

FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ, BENZETİMİ ve UYGULAMASI

Serhat DUMAN^{1*} Nuran YÖRÜKEREN² İsmail Hakkı ALTAŞ³

¹Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fak., Elektrik-Elektronik Müh., Bölümü, 81620, Düzce, TÜRKİYE.

²Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fak., Elektrik Mühendisliği Böl., Kocaeli. TÜRKİYE.

³Karadeniz Teknik Üniv., Mühendislik Fak., Elektrik-Elektronik Müh., Bölümü, Trabzon, TÜRKİYE.

Özet- Fotovoltaik enerji sistemleri önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Sıcaklık ve güneş ışınımı gibi çevresel koşullara bağımlı olarak güneş enerji sistemlerinin çıkış gücü değişmektedir. Bu çalışmada güneş pilinin matematiksel modeli kullanılmış ve bu modelin benzetim çalışmaları Matlab/Simulink ortamında yapılmıştır. Farklı sayıda seri-paralel bağlı güneş pili ve değişen çevresel koşullar altında Güç-Gerilim (P-V), Akım-Gerilim (I-V) karakteristikleri incelenmiştir. Ayrıca, güneş enerji sistemlerinin çeşitli çevresel koşullar altındaki maksimum güç noktaları geleneksel algoritmalarından biri olan değiştir-gözetle algoritması kullanılarak bulunmuştur. Farklı adım katsayılarında algoritmanın performansı incelenmiştir. Bu algoritmanın laboratuvar ortamında uygulaması gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler- Yenilenebilir enerji kaynakları, fotovoltaik sistemler, maksimum güç noktası, değiştir-gözetle algoritması.

MODELING, SIMULATION AND APPLICATION OF PHOTOVOLTAIC ENERGY SYSTEMS

Abstract- The photovoltaic energy systems are one of the renewable energy sources. The output power of solar energy systems are changed with respect to environmental conditions of temperature and solar irradiance. In this study, the mathematical model of solar cell has been used and the simulation studies of this model have been performed in Matlab/Simulink software. Power-Voltage (P-V), Current-Voltage (I-V) characteristics have been investigated for different number of series-parallel connected solar cell and changing environmental conditions. Also, the maximum power points have been found to use perturbation-observation algorithm, which is one of the traditional algorithms under various environmental conditions of the solar energy systems. The performance of the algorithm has been examined in different step coefficients. Application of this algorithm is carried out in a laboratory environment.

Key Words- Renewable energy sources, photovoltaic systems, maximum power point, perturbation-observation algorithm.

* serhatduman@duzce.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gelişen dünyada, dünya nüfusunun artması, günümüzde toplumun ihtiyaçlarının değişmesi, buna nazaran sanayi ve teknolojinin gelişmesiyle enerjiye duyulan gereksinim giderek artmaya devam etmektedir. Elektrik enerjisinin üretiminde fosil yakıtlı, doğal gaz ve nükleer enerjiye dayalı birçok enerji kaynağı kullanılmaktadır. Bu kaynaklar hava kirliliği, küresel ısınma ve ozon tabakasının incilmesi gibi endişe edilebilecek boyutlarda çevreye zarar verecek duruma gelmişlerdir. Günümüzde daha çok kullanılan fosil yakıtlı enerji üretim sistemleri dünyadaki enerji tüketim talebini karşılamaktadır. Ancak mevcut rezervlerin bir gün tükeneceği düşünülerek araştırmacılar, var olan enerji kaynaklarının yanı sıra tükenmeyen ve çevreye daha az zarar veren alternatif enerji kaynaklarının bulunmasına, etkin bir şekilde kullanılması çalışmalarına yönelmiştir.

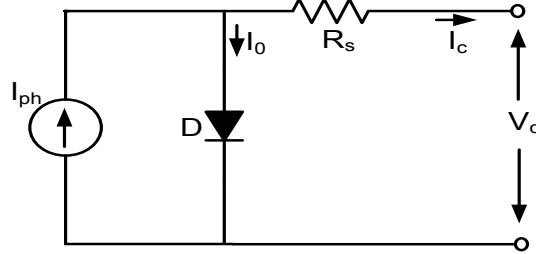
Alternatif enerji kaynakları ya da yenilenebilir enerji kaynaklarından fotovoltaik sistemler (FV); FV pillerin seri-paralel olarak bağlanması ile FV panel, bu panellerin talep edilen güç doğrultusunda oluşturdukları sistemler olarak adlandırılırlar. FV panellerin ürettikleri güçler sıcaklık ve güneş ışınım şiddeti gibi çevre şartlarına bağımlı olarak değişebilmektedir. Başka bir deyişle bu çevre şartlarına bağımlı olarak FV panellerin üreteceği akım ve gerilim büyüklükleri değişmektedir. FV panellerin akım ve gerilim büyüklüklerinin eğrileri arasında doğrusal olmayan bir yapı bulunmaktadır. Ayrıca verimleri çok yüksek değerlerde olmayan FV sistemlerin kurulum maliyetleri geleneksel elektrik üretim sistemlerine göre pahalı olduğundan, maksimum gücü elde edebilecek şekilde çalıştırılmaları oldukça önem taşımaktadır. Başka bir ifade ile hiçbir yatırımcı, kurulum maliyeti yüksek olan bu sistemleri düşük verimle çalıştırmak istemeyecektir. Bu nedenle güneş ışınım şiddeti veya sıcaklık gibi çevre koşulları ile verimi değişen FV sistemlerin üreteceği maksimum gücün tespiti ve bu güçte çalıştırılmaları gerekliliği giderek artmaktadır.

Jaleel ve ark. LabVIEW paket programını kullanarak FV pil ve FV panelin modelinin benzetim modelini oluşturmuşlardır. Çalışmalarında farklı çevresel koşullar altında FV panelin akım-gerilim (I-V), güç-gerilim (P-V) eğrilerini incelemişlerdir[1]. Soliman ve ark. bir, iki ve üç diyotlu FV pillerin matematiksel modelini Matlab paket programında modellemişlerdir. Modelledikleri FV pilleri farklı çalışma koşulları altında benzetim çalışmaları yaparak karakteristik eğrilerini incelemişlerdir[2]. Jiang ve ark. Matlab/Pspice paket programlarını kullanarak FV pil ve modüllerin modellemesini gerçekleştirerek benzetim çalışmaları yapmışlardır. Yazarlar, benzetim çalışmalarında çevresel şartlara bağımlı olarak değişen foton akımını Matlab paket programı kullanarak modellemişler, FV pilin tek diyot modelini ise Pspice paket programı ile modelleyerek hibrit bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu hibrit modelin farklı çevresel koşullar altında karakteristik eğrilerinin değişimini araştırmışlardır[3]. Krismadinata ve ark. FV pilin bir, iki diyot ve sadeleştirilmiş bir diyot modellerini Matlab paket programı kullanarak modellemiş ve benzetim çalışmaları yapmışlardır. Benzetim çalışmalarında bu modellerin I-V ve P-V karakteristiklerini incelemişler ve araştırmacılar için kullanışlı ve basit bir yapıya sahip olduğunu söylemişlerdir[4].

Bu çalışmada tek diyot sadeleştirilmiş FV pilin matematiksel ifadesi kullanılarak farklı çalışma koşulları altında I-V, P-V ve güç-akım (P-I) karakteristikleri incelenmiştir. Benzetim modeli yapılan FV sistemin değişen çevresel şartlara bağlı olarak üretebilecekleri maksimum güç değerleri, maksimum güç noktası takip (MGNT) algoritmalarından değiştir-gözetle algoritması ile bulunması ve farklı adım katsayıları kullanılarak algoritmanın performansı araştırılmıştır. Ayrıca değiştir-gözetle algoritmasının laboratuvar ortamında gerçek zamanlı uygulaması yapılarak elde edilen sonuçların benzetim çalışmalarında elde edilen sonuçlara benzerliği gösterilmiştir.

2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN MODELLENMESİ (MODELING OF THE PHOTOVOLTAIC SYSTEMS)

FV piller bir yüzey alanı içerisine seri ya da paralel bağlanarak güneş pillerinin güç çıkışının artması sağlanmaktadır. Literatürde farklı tek diyot, iki diyot gibi FV pil modelleri bulunmasına karşın bu çalışmada tek diyotlu FV pilin modeli kullanılacak ve bu modele ait basitleştirilmiş elektriksel devre yapısı Şekil 1’de gösterilmektedir [5,6].



