

Fotovoltaik Enerji Sistemleri için Maksimum Güç Noktası Takip Algoritmalarının Karşılaştırılması

*¹Serhat DUMAN, ²İsmail H. ALTAŞ, ³Nuran YÖRÜKEREN, ³Bora ALBOYACI

*¹Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Düzce Üniversitesi, Türkiye

²Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye

³Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye

Özet

Günümüzde, temiz enerji kaynakları ya da yenilenebilir enerji kaynaklarından fotovoltaik sistemlerin (FV) kullanımı giderek artmaktadır. Bu çalışmada bir diyotlu FV pilin matematiksel modeli kullanılarak benzetim modeli ve bu modelin seri-paralel bağlanması ile FV panel modeli oluşturulmuştur. FV panelin farklı çevresel koşullar altında benzetim çalışmaları Matlab/Simulink ortamında yapılmıştır. Değişen çevresel koşullar altında FV panellerin maksimum güç noktasında çalıştırılmaları gerekmektedir. FV panelin maksimum güç noktasını belirlemek için maksimum güç noktası takip (MGNT) algoritmalarından değiştir-gözetle, artan iletkenlik algoritmalarının karşılaştırılması, benzetim çalışmaları ve uygulaması yapılmıştır. Elde edilen benzetim ve uygulama sonuçlarına göre algoritmaların MGN'leri takip etmedeki başarıları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji kaynakları, fotovoltaik enerji sistemleri, maksimum güç noktası takip algoritmaları

Abstract

Nowadays, photovoltaic (PV) systems from the clean energy sources or renewable energy sources are being increasingly implemented. In this study, simulation model is formed by using mathematical model with one diode of the PV cell and model of the PV panel is formed series-parallel connected to the model. The simulation studies of the PV panel under different environmental conditions have been performed in Matlab/Simulink software. PV panels are to be operated in maximum power point under changing environmental conditions. The comparison, simulation studies and application of the perturb and observe, the incremental inductance algorithms from the maximum power point tracking (MPPT) have been performed to determine maximum power point of the PV panel. According to obtained simulation and application results, the maximum power points tracking of the algorithms have been investigated.

Key words: Renewable energy sources, photovoltaic energy systems, maximum power point tracking algorithms

1. Giriş

Günümüzde teknoloji ve sanayideki hızlı gelişmeler, dünya nüfusunun giderek büyümesi, toplumun ihtiyaçlarının gün geçtikçe değişmesi ile birlikte dünyadaki enerji talebi giderek artmaktadır. Şu anki enerji talebinin büyük bir bölümü petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil yakıtlı geleneksel enerji üretim yöntemleri ile karşılanmaktadır. Fosil yakıtlara ait mevcut

*Corresponding author: Address: Faculty of Technology, Department of Electrical and Electronics Engineering Duzce University, Duzce TURKEY. E-mail address: serhatduman@duzce.edu.tr, Phone: +903805421133 Fax: +905421134

rezervlerin bir gün tükeneceğinin düşünülmesi, bunların hava kirliliği, küresel ısınma, ozon tabakasının incilmesi gibi endişe edilebilecek boyutlarda doğal çevreye ve insan yaşamına zarar verecek duruma gelmesi, alternatif enerji kaynaklarının bulunmasına yönelik çalışmaların yapılmasına önemli katkılar sağlamıştır. Bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda yenilenebilir enerji kaynaklarının artan kullanımı ile fotovoltaik (FV) enerji sistemleri enerji üretiminde önemli bir yere gelmiştir [1-3]. Ancak ilk kurulum maliyetleri yüksek olan FV sistemler değişen çevresel koşullara bağımlı olarak üretebilecekleri maksimum güç değerlerinde çalıştırılmaları gerekmektedir [4]. Bundan dolayı FV sistemlerin maksimum güç noktasında tutulabilmesi için ürettiği akım, gerilim bilgisi, güneş ışınım şiddeti, sıcaklık gibi çevresel şartlara bağımlı olarak kullanılan algoritmalar doğrudan ve dolaylı arama yöntemleri olarak belirtilmektedir [5]. Değiştir-gözetle, artan iletkenlik, tepe tırmanma algoritmaları olarak bilenen metotlar ilk grup; bulanık mantığa, yapay sinir ağlarına (YSA) ve sezgisel algoritmalara yönelik kullanılan metotlar ikinci grup maksimum güç noktası takip (MGNT) algoritmaları olarak belirtilmiştir [6].

