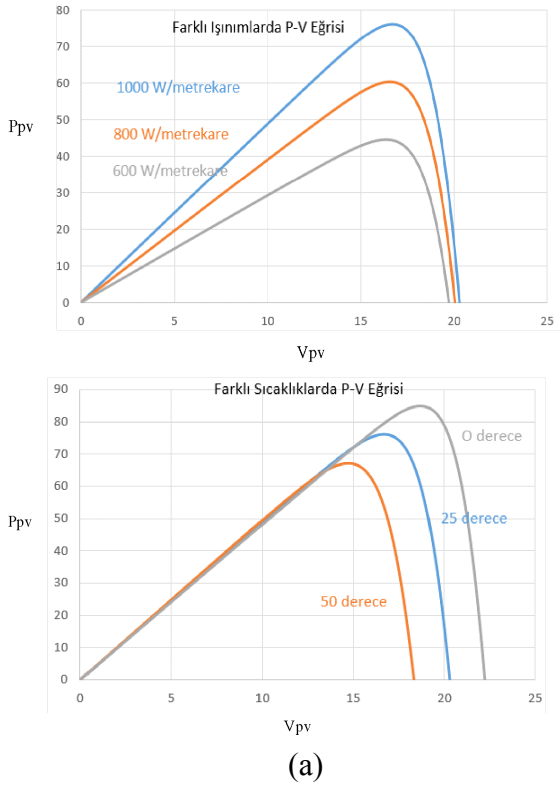
2. OST-80 FV PANELİNİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmadaki benzetimlerde OST-80 FV panelinin verileri kullanılmıştır. Bu panelin elektriksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir [16].

OST-80 FV panelinin standart test koşullarında ve farklı ışınım ve sıcaklık değerlerinde benzetimi yapılarak akım, gerilim ve güç değerleri bulunmuştur. Şekil 2'de standart test koşullarında (1000 W/m^2 Işınım ve $25 \text{ }^\circ\text{C}$ hücre sıcaklığında) P-V ve I-V eğrileri tek bir grafikte verilmiştir. Şekil 3 (a)'da farklı ışınımlarda (sırasıyla 1000 W/m^2 , 800 W/m^2 , 600 W/m^2) Şekil 3 (b)'de farklı sıcaklık değerlerinde (sırasıyla $25 \text{ }^\circ\text{C}$, $50 \text{ }^\circ\text{C}$, $0 \text{ }^\circ\text{C}$) P-V eğrileri verilmiştir.