Şekil 1. FV pilin elektriksel devre modeli (The electrical circuit model of the PV cell)

Şekil 1’de görülen devre yapısına göre FV pilin çıkış voltajı; güneş ışınımlarına bağlı olarak değişen foton akımı, diyodun ters doyum akımı ve yük akımına bağlı değişmesi ile elde edilen eşitlik aşağıdaki gibi ifade edilmektedir [5,6].

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

Aynı koşullar altında Eş.1’den yararlanarak bir FV pilin ürettiği akım ifadesi aşağıdaki eşitliklerdeki gibi elde edilir.

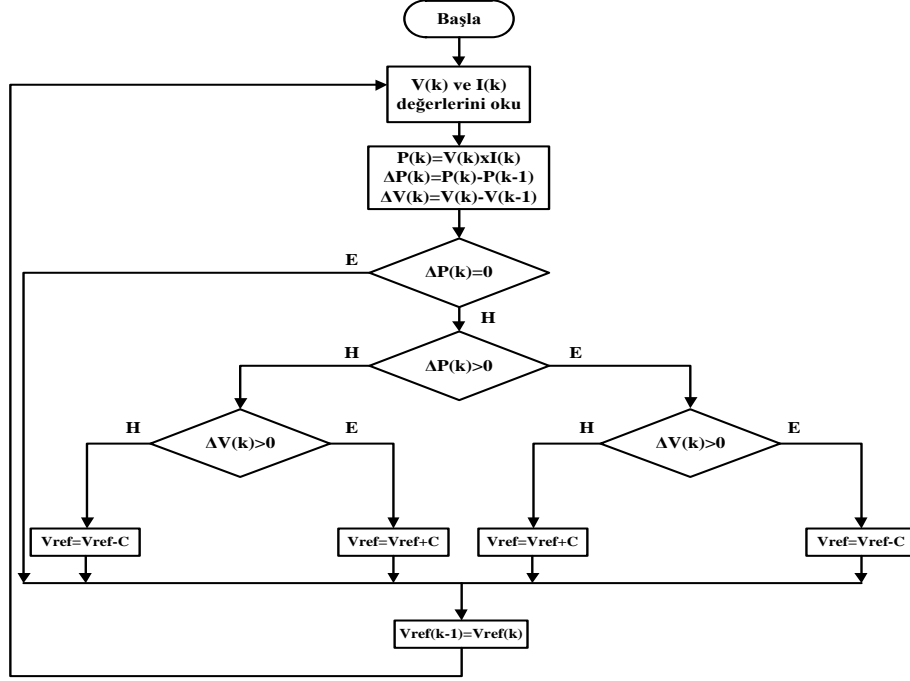
$$I_c = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{q(V_c + R_s I_c)}{nkTc}} - 1 \right) \quad (2)$$

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

FV paneller değişen çevresel koşullara bağımlı olarak çıkış akımı ve gerilim değerleri değiştiği için o koşullar altında maksimum güç üretecek şekilde çalıştırılmaları gerekmektedir. FV panellerin maksimum güç noktasında çalıştırılma yöntemleri [7]’de dolaylı ve doğrudan olarak ifade edilebilmektedir. Dolaylı yöntemler FV sistemlerin ürettiği akım, gerilim bilgisinin yanı sıra güneş ışınım şiddeti, sıcaklık gibi çevresel şartlara bağımlı olduğunu, doğrudan arama yöntemi ise FV sistemin akım ve gerilim bilgilerine bağlı olması olarak belirtilmiştir. Başka bir çalışmada ise [8] maksimum güç noktası takip (MGNT) algoritmalarının iki ana grupta toplanabileceğini açıklanmıştır. Değiştir-gözetle, artan iletkenlik ve tepe tırmanma algoritmaları olarak en iyi bilenen yöntemleri ilk grup; bulanık mantık, yapay sinir ağları (YSA) ve sezgisel algoritmalar olarak bilenen yumuşak hesaplama yöntemleri ikinci grup yöntem olarak belirtilmiştir. Bu çalışmada kullanılan değiştir-gözetle algoritmasına ait akış diyagramı Şekil 2’de gösterilmektedir [9].

İlk grup yöntemlerden değiştir-gözetle MGNT algoritmasının uygulanabilirliği açısından daha kolay olduğu için pratikte daha çok kullanılan yöntem olarak söylenebilir. Bu algoritma, FV sistemlerin çalışma noktasının değiştirilmesi sonucunda meydana gelecek olan değişimin gözlenmesi ve böylece maksimum güç noktasına doğru sonraki değişimin belirlenmesi prensibine dayanmaktadır. Algoritmada güce göre gerilimin ya da akımın değişimi göz önüne alınarak uygulama yapılabilen olup aynı zamanda algoritma maksimum güç noktasına

(MGN) ulaşmayı sağlayacak bir sonraki darbe genişlik modülasyonunun oranına da karar verebilmektedir. Algoritma sistemde sürekli olarak değiştir-gözetle işlemini yaptığından MGN'ye ulaştığında burada sabitlenemediği için maksimum güç noktasında sürekli olarak salınım yapmasına yol açmakta ve sistemde bir miktar güç kaybına neden olmaktadır [9-13].

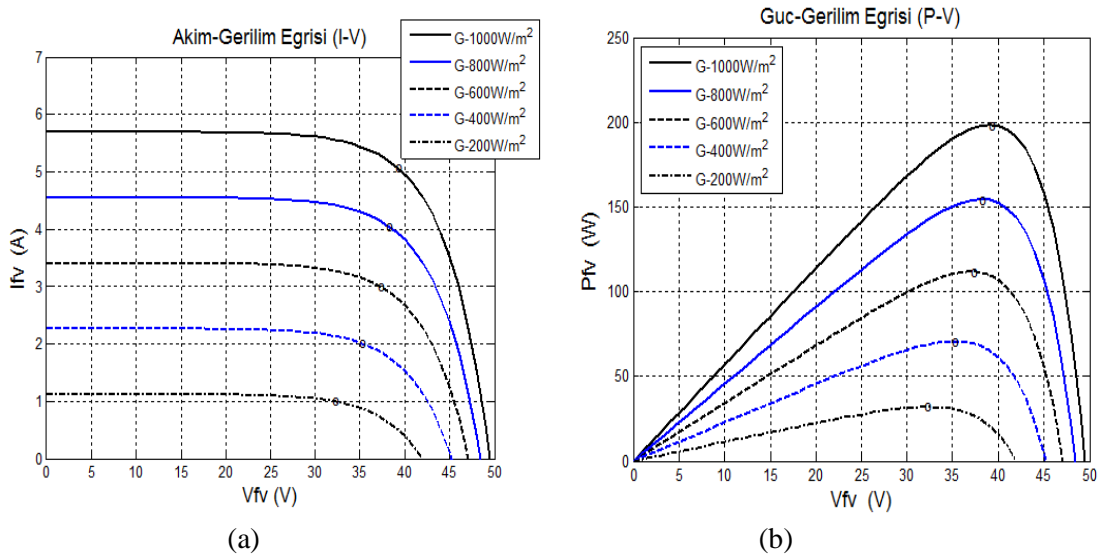


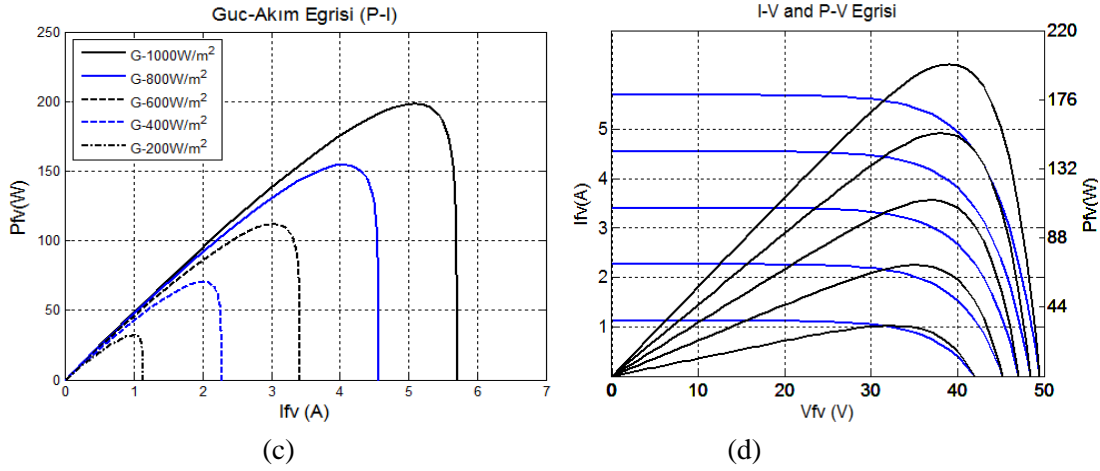
Şekil 2. Değiştir-gözetle algoritması (Perturbation & observation algorithm)