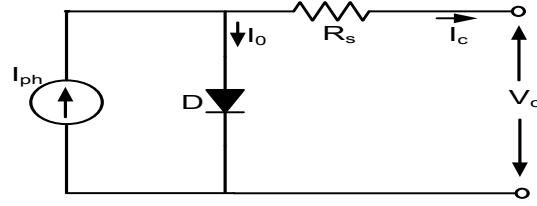
Soetedjo ve ark. güneş enerjisi sistemlerinin modellenmesini Matlab/Simulink paket programı kullanarak yapmışlardır. Modellenen sistemin farklı çevresel koşullar altında değiştir-gözetle algoritması kullanarak benzetim çalışmalarını gerçekleştirip, MGNT etrafında oluşan salınımların ve görev periyodunun değişimini algoritmada kullanılan adım değişim değerinin etkilediğini belirtmişlerdir [7]. Liu ve ark. parçacık sürü optimizasyon algoritmasını FV sistemlerin parçalı gölgeli durumlarında oluşan yerel maksimum güç noktalarına takılmadan maksimum güç noktasını bulmak için kullanmışlardır. Amaçlanan optimizasyon algoritmasına dayalı MGNT algoritmasının maksimum güç noktasını bulmada diğer arama metotlarına göre daha etkili olduğu, bu algoritmanın istenilen çözüm noktasına kısa zaman içinde yakınsadığı ve uygulamasının kolay olduğu yazarlar tarafından belirtilmiştir [8]. Moradi ve Reisi FV sistemler için maksimum güç noktasının belirlenmesinde hibrit bir yaklaşım önermişlerdir. Bu yaklaşım Matlab/Simulink paket programı kullanılarak benzetim çalışmaları yapılmış ve laboratuvar ortamında da deneysel çalışmaları yapılarak elde edilen sonuçlara göre maksimum güç noktasını aramada etkili ve iyi performans gösterdiği belirtilmiştir [9]. Chin ve ark. güneş panelini Matlab/Simulink paket programında modellemiş ve analiz çalışmaları yapmışlardır. Panelin çıkış gücü bulanık mantığa dayalı MGNT algoritması ve değiştir gözetle algoritması kullanılarak araştırılmıştır. Yapılan benzetim çalışmalarına göre bulanık mantığa dayalı algoritmanın MGNT'yi bulmada daha etkili olduğunu belirtmişlerdir [10].

Bu çalışmada FV enerji sisteminin modellenmesi, çevresel koşullara bağımlı olarak değişen MGNT'sini belirlemede değiştir-gözetle ve artan iletkenlik algoritmalarının benzetim çalışmaları yapılmış ve bu algoritmaların laboratuvar ortamında uygulaması yapılarak elde edilen sonuçların benzetim sonuçlarına uygunluğu gösterilmiştir.

2. Fotovoltaik Sistemlerin Modellenmesi

FV sistemlerinde kullanılan FV piller belirlenen yüzey alanı içerisine seri ya da paralel bağlanarak oluşturulan FV panelin üreteceği akım ve gerilim değerlerinin artması sağlanmaktadır. Bu çalışmada Şekil 1'de elektriksel devre yapısı gösterilen bir diyotlu FV pilin

modellemesi yapılmaktadır [11].



Şekil 1. Bir diyot güneş pili elektriksel devre modeli

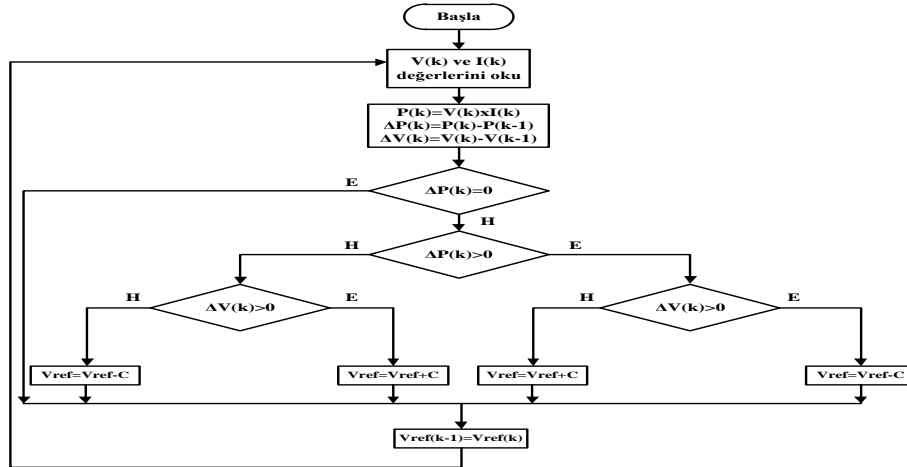
Şekil 1’de gösterilen bir diyot FV pil modeline ait matematiksel eşitlikler aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [11].

$$V_c = \frac{nkTc}{q} \ln\left(\frac{I_{ph} + I_0 - I_c}{I_0}\right) - R_s I_c \quad (1)$$

$$I_c = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{q(V_c + R_s I_c)}{nkTc}} - 1 \right) \quad (2)$$