Şekil 2. FV panelinin standart test koşullarında I-V ve P-V eğrileri

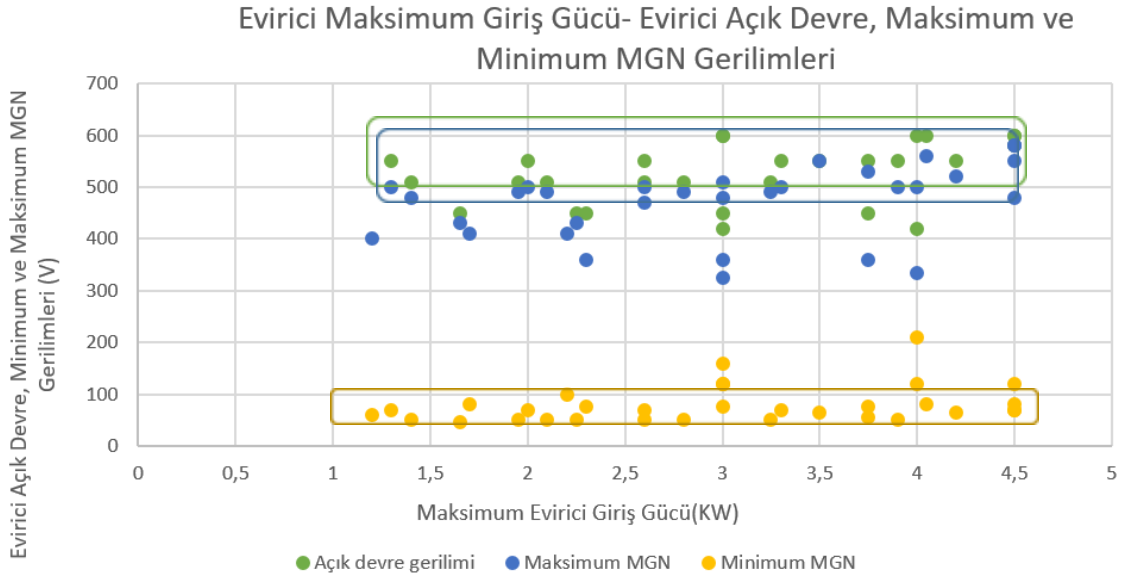


Şekil 3. FV panelin P-V eğrileri (a) farklı ışınımlarda (1000 W/m², 800 W/m², 600 W/m²) (b) farklı sıcaklıklarda (25 °C, 50 °C, 0 °C)

3. FV EVİRİCİLERİN ÖZELLİKLERİ

DMGNİ yönteminde FV sistemde kullanılacak dönüştürücülerin çıkışı bağlanarak Şekil 1 (c)'de gösterildiği gibi bir eviriciye bağlanacaktır. Dönüştürücü topolojisinin belirlenmesinde eviricinin parametreleri gereklidir. Bu sebeple, maksimum giriş gücü 1,5 kW ile 4,5 kW arasında olan ticari eviriciler incelenmiş

ve maksimum evirici gücüne karşılık maksimum açık devre gerilimleri, maksimum ve minimum MGN gerilimleri Şekil 4'de verilmiştir. Eviricilerin maksimum açık devre gerilimleri ve maksimum MGN gerilimleri sırasıyla 500 V, 480 V ve üzerinde, minimum MGN gerilimleri 80 V ve altında yoğunlaşmaktadır.



Şekil 4. Eviricilerin Maksimum Gücü- Maksimum Açık Devre, Maksimum ve Minimum MGN gerilimleri grafiği

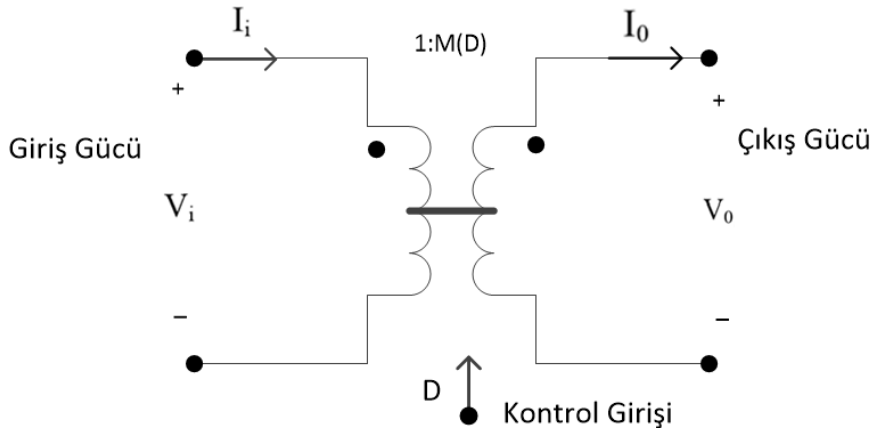
4. DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜ MODELİ

Benzetimlerde, dönüştürücü kayıpları ihmal edilerek dönüştürücülerin trafo modeli kullanılmıştır. Böylelikle benzetim süreleri kısalmıştır. Şekil 5’de gösterilen bu model, dönüştürücünün DA gerilimleri ve akımları arasındaki ilişkiyi başarılı şekilde verir. Burada, V_g , I_g , V_o , I_o ve D sırasıyla dönüştürücünün giriş gerilimi, giriş akımı, çıkış gerilimi, çıkış akımı ve görev oranıdır. $M(D)$ ise denge dönüştürme oranıdır. Gerilim düşüren

dönüştürücüde $M(D) = D$, gerilim yükselten dönüştürücüde $M(D) = 1/(1-D)$ olarak hesaplanır. Eşitlik 1 ve 2’de $M(D)$ ’ye bağlı olarak sırasıyla çıkış gerilimi ile giriş gerilimi arasındaki bağlantı ve giriş akımıyla çıkış akımı arasındaki bağlantı verilmiştir.