3. BULGULAR (FINDINGS)

3.1. Benzetim Sonuçları (The Results of Simulation)

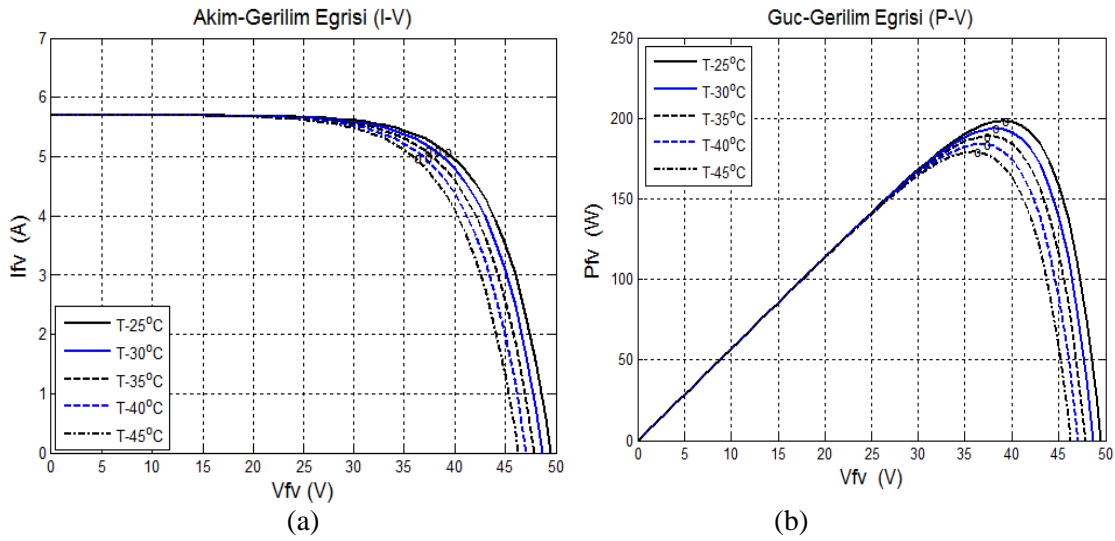
Önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan FV sistemler, FV pillerin seri-paralel olarak bağlanması ile panelleri, bu panellerin talep edilen güç doğrultusunda oluşturdukları sistemler olarak adlandırılırken, panellerin ürettikleri güçler ışınım şiddeti, sıcaklık gibi çevresel şartlara bağlı olarak farklılıklar göstermektedir.

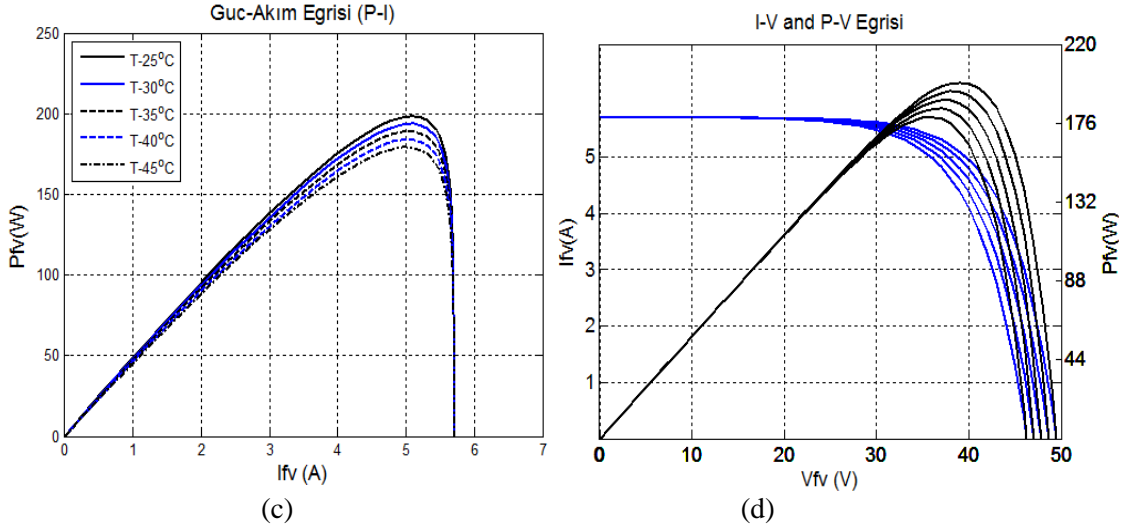




Şekil 3. Farklı ışınım değerleri için FV panel eğrileri, (a) I-V eğrisi, (b) P-V eğrisi, (c) P-I eğrisi, (d) I-V ve P-V eğrisi (Curves of the PV panel for different irradiance values, (a) I-V curve, (b) P-V curve, (c) P-I curve, (d) I-V and P-V curve)

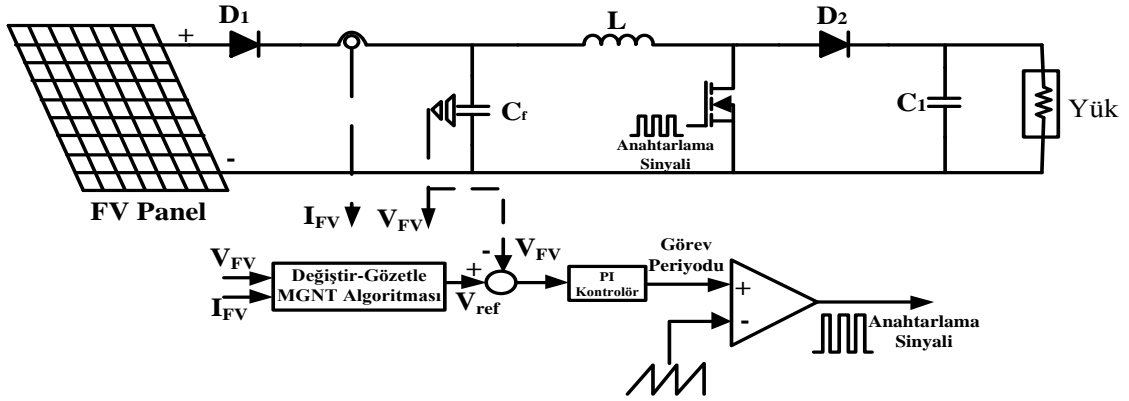
Başka bir ifade ile FV panelin veya sistemin çevresel koşullara bağımlı olarak akım ve gerilim büyüklükleri değişirken, bu büyüklüklerinin eğrileri arasında doğrusal olmayan bir yapı bulunmaktadır. Şekil 3 ve 4’de bu yapıya ait grafikler gösterilmektedir. Şekil 3’de sabit sıcaklık, farklı güneş ışınım seviyelerinde FV panelin ürettiği akım ve gerilim değerlerine göre I-V, P-V, P-I ve I-V& P-V eğrileri gösterilmektedir. Buna göre güneş ışınım değeri azaldıkça FV panelin üreteceği maksimum güç değeri de azalmaktadır. Ayrıca kısa devre akım değerinde yüksek oranda azalmaya, açık gerilim değerinde ise çok büyük bir fark olmamaktadır. Şekil 3(a), (b), (c) ve (d)’den de görüldüğü gibi farklı ışınım değerleri için, akım değerleri birbirinden çok farklı değerler alırken, gerilim değerleri birbirine çok yakın olan değerler almakta ve sistemin maksimum güç noktalarındaki değerleri değişmektedir. Şekil 4’de sabit güneş ışınım değerinde, farklı sıcaklık değerlerinde FV panelin ürettiği akım ve gerilim değerlerine göre I-V, P-V, P-I ve I-V&P-V eğrileri gösterilmektedir. Şekil 4’den de görüldüğü gibi sıcaklığın artması, FV panelin üretebileceği maksimum gücün azalmasına neden olurken, sıcaklığa bağlı olarak FV panelin kısa devre akımı ve açık devre gerilim değerleri de değişmektedir.