$$I_{ph} = f(V_c, G_x, T_{Cx}) \quad (3)$$

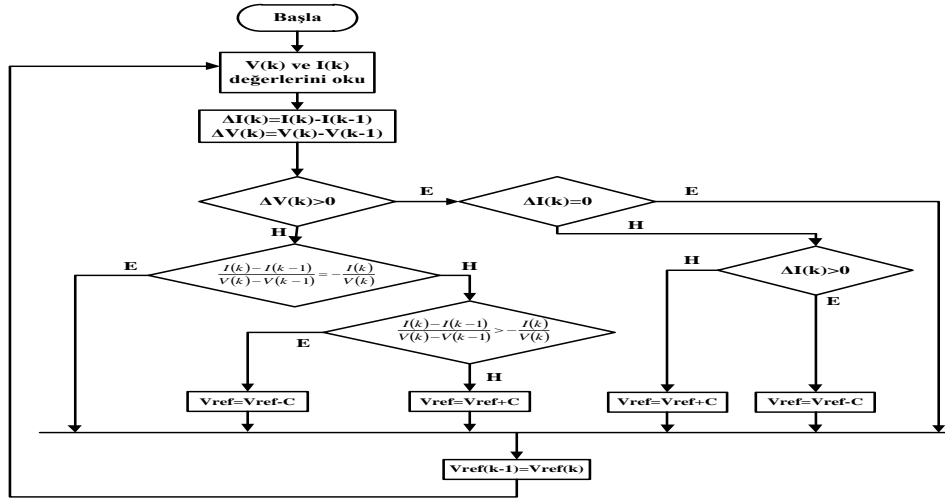
Burada n FV pilinde kullanılan malzemeye göre değişen idealite faktörü, I_{ph} foton akımı, k boltzman sabiti (1.38×10^{-23} J/°K), q elektron yükü (1.602×10^{-19} C), R_s FV pilin seri direnci, I_c FV pilin çıkış akımı, V_c FV pilin çıkış gerilimi, I_0 diyotun ters doyum akımı, olarak ifade edilir. Denklem (3) göre foton akımı güneş ışınım şiddeti, sıcaklık değeri ve çıkış geriliminin bir fonksiyonu olarak belirtilmektedir.



Şekil 2. Değiştir-gözetle algoritması akış diyagramı

Değiştir-gözetle algoritması uygulanabilirliği açısından basit bir yapıya sahip olduğu için daha çok kullanılan metot olarak belirtilmektedir. Şekil 2’de bu algoritmaya ait akış diyagramı gösterilmektedir [12]. Bu algoritma, FV sistemin çıkış gücünün gözlenmesine ve sistemin gerilim

veya akım değerinin bir sonraki değerinin hesaplanması prensibine dayanmakta olup algoritma MGNT'ye ulaşıncaya kadar referans akım veya gerilim değerini sürekli olarak arttırıp-azaltır. Böylece algoritma sürekli olarak maksimum güç noktasını arama işlemi yaptığı için maksimum güç noktasında sabitlenemez. Bu durum algoritmanın maksimum güç noktası etrafında salınım yapmasına neden olmaktadır [12,13].