$$V_o = M(D)V_g \quad (1)$$

$$I_g = M(D)I_o \quad (2)$$

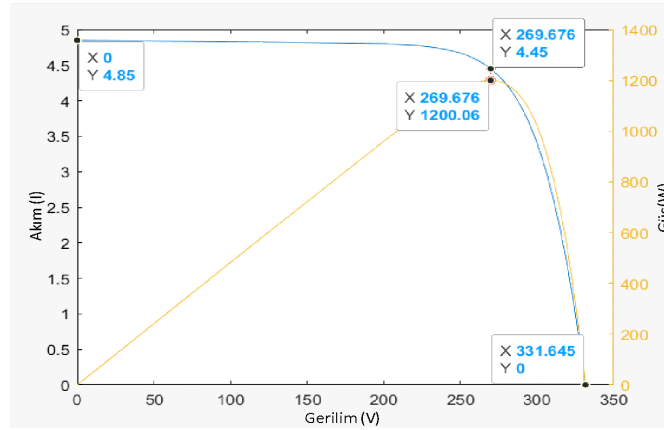


Şekil 5. DA-DA Dönüştürücü Modeli

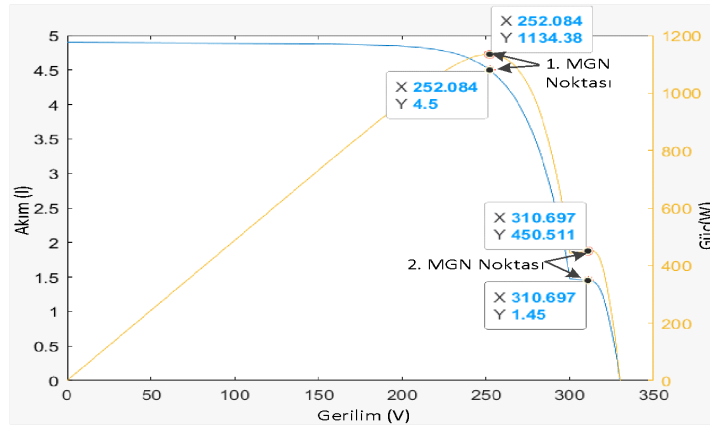
5. BENZETİM SONUÇLARI

Benzetimler, 15 adet OST-80 panelden oluşan sistemin dönüştürücüsüz, gerilim yükselten dönüştürücülü ve gerilim alçaltan dönüştürücülü durumları için dönüştürücü kayıpları ihmal edilerek gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelenen ticari eviricilerin gerilim limitleri dikkate alınarak yorumlanmıştır. Bütün durumlarda eviricilerin akım limitleri sağlandığından ayrıca incelenmemiştir. Bütün panellerin gölgelendiği ya da gölgelenmediği durumlarda her bir panele düşen ışınım aynı olacağından I-V eğrisinde birden çok tepe oluşmaz. Bu sebeple, her bir dönüştürücülü durum için tek tek incelemeye gerek yoktur. I-V eğrisindeki