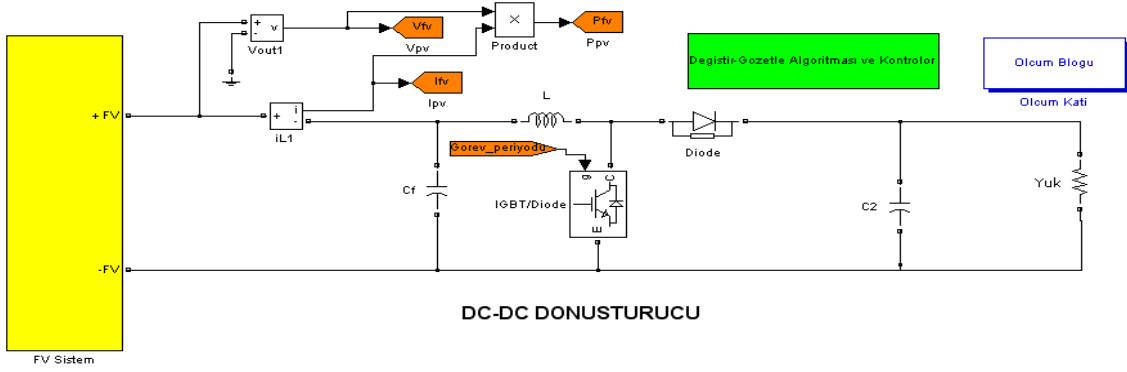
Şekil 4. Farklı sıcaklık değerleri için FV panel eğrileri, (a) I-V eğrisi, (b) P-V eğrisi, (c) P-I eğrisi, (d) I-V ve P-V eğrisi (Curves of the PV panel for different temperature values, (a) I-V curve, (b) P-V curve, (c) P-I curve, (d) I-V and P-V curve)

Şekil 3 ve 4'te de belirtildiği gibi FV panelin çevresel koşullara bağlı olarak değişen akım ve gerilim değerlerine göre maksimum güç noktaları değişmektedir. Şekil 5'de FV panel arttırıcı DC-DC dönüştürücü kullanılarak bir yükün gücünü karşılaması, ayrıca değişen çevre koşullarına bağımlı olarak değiştir-gözetle MGNT algoritması ile panelin maksimum güç noktasında çalıştırılması amaçlanmıştır. Değiştir-gözetle algoritmasının performansı farklı adım değişimi gerilim değerlerinde incelenmiştir. Şekil 6(a)'da benzetim çalışmasının, (b)'de ise Şekil 2'de akış diyagramı verilen değiştir-gözetle algoritmasının Matlab/Simulink modeli gösterilmiştir.



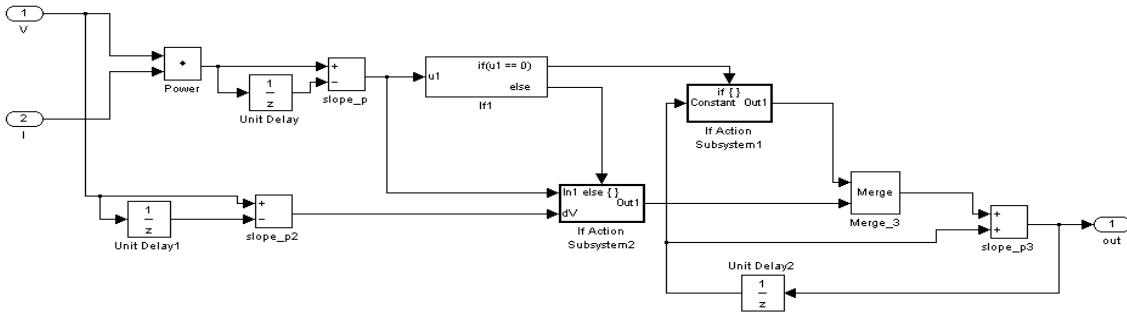
Şekil 5. Benzetim modeli (Simulation model)

Tablo 1'de benzetim modelindeki parametrelerin değerleri verilmiştir. Benzetim modelinde kullanılan FV panel, uygulamada kullanılan FV panelin parametreleri kullanılarak modellenmiştir. FV panelden 4 adet seri ve 2 adet paralel bağlanarak FV dizi oluşturulmuştur. Şekil 7-13'de sabit 400 W/m^2 ışınım şiddetinde değiştir gözetle algoritmasında referans gerilimin adım değişim değeri 1.3, 2.5 ve 4 olarak seçilmiştir. Şekil 7 ve 8'den de görüldüğü gibi bu değerlerin yüksek seçilmesi algoritmanın maksimum güç noktasına ulaşım süresini kısaltmaktadır. Bu adım değişim değerlerinde algoritmanın maksimum güç noktasını ararken oluşan salınımların yakınlştırılmış hali Şekil 11'de gösterilmektedir. Algoritma için adım değişim değeri büyüdükçe maksimum güç noktasını aramada oluşan salınımların arttığı görülmektedir.



(a)

DEĞİŞTİR-GÖZETLE ALGORİTMASI

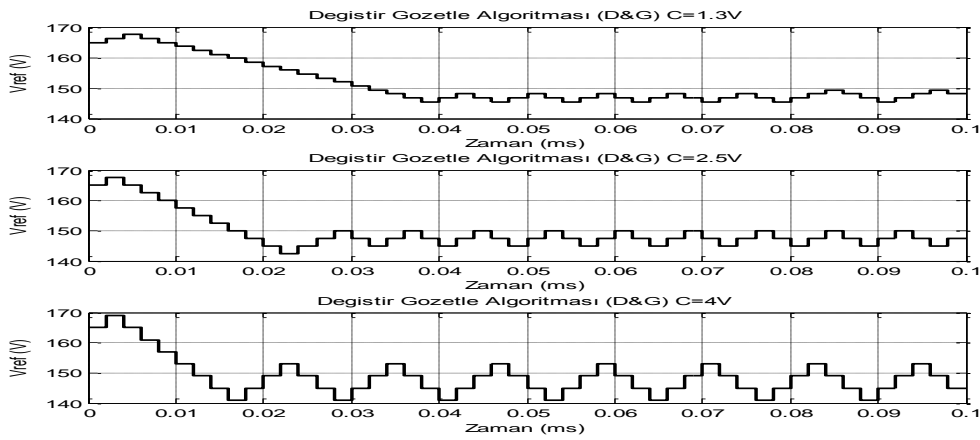


(b)

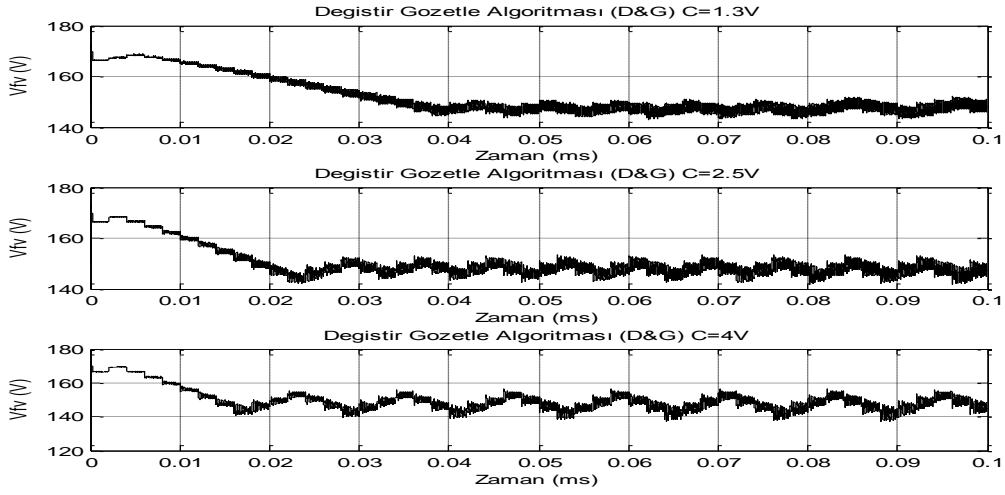
Şekil 6. (a) Benzetim çalışmasının, (b) Değişir-Gözetle algoritmasının Matlab/Simulink modeli (Matlab/Simulink model of (a) simulation study, (b) perturb-observe algorithm)