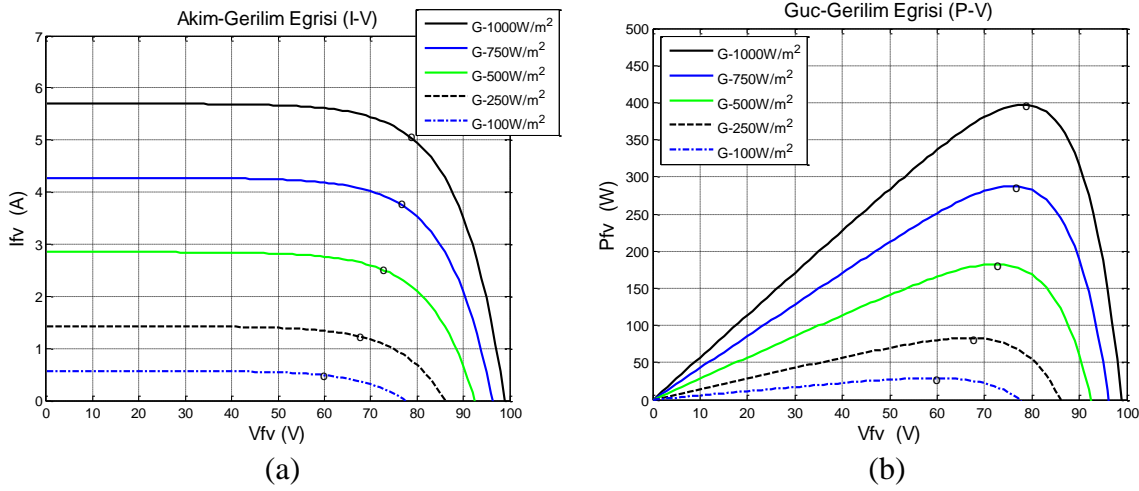


Şekil 3. Artan iletkenlik algoritması akış diyagramı

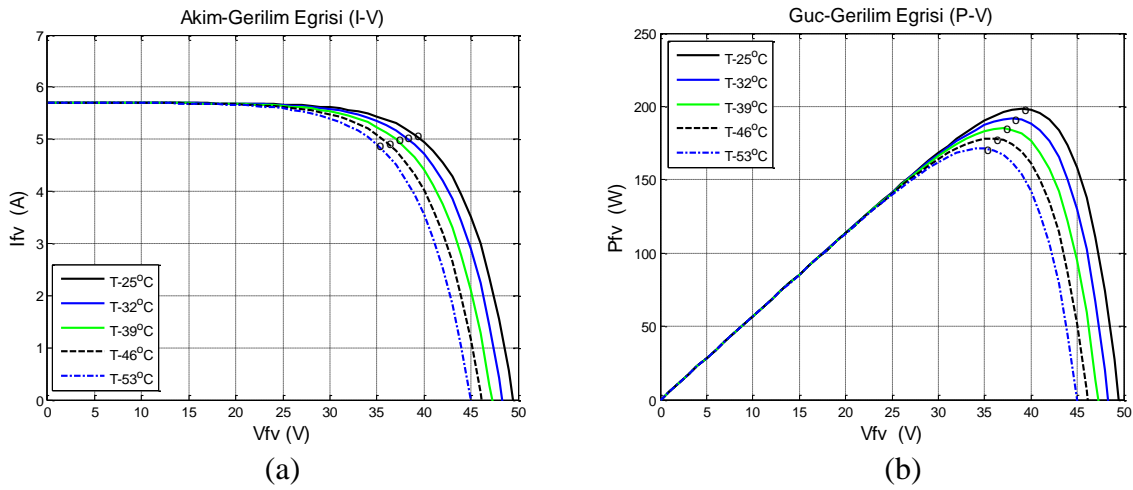
Artan iletkenlik metoduna göre, FV sistemin çıkış gücünün değişiminin çıkış geriliminin değişiminin oranının sıfır olduğu yer maksimum güç noktası (MGN) olduğunu, pozitif olduğu yeri MGN'nin solu, negatif olduğu yeri MGN'nin sağı olarak belirlemesi temeline dayanmaktadır [14,15]. Artan iletkenlik metoduna ait akış diyagramı Şekil 4'de gösterilmektedir [12]. Bu metodun değiştir-gözetle algoritmasına göre avantajı hızlı değişen çevresel koşullara uyum sağlaması olarak belirtilirken her iki algoritmada da MGN'yi ararken üretecekleri referans sinyalin değişimi sabit bir değişken vasıtası ile yapılmaktadır.

3. Benzetim Sonuçları

FV sistemlerin ürettikleri güçler güneş ışınım şiddeti ve sıcaklık gibi çevresel şartların değişimi ile farklılıklar göstermektedir. Şekil 4'te değişen ışınım şiddetinde FV sistemden elde edile akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) eğrileri görülmektedir. Eğrilerden de açıkça görüldüğü gibi değişen güneş ışınım şiddetinde FV sistemin üreteceği güç değeri ve MGN'leri de değişmektedir. Şekil 5'de ise değişen sıcaklık değerlerine göre FV sistemin I-V ve P-V karakteristik eğrileri gösterilmektedir. Farklı sıcaklık değerleri için FV sistemin MGN'lerindeki değişim Şekil 5'de açıkça görülmektedir.

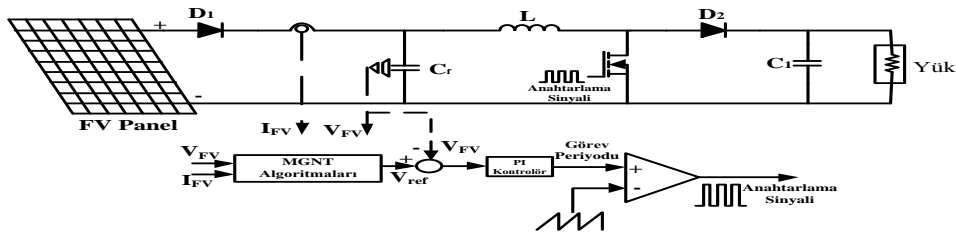


Şekil 4. Farklı ışınmı değerleri için FV sistem eğrileri



Şekil 5. Farklı sıcaklık değerleri için FV sistem eğrileri

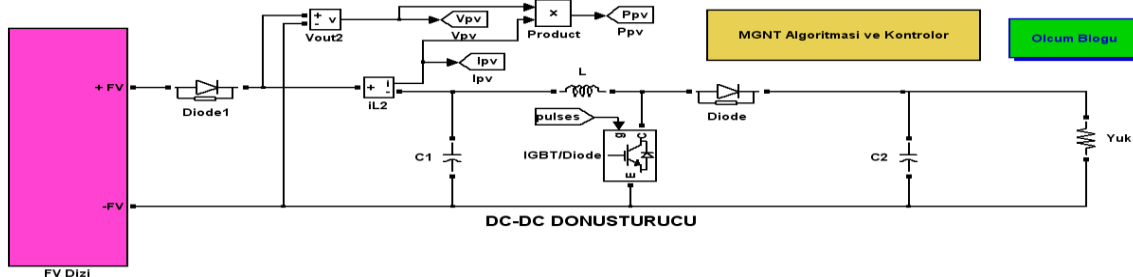
FV sistem DC-DC dönüştürücü kullanılarak bir yükün gücünü karşılaması, değişen çevresel koşullara göre MGNT algoritmaları ile sistemin maksimum güç noktasında çalıştırılması amaçlanmıştır.



Şekil 6. Benzetim modeli

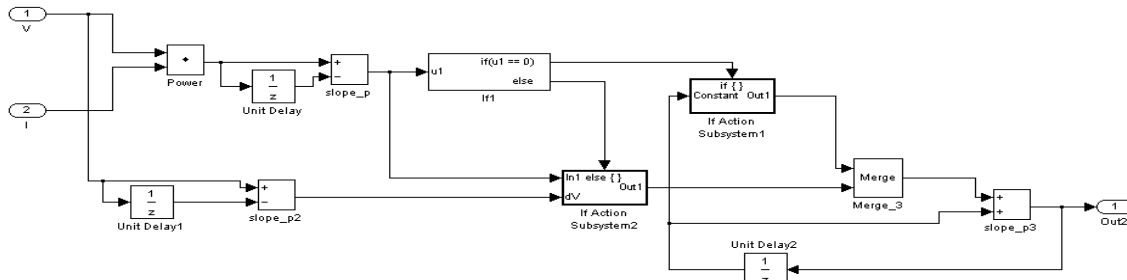
Amaçlanan sistemin devre şeması Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekil 7(a)'da benzetim çalışmasının, (b)'de değiştir-gözetle algoritmasının, (c)'de is artan iletkenlik algoritmasının Matlab/Simulink modeli gösterilmiştir. Tablo 1'de benzetim modelindeki devre elemanlarının değerleri verilmiştir.