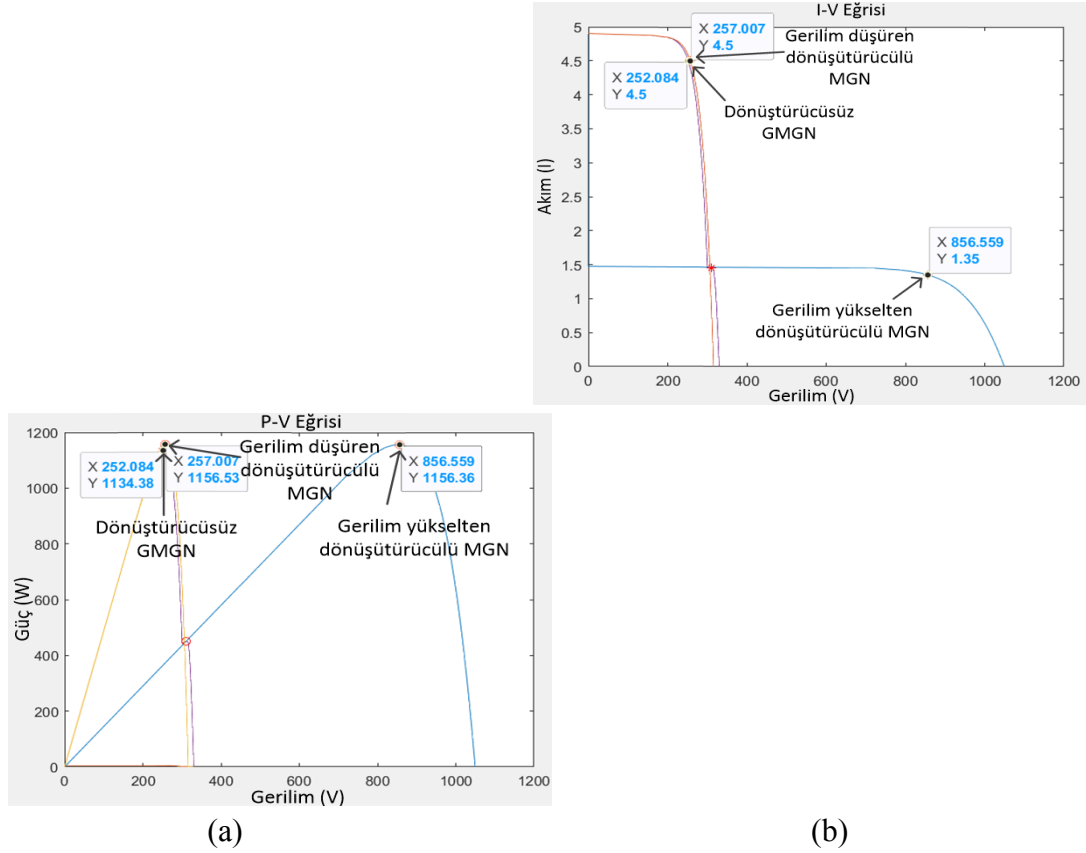
farklılık 1 ya da daha fazla panel gölgelendiğinde (15 panelin gölgelendiği durum hariç) oluşur. Dönüştürücülerin çıkışındaki Açık Devre Geriliminin ve MGN geriliminin en büyük olduğu durum bir panelin gölgelendiği, MGN geriliminin en küçük olduğu durum ise 14 panelin gölgelendiği durumdur. Tüm panellerin gölgesiz olduğu durumda I-V ve P-V eğrileri Şekil 6'da verilmiştir. Gölgeleme durumuna örnek olarak 1 panel gölgesi, Global Işınım 1000 W/m² ve $\alpha = 0,3$ iken FV sistemin dönüştürücüsüz I-V ve P-V eğrisi Şekil 7'de verilmiştir. Gerilim yükselten dönüştürücülü, gerilim alçaltan dönüştürücülü ve dönüştürücüsüz durumda I-V ve P-V eğrileri Şekil 8 (a) ve (b)' de sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 6. Global Işınım 1000 W/m² iken tüm panellerin gölgesiz olduğu durumda I-V ve P-V eğrileri



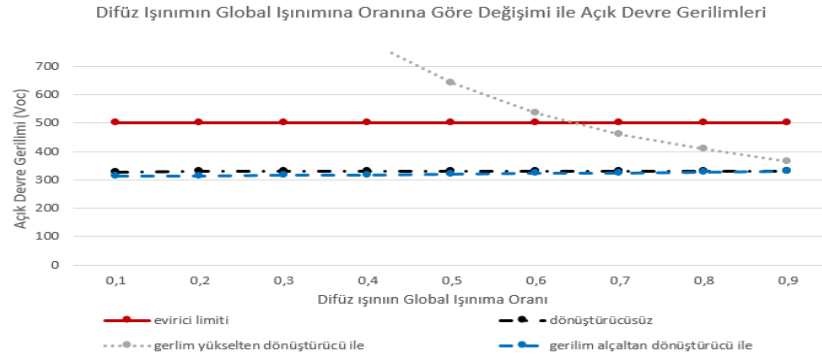
Şekil 7. 1 panel gölgeli, Global Işınım 1000 W/m^2 ve $\alpha = 0,3$ iken dönüştürücüsüz durumda I-V ve P-V eğrileri