Tablo 1. Benzetim modelinin parametre değerleri (Parameter values of the simulation model)

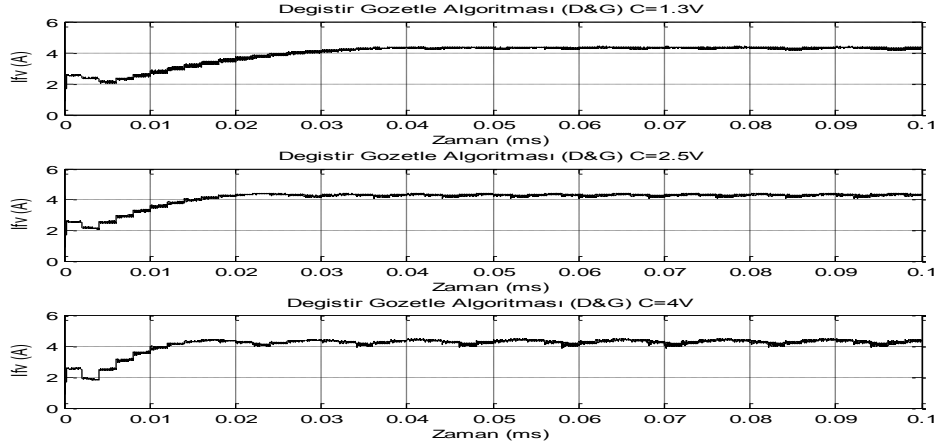
Parametre	Değer	Parametre	Değer
Seri hücre sayısı (Ns)	72	C _f	10µF
Açık devre voltajı V _{oc}	45.74V	L	1mH
Kısa devre akımı I _{sc}	5.69A	C ₂	1000 µF
Nominal gerilimi (V _{mpp})	37.56V	R	300Ω
Nominal akımı (I _{mpp})	5.46 A	K _p	0.01
Nominal güç (P _{max})	205W	K _i	7



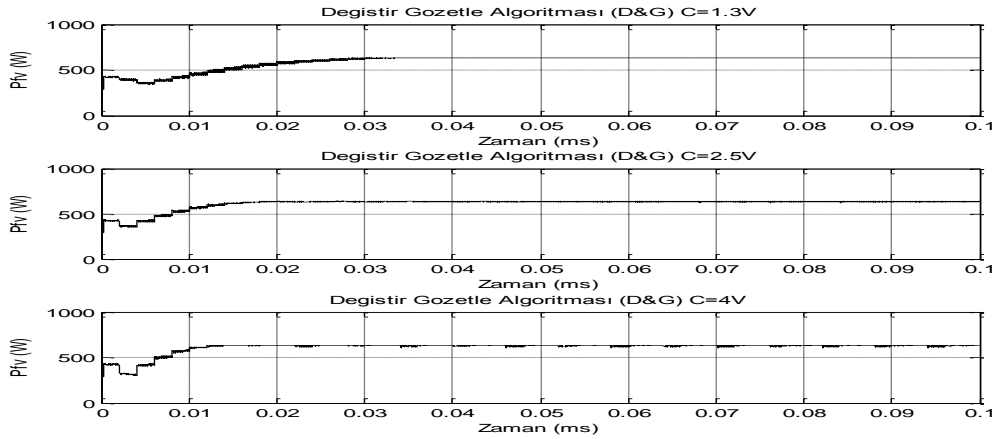
Şekil 7. 400 W/m² Işınmında farklı arama sabiti için V_{ref} değişimi (Change of V_{ref} for different search constant in irradiance 400 W/m²)



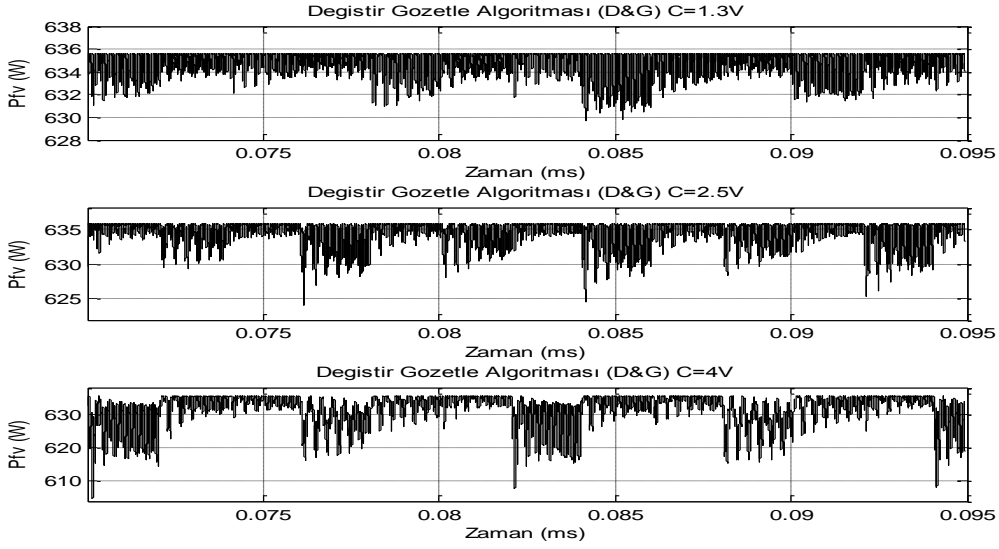
Şekil 8. 400 W/m^2 Işınımında farklı arama sabiti için V_{fv} , değişimi (Change of V_{fv} for different search constant in irradiance 400 W/m^2)



Şekil 9. 400 W/m^2 Işınımında farklı arama sabiti için I_{fv} , değişimi (Change of I_{fv} for different search constant in irradiance 400 W/m^2)

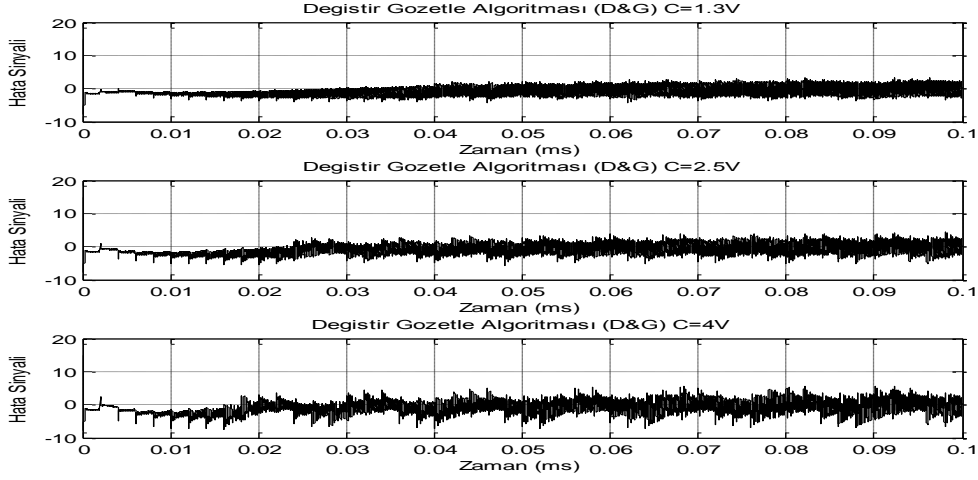


Şekil 10. 400 W/m^2 Işınımında farklı arama sabiti için P_{fv} , değişimi (Change of P_{fv} for different search constant in irradiance 400 W/m^2)