Benzetim modelinde kullanılan FV panel, uygulamada kullanılan FV panelin parametreleri kullanılarak modellenmiştir. FV panelden 10 adet seri ve 6 adet paralel bağlanarak FV sistem oluşturulmuştur. Şekil 8-10'da sabit 600 W/m^2 ışınım şiddeti altında elde edilen benzetim çalışması sonuçları gösterilmektedir. Şekil 8'de sabit ışınım şiddetinde ve algoritmaların adım değişim katsayısı 2.5 olarak yapılan benzetim çalışmalarında elde edilen sonuçların karşılaştırılması görülmektedir.



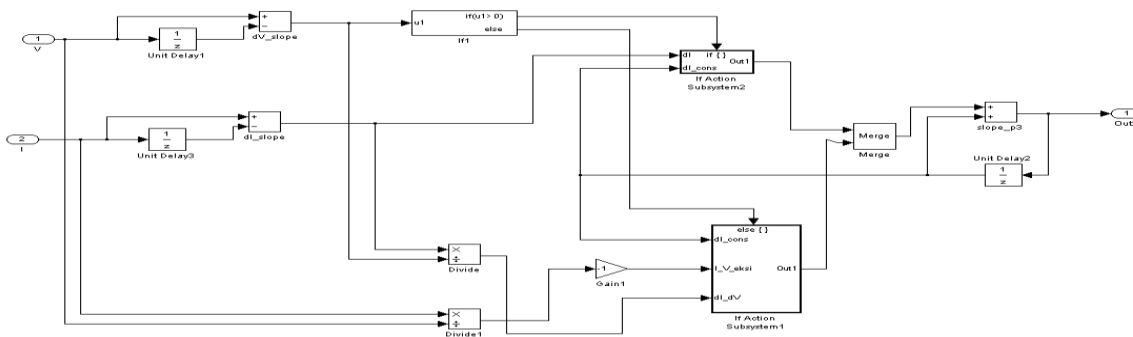
(a)

DEĞİŞTİR-GÖZETLE ALGORİTMASI



(b)

ARTAN İLETKENLİK METODU

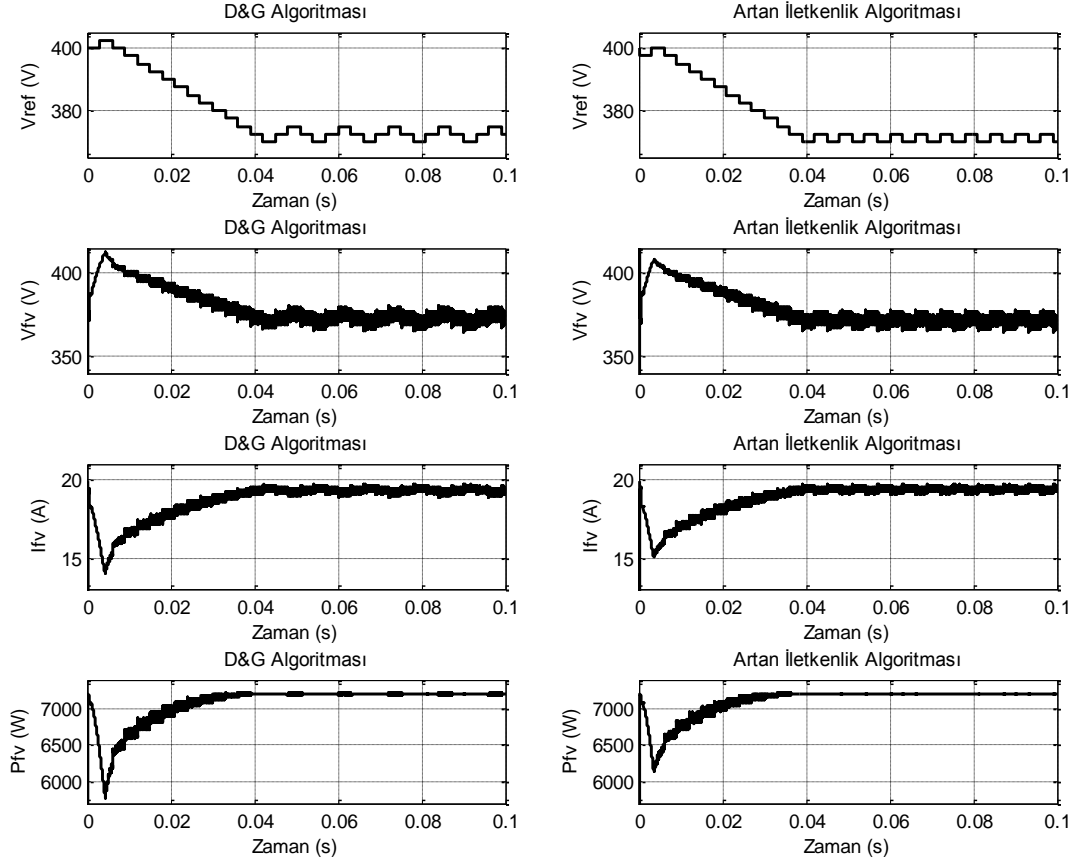


(c)