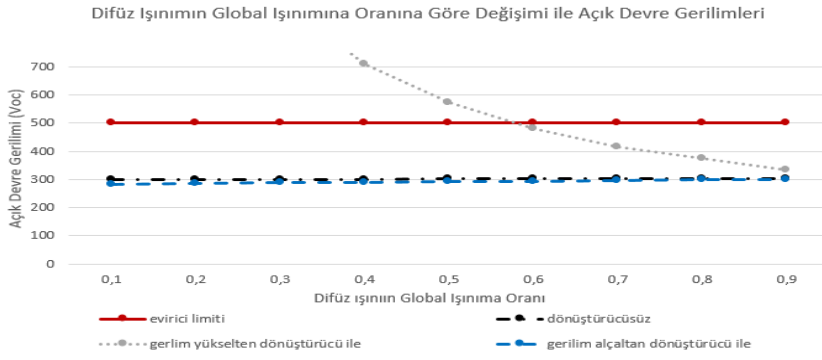
Şekil 8. 1 panel gölgeli, Global Işınım 1000 W/m^2 ve $\alpha = 0,3$ iken dönüştürücüsüz, gerilim yükselten dönüştürücülü ve gerilim alçaltan dönüştürücülü durumlarda (a) I-V (b) P-V eğrileri

1 ve 14 panel gölgeliyken 9 farklı α değerinde benzetimler tekrarlanmıştır. Gerilim yükselten ve gerilim alçaltan dönüştürücülü durumlarda en uç gerilimler bulunmuştur. Bu değerler, ticari eviricilerin gerilim limitleriyle karşılaştırılarak hangi durumlarda hangi dönüştürücü tiplerinin bu limitleri aştığı incelenmiştir. Şekil 9'da 1000 W/m^2 , Şekil 10'da 250 W/m^2 Global Işınımında eviricilerin

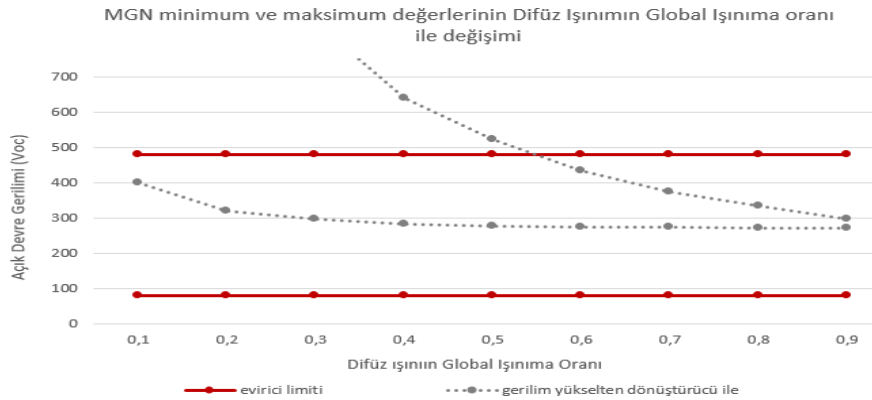
Açık Devre Gerilim limiti ve FV sistemlerde farklı α değerlerinde karşılaşılabilecek en fazla Açık Devre Gerilimleri verilmiştir. Gerilim alçaltan dönüştürücü durumunda gerilim limiti sağlanırken, gerilim yükselten dönüştürücülü durumda 1000 W/m^2 Global Işınımında $\alpha = 0,7$ 'ye, 250 W/m^2 Global Işınımında $\alpha = 0,6$ 'ya kadar gerilim limiti sağlanamamıştır.



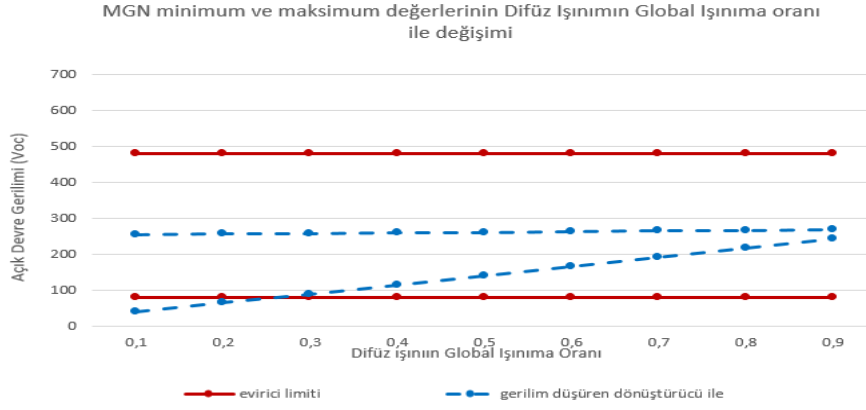
Şekil 9. 1000 W/m² Global Işınımında farklı α değerlerinde Açık Devre Gerilimleri