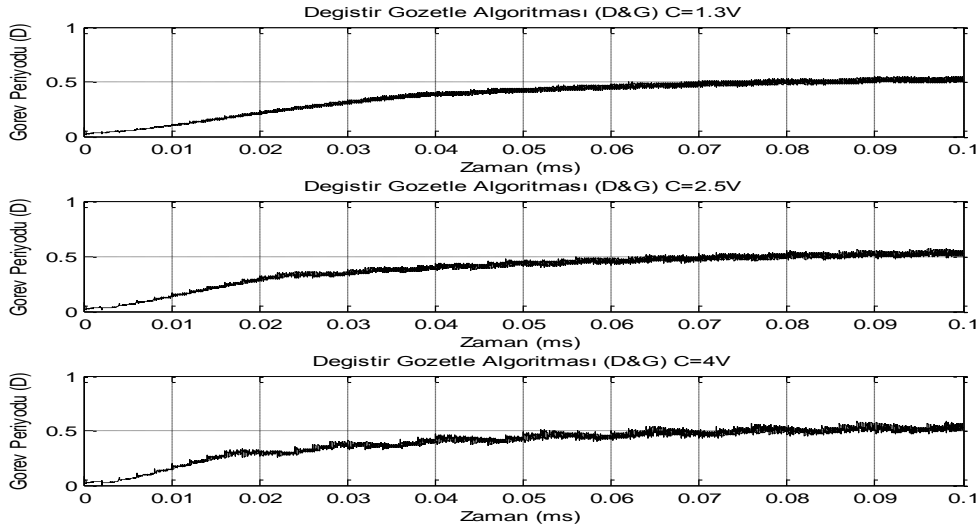
Şekil 11. 400 W/m^2 Işınımında farklı arama sabiti için P_{fv} yakınlaştırılmış değişimi (Zoom change of P_{fv} for different search constant in irradiance 400 W/m^2)

Şekil 12 ve 13’de değiştir-gözetle algoritmasından elde edilen hata sinyali ve anahtarlama sinyalinin üretileceği görev periyodundaki değişim gösterilmektedir.

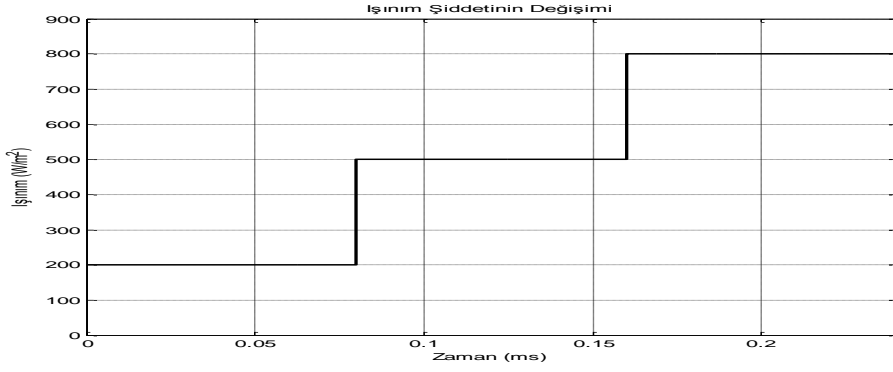


Şekil 12. 400 W/m^2 Işınımında farklı arama sabiti için hata sinyali değişimi (Change of the error signal for different search constant in irradiance 400 W/m^2)

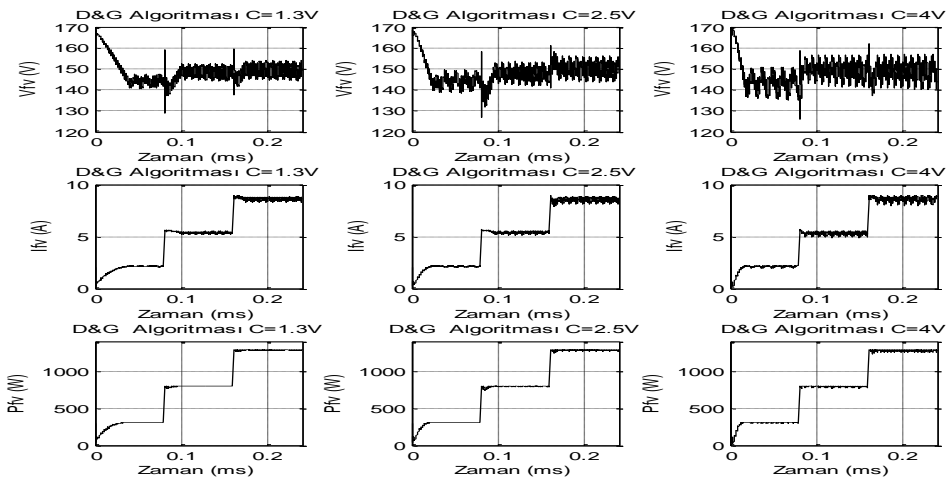
Şekil 14’de ışınımın ani değişimi olarak 200 , 500 ve 800 W/m^2 ’lik artışın bulunduğu grafik gösterilmektedir. Değiştir-gözetle algoritması için, ani ışınımın değişmesi FV panelin referans gerilimdeki salınımlara bağlı olarak panelin geriliminde, akımında ve gücünde salınımların oluşmasına neden olmaktadır. Şekil 15 ve 16’da ani olarak değişen ışınım koşullarında araştırma adımının 1.3 , 2.5 ve 4 olduğu durumlar için algoritmadan elde edilen benzetim sonuçları gösterilmektedir.



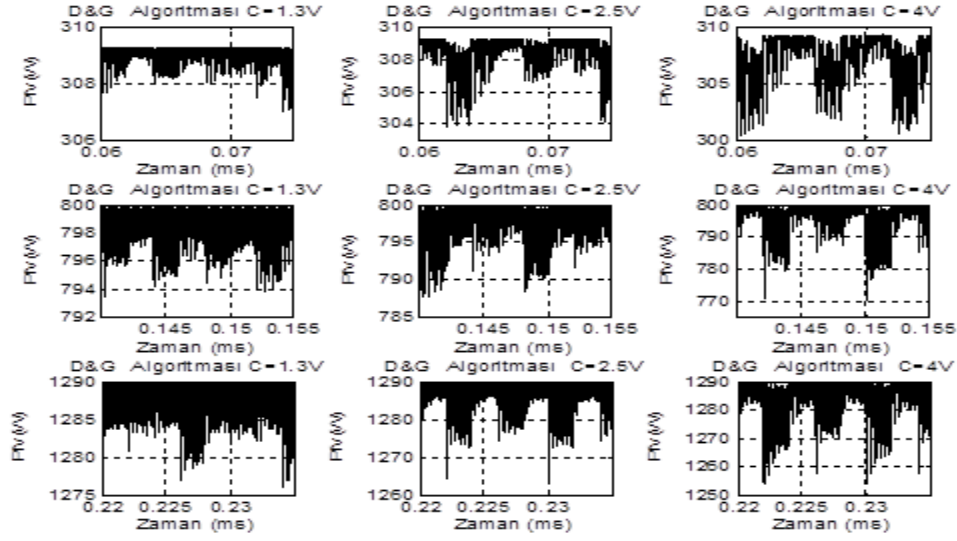
Şekil 13. 400 W/m^2 Işınmında farklı arama sabiti için görev periyodu değişimi (Change of the duty cycle for different search constant in irradiance 400 W/m^2)



Şekil 14. Ani değişen ışınım (Sudden change of irradiance)

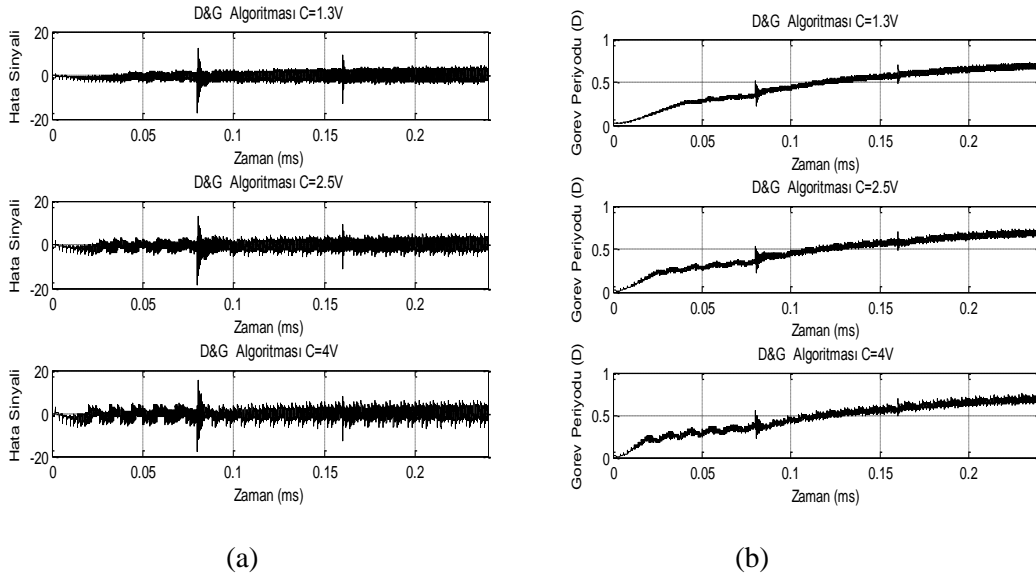


Şekil 15. Ani değişen ışınımında farklı arama sabiti için V_{FV} , I_{FV} ve P_{FV} değişimi (Change of V_{FV} , I_{FV} and P_{FV} for different search constant in sudden change irradiance)