Şekil 7. (a) Benzetim modelinin, (b) Değiştir-gözetle algoritması, (c) Artan iletkenlik algoritmasının Matlab/Simulink modelleri

Şekil 8 ve 9'da elde edilen benzetim sonuçlarına göre artan iletkenlik algoritmasının V_{ref} değerinin maksimum güç noktasındaki çalışma gerilimine ulaşması bir arama adımı önce olduğu ve maksimum güç noktasındaki salınımların değiştir-gözetle algoritmasına göre daha az olduğu açıkça görülmektedir. Şekil 10'da değiştir-gözetle ve artan iletkenlik algoritmalarından elde

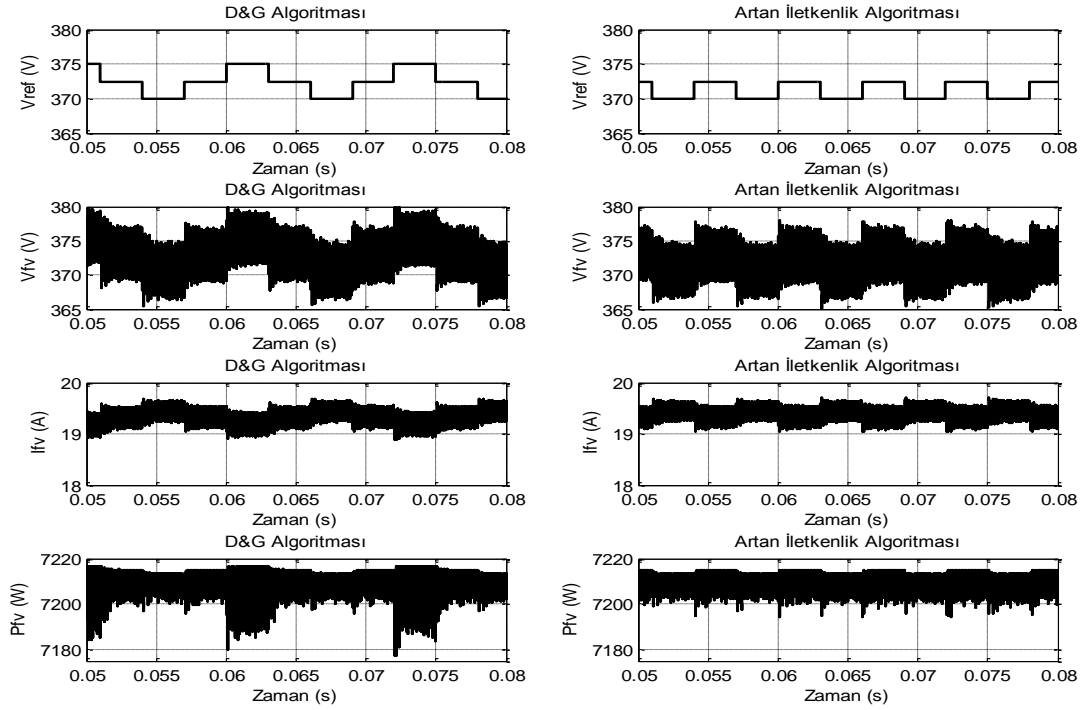
edilen hata sinyali ve anahtarlama sinyalinin üretileceği görev periyodundaki değişim gösterilmektedir.



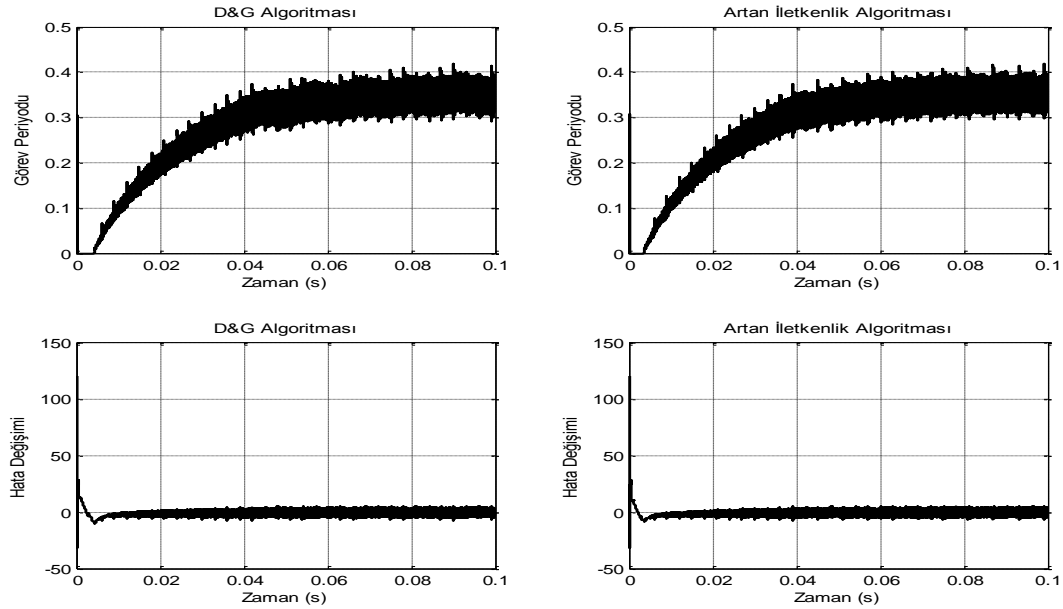
Şekil 8. 600 W/m² ışınımında MGNT algoritmalarının karşılaştırılması