Şekil 10. 250 W/m² Global Işınımında farklı α değerlerinde Açık Devre Gerilimleri Farklı α değerlerinde eviricilerin maksimum ve minimum MGN değerleri ve FV sistemlerin karşılaşılabileceği en uç MGN değerleri 1000 W/m² Global Işınımında gerilim yükselten dönüştürücülük durumunda Şekil 11'de gerilim alçaltan dönüştürücülük durumunda Şekil 12'de verilmiştir. Gerilim alçaltan dönüştürücülük durumunda sadece $\alpha = 0,1$ ve $0,2$ olduğunda, gerilim yükselten dönüştürücülük durumunda $\alpha = 0,6, 0,7, 0,8, 0,9$ olduğunda eviricilerin MGN değerleri sağlanamamıştır. 250 W/m² Global Işınımında da MGN limitlerinin aşıldığı α değerleri aynıdır.



Şekil 11. 1000 W/m² Global Işınımında gerilim yükselten dönüştürücülük durumunda farklı α değerlerinde en fazla ve en az MGN Gerilimleri



Şekil 12. 1000 W/m² Global Işınmada gerilim yükselten dönüştürücülü durumda farklı α değerlerinde en fazla ve en az MGN Gerilimleri

6. SONUÇLAR

Global ışınım 1000 W/m² ve 250 W/m² iken farklı panellerin gölgelendiği durumlarda gerilim yükselten ve gerilim alçaltan dönüştürücüler ile benzetimler yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde birçok α değerlerinde gerilim yükselten dönüştürücülerin kullanıldığı durumda, dönüştürücülerin çıkışındaki MGN, eviricilerin maksimum MGN'nin ve maksimum Açık Devre Geriliminin üzerindedir. Bu sebeple, bu dönüştürücülerde gerilim sınırlaması olmalıdır. Bu da birçok durumda MGN izlenememesine neden olur. Gerilim alçaltan dönüştürücülerde ise gerilim sınırlamasına ihtiyaç yoktur ve bütün durumlarda dönüştürücülerin çıkışındaki Açık Devre Gerilimi eviricilerin maksimum Açık Devre Geriliminin altındadır. Ayrıca, $\alpha = 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9$ olduğunda her bir gölgelenme durumunda MGN sorunsuz izlenilebilirken sadece $\alpha = 0.1$ ve 0.2 iken 14 ve 13 panelin gölgeli olduğu durumda MGN izlenemez. Fakat bu gölgelenme durumuna FV sistemden enerji üretilen bir periyotluk sürenin kısa bir diliminde karşılaşılır. Ayrıca, maksimum hasatlanabilir enerjinin

küçük bir kısmı hasatlanamaz (1000 W/m² Global Işınmada $\alpha = 0,1$, 14 ve 13 panel gölgeliyken sırasıyla 170 W ve 244 W, $\alpha = 0,2$, 14 ve 13 panel gölgeliyken sırasıyla 279 W ve 345 W. 250 W/m² Global Işınmada $\alpha = 0,1$, 14 ve 13 panel gölgeliyken sırasıyla 33 W ve 48 W, $\alpha = 0,2$, 14 ve 13 panel gölgeliyken sırasıyla 57 W ve 70 W). Gerilim yükselten/alçaltan dönüştürücülü durumda gerilim yükselten ya da gerilim alçaltan moddan istenilende çalıştırılabileceğinden panellere bağlanan her bir dönüştürücünün çıkışı maksimum güç eğrisinde istenilen akıma getirilerek bütün durumlarda hem eviricilerin maksimum Açık Devre Gerilimi sağlanır hem de MGN izlenir. Fakat bu dönüştürücülerin kurulumu daha zor ve maliyeti daha fazladır. Birçok farklı durum dikkate alındığında 15 adet OST-80 panelden oluşan sistemde DMGNİ yöntemi için gerilim alçaltan dönüştürücünün daha avantajlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