Şekil 16. Ani değişen ışınımında farklı arama sabiti için P_{FV} yakınlaştırılmış değişimi (Zoom change of P_{FV} for different search constant in sudden change irradiance)

Şekil 16’da farklı çevresel koşullar altında farklı arama adımları için maksimum güç noktalarında oluşan salınımların yakınlaştırılmış hali gösterilmektedir. Bu koşullar altında da arama sabitinin yüksek değerlerinde maksimum güç noktasında büyük değerlerde salınımlara sahip olduğu görülmektedir. Şekil 17’de ani değişen ışınımında algoritmadan elde edilen hata sinyali ve anahtarlama sinyalinin üretileceği görev periyodundaki değişim gösterilmektedir.



Şekil 17. Ani değişen ışınımında farklı arama sabiti için (a) hata sinyali ve (b) görev periyodu değişimi (Change of error signal and duty cycle for different search constant in sudden change irradiance)

3.2. Uygulama Sonuçları (The Results of Application)

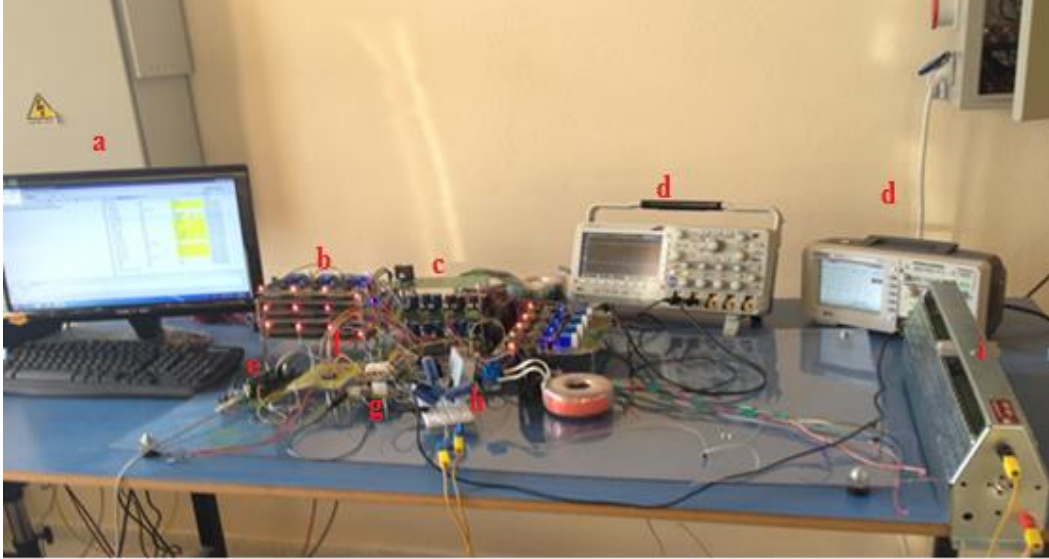
MGNT algoritmalarından değiştir-gözetle algoritmasının laboratuvar ortamında uygulaması gerçekleştirilmiştir. Uygulamada kullanılan güneş panelleri LCS marka olup, DC-DC dönüştürücü ve kontrolör parametreleri Tablo 2’de verilmiştir. Uygulamada örnekleme frekansı

ve anahtarlama frekansı 10kHz olarak seçilmiştir. Algoritmanın yazılımı C/C++ programlama dili ile Code Composer Studio (CCS) v5’de gerçekleştirilip TMS320F28335 Dsp’ye yüklenerek uygulama sonuçları elde edilmiştir.

Şekil 18’de kurulumu gerçekleştirilmiş LCS marka FV paneller, ışınım ve sıcaklık sensörü gösterilmektedir. Şekil 19’da ise laboratuvar ortamında hazırlanmış deneysel düzenek gösterilmektedir.



Şekil 18. FV sistem (a) Sıcaklık ve nem sensörü, (b) Işınım sensörü, (c) FV paneller (PV system
(a) Temperature and humidity sensor, (b) Irradiance sensor, (c) PV panels)

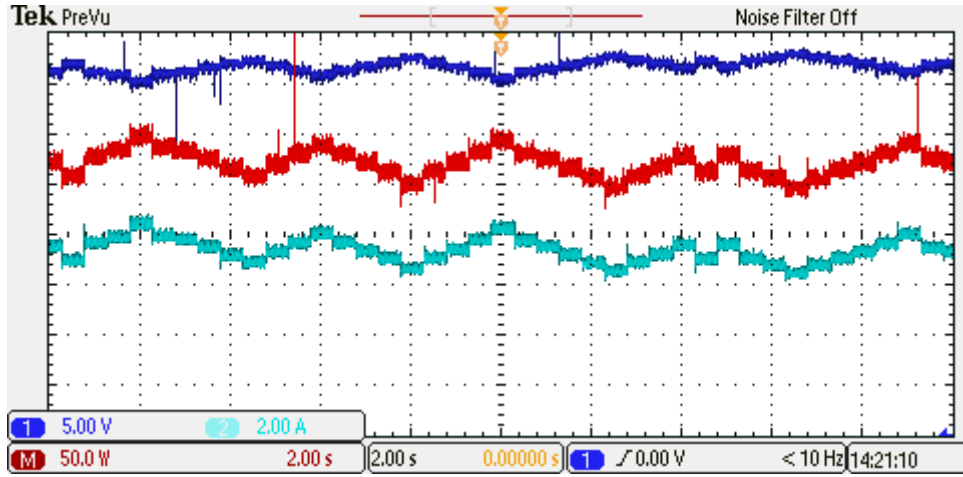


Şekil 19. (a) Bilgisayar, (b) Akım ve gerilim ölçüm devresi, (c) Güç kaynağı, (d) Osiloskop, (e) TMS320F28335 Dsp, (f) Voltaj seviye kaydırıcı devresi, (g) Skyper 32Pro R IGBT sürücü (h) Artıran DC Dönüştürücü, (i) Yük, ((a) Computer, (b) Current and voltage measurement circuit, (c) Power supply, (d) Oscilloscope, (e) TMS320F28335 Dsp, (f) Voltage shift level circuit, (g) n Skyper 32Pro R IGBT driver, (h) Boost converter, (i) Load)

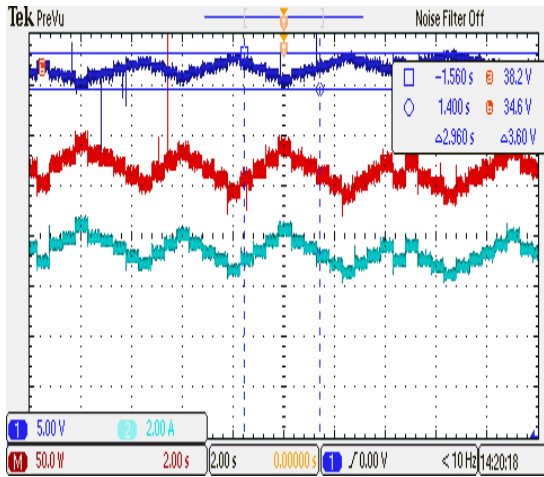
Şekil 20’de değiştir-gözetle algoritmasının laboratuvar ortamında çevresel koşullara bağımlı olarak gerçek zamanlı uygulama sonuçlarını göstermektedir. Sonuçlar incelendiğinde o anki çevresel şartlar altında değiştir-gözetle algoritmasının maksimum güç noktasını ararken oluşan salınımlar; Şekil 20(a)’da uygulama sonuçlarının genel görünümünde, 20(b)’de gerilimde, 20(c)’de akımda, 20(d) ise güç grafiklerinde açıkça görülmektedir.