Tablo 1. Benzetim modelinin değerleri

Parametre	Değer	Parametre	Değer
Seri hücre sayısı (N_s)	72	C_f	10 μ F
Açık devre gerilimi V_{oc}	45.74V	L	1mH
Kısa devre akımı I_{sc}	5.69A	C_2	1000 μ F
Nominal gerilimi (V_{mpp})	37.56V	R	300 Ω
Nominal akımı (I_{mpp})	5.46 A	K_p	0.01
Nominal güç (P_{max})	205W	K_i	7



Şekil 9. 600 W/m² ışınımda MGNT algoritmalarının karşılaştırılmasının yakınlştırılmış hali



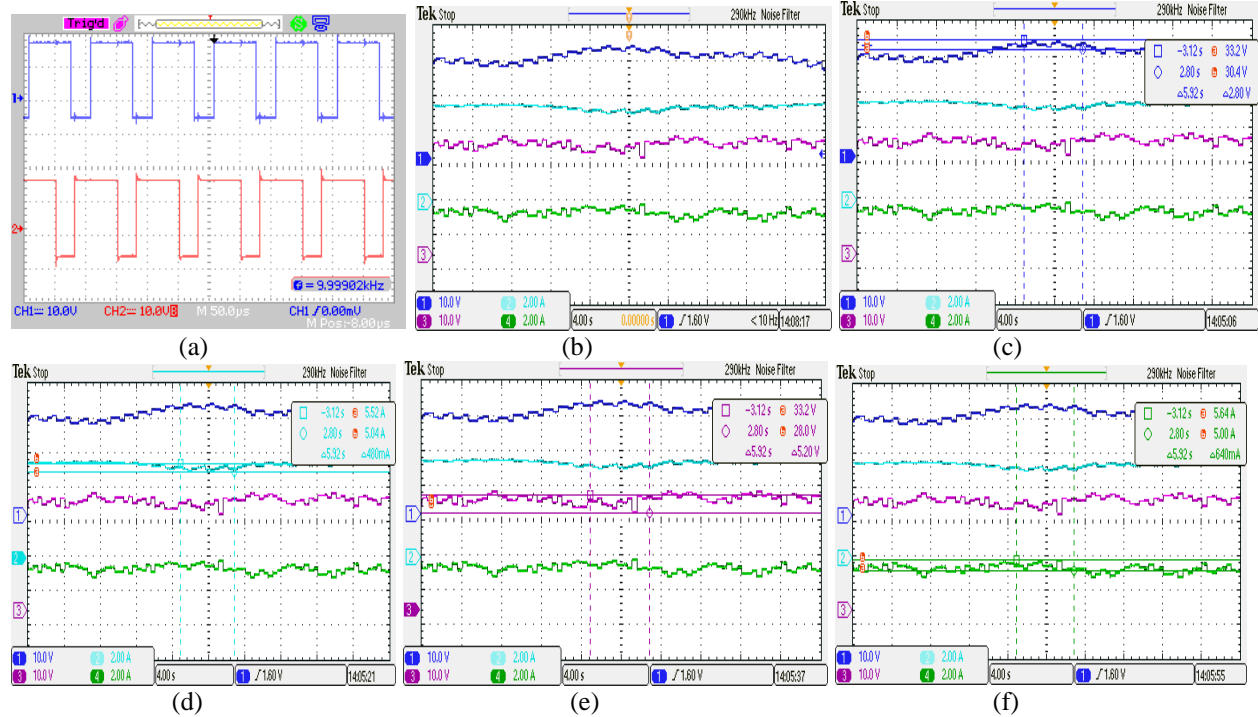
Şekil 10. 600 W/m² ışınımda MGNT algoritmalarının hata değişimi ve görev periyodu sinyali

4. Uygulama Sonuçları

MGNT algoritmalarının laboratuvar ortamında uygulaması gerçekleştirilmiştir. Uygulamada kullanılan güneş panelleri LCS marka olup, DC-DC dönüştürücü ve kontrolör parametreleri Tablo 2’de verilmiştir. Uygulamada örnekleme frekansı ve anahtarlama frekansı 10kHz olarak seçilmiş olup algoritmanın yazılımı C programlama dili ile Code Composer Studio (CCS) v5’de gerçekleştirilmiştir. TMS320F28335 sayısal işaret işleyicisi (DSP) kullanılarak uygulama sonuçları elde edilmiştir. Şekil 11 (a)’da kurulumu gerçekleştirilmiş LCS marka FV paneller, ışınım ve sıcaklık sensörü, Şekil 11(b)’de ise laboratuvar ortamında hazırlanmış deneysel düzenek, Şekil 12’de ise uygulama sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 11. (a) (FV sistem (a) Sıcaklık ve nem sensörü, (b) Işınım sensörü, (c) FV paneller), (b) Uygulama devresi