7. REFERANSLAR

- [1] S. Adak, H. Cangi ve A.S. Yılmaz, "Fotovoltaik Sistemin Çıkış Gücünün Sıcaklık ve Işımaya Bağlı Matematiksel Modellemesi ve

- Simülasyonu”. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 11(1), 2019.
- [2] İ. Ceylan ve A.E. Gürel Güneş Enerjisi Sistemleri ve Tasarımı, Dora Yayıncılık, pp. 150-156 Türkiye, 2017.
- [3] Z. Gümüş, M. Demirtaş, “Fotovoltaik sistemlerde maksimum güç noktası takibinde kullanılan algoritmaların kısmi gölgeleme koşulları altında karşılaştırılması”, Politeknik Dergisi, cilt 24, 2021.
- [4] M.E. Başoğlu, “Comprehensive review on distributed maximum power point tracking: submodule level and module level mppt strategies” Solar Energy vol. 241, pp. 85-108, 2022.
- [5] F. Wang, R. Gou, T. Zhu, Y. Yang ve F. Zhuo, "Comparison of DMPPT PV system with different topologies," 2016 China International Conference on Electricity Distribution (CICED), 2016.
- [6] D. Vecan, Measurement and comparison of solar radiation estimation models for İzmir/Turkey: İzmir Institute of Technology Case, Y.Lisans tezi, İzmir, Turkey, 2011.
- [7] G. Carannante, C. Fraddanno, M. Pagano ve L. Piegari, "Experimental performance of MPPT algorithm for photovoltaic sources subject to inhomogeneous insolation", IEEE Trans. Ind. Electron., 56 (11), pp. 4374-4380, 2009.
- [8] M. Boztepe, F. Guinjoan, G. Velasco-Quesada, S. Silvestre, A. Chouder ve E. Karatepe, "Global MPPT scheme for photovoltaic string inverters based on restricted voltage window search algorithm", IEEE Trans. Ind. Electron., 61 (7), pp. 3302-3312, 2014.
- [9] M. Boztepe Fotovoltaik güç sistemlerinde verimliliği etkileyen parametreler, V. İzmir Enerji Verimliliği Günleri, İzmir, 2017.
- [10] F. Wang, T. Zhu , F. Zhuo, H. Yi , ve S. Shi, Submodule Level Distributed Maximum Power Point Tracking PV Optimizer with an Integrated Architecture. Journal of Power Electronics, 17(5), pp. 1308–1316, 2017.
- [11] J. Jiang, T. Zhang ve D. Chen, "Analysis, Design, and Implementation of a Differential Power Processing DMPPT With Multiple Buck–Boost Choppers for Photovoltaic Module," in IEEE Transactions on Power Electronics, 36 (9), pp. 10214-10223, 2021.
- [12] S. Sajadian ve R. Ahmadi, "Distributed Maximum Power Point Tracking Using Model Predictive Control for Photovoltaic Energy Harvesting Architectures Based on Cascaded Power Optimizers," in IEEE Journal of Photovoltaics, 7 (3), pp. 849-857, 2017.
- [13] Moorthy, J.G., Manual, S., Moorthi, S. Et al. “Performance analysis of solar PV based DC optimizer distributed system with simplified MPPT method”. SN Appl. vol. 220 (2), (2020).
- [14] O. Khan, W. Xiao and H. H. Zeineldin, "Gallium-Nitride-Based Submodule Integrated Converters for High-Efficiency Distributed Maximum Power Point Tracking PV Applications," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, 63 (2), pp. 966-975, 2016.
- [15] H. Luo, H. Wen, X. Li, L. Jiang, Y. Hu, “Synchronous buck converter based low cost and high-efficiency sub-module DMPPT PV system under partial shading conditions”, Energy Conversion and Management, vol.126, pp. 473-487, 2016
- [16] S. Zengin, F. Deveci ve M. Boztepe. “Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemler için flyback mikroevirici tasarımı”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik

Bilimleri Dergisi, 21 (2), pp. 30-36,
2013.

- [17] R. W. Erickson ve D. Maksimovic,
Fundamentals of Power Electronics,
Kluwer Academic Publishers, New
York, 2001, pp. 39-41