Tablo 2. Uygulama modelinin parametre değerleri (Parameter values of the application model)

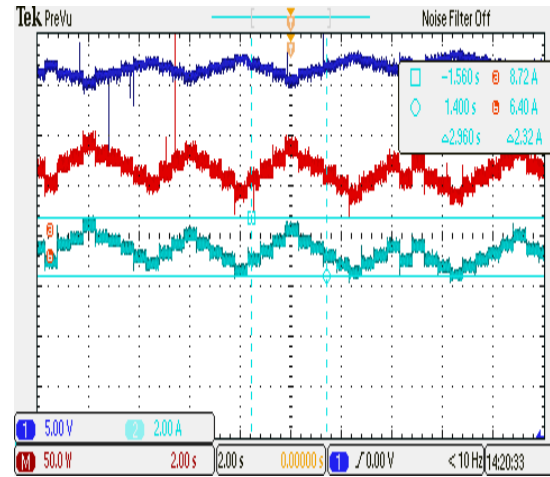
Parametre	Değer	Parametre	Değer
Seri hücre sayısı (Ns)	72	C_2	1000 μ F
Açık devre voltajı V_{oc}	45.74V	Yük	0-500 Ω /0-500W
Kısa devre akımı I_{sc}	5.69A	IRG4PH40KD IGBT	1200V/15A
Maksimum güç gerilimi (V_{mpp})	37.56V	15ETH06FPPBF-Diyot	600V, 15A
Nominal akımı (I_{mpp})	5.46A	LA 55P Akım Sensörü	\pm 50A
Maksimum güç (P_{max})	205W	LV 25P Gerilim Sensörü	10-500V
C_f	470 μ F	K_p	1.1
L	3mH	K_i	1500



(a)



(b)

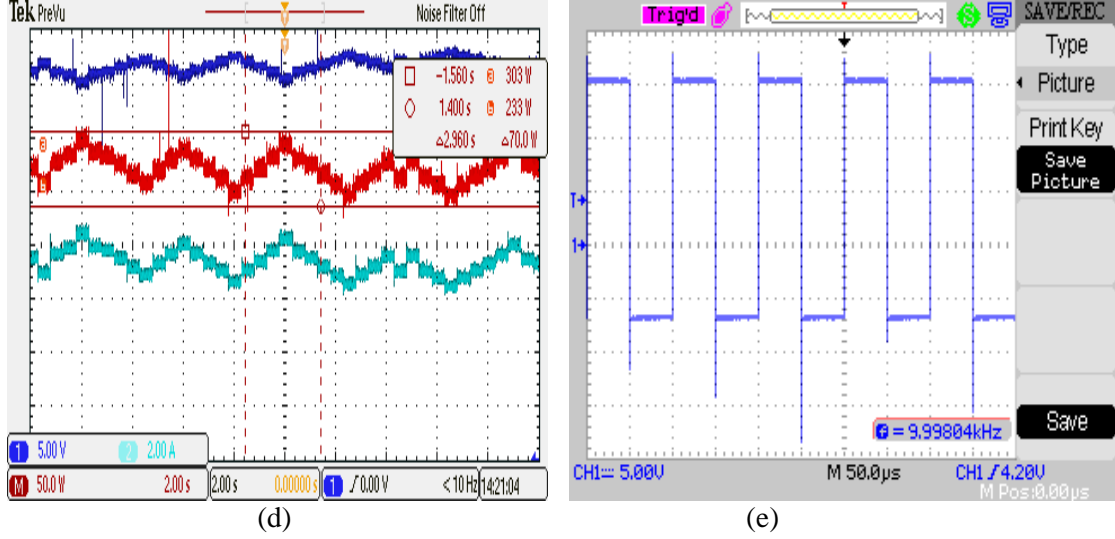


(c)

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada yenilebilir enerji kaynaklarında FV sistemlerinin modellenmesi, benzetimi ve uygulaması yapılmıştır. Modellenen FV sistemin farklı çevresel çalışma koşulları altında I-V,

P-V ve P-I karakteristik eğrileri çıkarılarak maksimum gücü elde edilecek çalışma noktaları belirlenmiştir. LCS marka FV panelin Matlab/Simulink paket programı ortamında modeli oluşturularak farklı çevresel çalışma şartlarında değiştir-gözetle MGNT algoritması ile MGN'de çalışması sağlanmıştır.



Şekil 20. (a) Uygulama sonuçları (b) FV panel gerilimi, (c) FV panel akımı, (d) FV panel gücü, (e) Anahtarlama sinyali ((a) Results of the application (b) PV panel voltage, (c) PV panel current, (d) PV panel power, (e) Switching signal)

Algoritmaya bağımlı olarak sistemin MGN etrafında referans geriliminin sürekli değişmesi nedeni ile salınımlar yaparak çalıştığı benzetim sonuçlarından elde edilmiştir. Ayrıca değiştir-gözetle algoritmasının farklı adım sabiti katsayılarında MGN'yi arama performansı da incelenmiş olup, adım sabiti değeri büyüdükçe MGN'ye ulaşma süresi kısalmışken MGN'de oluşan salınımların arttığı benzetim sonuçlarında görülmüştür. Benzetim çalışması yapılan LCS marka FV panelin çevresel koşullara bağımlı olarak değiştir-gözetle algoritması ile MGN'nde çalıştırılması laboratuvar ortamında gerçek zamanlı uygulaması yapılarak incelenmiştir. Elde edilen uygulama sonuçlarının benzetim sonuçlarına eşdeğerliliği gösterilmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyonu Birimi tarafından desteklenen 2012/067 numaralı proje kapsamında yapılmıştır.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. Jaleel, A., Nazar, A., Omega, A. R., (2012). Simulation on maximum power point tracking of the photovoltaic module using LabVIEW, *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 1(3), 190-199.
- [2]. Soliman, A. M., Alsari, M. M., Reda, E. I., Alhammadi, R. M., (2012). MATLAB modeling and simulation of photovoltaic modules, *2012 IEEE 55th International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS)*, 786-789.
- [3]. Jiang, Y., Qahouq, J. A. A., Orabi, M., (2011). Matlab/Pspice hybrid simulation modeling of solar PV cell/module, *2011 Twenty-Sixth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, 1244-1250.

- [4]. Krismadinata, Nasrudin, A. R., Hew, W. P., Jeyraj, S., (2013). Photovoltaic module modeling using simulink/matlab, *Procedia Environmental Sciences*, 17, 537-546.
- [5]. Altaş, İ.H., Sharaf, A.M., (2007). A Photovoltaic array simulation model for Matlab-Simulink GUI environment, *International Conference on Clean Power*, 341-345.
- [6]. Walker, G., (2001). Evaluating MPPT converter topologies using a MATLAB PV model, *Journal of Electrical & Electronics Engineering, Australia*, 21(1), 49-56.
- [7]. Salas, F., Olías, E., Barrado, A., Lázaro, A., (2006). Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaics systems, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 90, 1555-1578.
- [8]. Ishaque, K., Salam, Z., (2013). A review of maximum power point tracking techniques of PV system for uniform insolation and partial shading condition, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 475-488.
- [9]. Jain, S. ve Agarwal, V., (2007). Comparison of the Performance of Maximum Power Point Tracking Schemes Applied to Single-Stage Grid-Connected Photovoltaic Systems, *IET Electric Power Applications*, 1(5), 753-762.
- [10]. Buciarelli, L.L., Grossman, B.L., Lyon, E.F., Rasmussen, N.E., (1980). The energy balance associated with the use of a MPPT in a 100 kW peak power system, in *IEEE Photovoltaic Specialist Conf.*, 523-527.
- [11]. Teulings, W.J.A., Marpinard, J.C., Capel, A., O'Sullivan, D., (1993). A new maximum power point tracking system, in *24th Annual IEEE Power Electron. Specialists Conf.*, 833-838.
- [12]. Kim, Y., Jo, H., Kim, D., (1996). A new peak power tracker for cost effective photovoltaic power system, in *Proc. 31st Intersociety Energy Conversion Eng. Conf.*, 1673-1678.
- [13]. Hashimoto, O., Shimizu, T., Kimura, G., (2000). A novel high performance utility interactive photovoltaic inverter system, in *Conf. Record of the 2000 IEEE Ind. Applicat. Conf.*, 2255-2260.