Şekil 12. (a) Anahtarlama sinyali, (b) Uygulama sonuçları, (c) Artan iletkenlik alg. gerilimi, (d) Artan iletkenlik alg. akımı (e) Değişir-gözetle alg. gerilimi, (f) Değişir-gözetle alg. akımı

Tablo 2. Uygulama devresinin parametre değerleri

Parametre	Değer	Parametre	Değer
Seri hücre sayısı (Ns)	72	Yük	0-500Ω/0-500W
Açık devre voltajı V_{oc}	45.74V	IRG4PH40KD IGBT	1200V/15A
Kısa devre akımı I_{sc}	5.69A	15ETH06FPPBF-Diyot	600V, 15A
Maksimum güç gerilimi (V_{mpp})	37.56V	LA 55P Akım Sensörü	±50A
Nominal akımı (I_{mpp})	5.46A	LV 25P Gerilim Sensörü	10-500V
Maksimum güç (P_{max})	205W	K_p (Değiştir-gözetle alg.)	1.1
C_f	100μF	K_i (Değiştir-gözetle alg.)	1500
L	1mH	K_p (Artan iletkenlik alg.)	0.7
C_2	1000 μF	K_i (Artan iletkenlik alg.)	1200

5. Sonuçlar

Bu çalışmada yenilenebilir veya temiz enerji kaynaklarından FV enerji sistemlerinin modellenmesi, bu sistemler için MGN'yi bulmada kullanılan değiştir-gözetle, artan iletkenlik algoritmalarının benzetimi ve uygulaması yapılmıştır. Elde edilen benzetim sonuçlarına göre artan-iletkenlik algoritması MGN'yi bulmadaki başarısı ve MGN'de oluşturduğu salınımların değiştir-gözetle algoritmasından elde edilen sonuçlardan daha iyi olduğu Şekil 9'dan açıkça görülmektedir. Laboratuvar ortamında oluşturulan deneysel düzenek yardımı ile her iki algoritmanın eş zamanlı olarak uygulaması yapılmıştır. Uygulama sonuçları incelendiğinde artan iletkenlik algoritmasına ait gerilim ve akım sonuçlarındaki salınımların daha az olduğu ve her iki algoritmanın uygulama sonuçlarının benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçlara uygunluğu gösterilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyonu Birimi tarafından desteklenen 2013/011 numaralı proje kapsamında yapılmıştır.

6. Kaynaklar

- [1] Villa LFL, Ho TP, Crebier JC, Raison B, A power electronics equalizer application for partially shaded photovoltaic modules. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2013; 60/3, 1179-1190.
- [2] Gomes de Brito MA, Galotto L, Sampaio LP, Melo GA, Canesin CA, Evaluation of the main MPPT techniques for photovoltaic applications. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2013; 60/3, 1156-1167.
- [3] Sundareswaran K, Peddapatı S, Palani S, MPPT of PV systems under partial shaded conditions through a colony of flashing fireflies. IEEE Transactions on Energy Conversion, Digital Object Identifier 10.1109/TEC.2014.2298237, 2014.
- [4] Ishaque K, Salam Z, Shamsudin A, Amjad M, A direct control based maximum power point tracking method for photovoltaic system under partial shading conditions using particle swarm optimization algorithm. Applied Energy, 2012; 99, 414-422.

- [5] Salas F, Olías E, Barrado A, Lázaro A, Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 2006; 90, 1555-1578.
- [6] Ishaque K, Salam Z, A review of maximum power point tracking techniques of PV system for uniform insolation and partial shading condition. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013; 19, 475-488.
- [7] Soetodjo A, Lomi A, Nakhoda YI, Krismanto AU, Modeling of maximum power point tracking controller for solar power system. *Telkomnika*, 2012; 10, 419-430.
- [8] Liu YH, Huang SC, Huang JW, Liang WC, A particle swarm optimization-based maximum power point tracking algorithm for PV systems operating under partially shaded conditions. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2012; 27/4,1027-1035.
- [9] Moradi MH, Reisi AR, A hybrid maximum power point tracking method for photovoltaic systems. *Solar Energy*, 2011;85, 2965-2976.
- [10] Chin CS, Neelakantan P, Yoong HP, Teo KTK, Fuzzy logic based MPPT for photovoltaic modules influenced by solar irradiation and cell temperature, 2011 UKSim 13th International Conference on Modelling and Simulation, 2011, 376-381.
- [11] Walker G, Evaluating MPPT converter topologies using a MATLAB PV model. *Journal of Electrical & Electronics Engineering, Australia*, 2001; 21/1, 49-56.
- [12] Jain S, Agarwal V, Comparison of the Performance of Maximum Power Point Tracking Schemes Applied to Single-Stage Grid-Connected Photovoltaic Systems. *IET Electric Power Applications*, 2007;1/5, 753-762.
- [13] Banu IV, Beniugă R, Istrate M, Comparative analysis of the perturb-and-observe and incremental conductance MPPT methods, The 8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering, 2013.
- [14] ESRAM T, Chapman PL, Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2007; 22/2, 439-449.
- [15] Hussein KH, Mota I, Maximum photovoltaic power tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions. in *IEE Proc. Generation, Transmission, and Distribution*, 1995; 59-64.