



Bulanık Mantık Tabanlı MGNT Sistem Performansının Ani ve Yavaş Değişen Güneş Radyasyonu Koşullarında İncelenmesi

Investigation of the Performance of a Fuzzy Logic Based MPPT System Under Sudden and Slowly Changing Insolation Conditions

Recep ÇAKMAK¹, İsmail Hakkı ALTAŞ²

¹Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Gümüşhane Üniversitesi
rcakmak@gumushane.edu.tr

²Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
Karadeniz Teknik Üniversitesi
ihaltas@ktu.edu.tr

Özet

Güneş ışığını doğrudan elektrığe çeviren fotovoltaik (FV) üreteçler yapıları gereği lineer olmayan akım-gerilim karakteristiği sergilerler. Bu nedenle herhangi bir atmosferik koşul altında FV panelin tek bir maksimum güç noktası vardır. Panel yüzeyine gelen güneş ışığından azami ölçüde faydalanılması için maksimum güç noktası takip (MGNT) sistemlerinin kullanımı önem arz etmektedir. Bu çalışmada geleneksel MGNT sistemlerine göre üstünlükleri bulunan bulanık mantık (BM) tabanlı bir MGNT sisteminin ani ve yavaş değişen ışınım koşullardaki performansı incelenmiştir. BM tabanlı MGNT sistemi MATLAB/Simulink benzetim ortamında modellenip farklı ışınım senaryolarında test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, benzetimi gerçekleştirilen BM tabanlı MGNT sisteminin kararlı çalıştığını ve maksimum gücü doğru takip ettiğini ortaya koymuştur.

Abstract

Photovoltaic (PV) generators, which convert sunlight to electricity directly, exhibit nonlinear current versus voltage characteristics because of their structure. For this reason a PV generator has a unique maximum power point under any atmospheric condition. Using of maximum power point tracking (MPPT) systems have importance to utilize the incident sunlight to the panel surface in maximum. In this study the performance of a fuzzy logic (FL) based MPPT system, which have advantages over traditional MPPT systems, has been investigate under fast and slowly changing insolation conditions. The FL based MPPT system is designed in MATLAB simulation platform and tested under different insolation scenarios. Obtained results shows that the simulated FL based MPPT system operates stable and tracks maximum power properly.

1. Giriş

Artan enerji talebi ve fosil yakıtların çevreye verdiği olumsuz etkilerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelimler her geçen gün artmaktadır[1]. Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan Güneş enerjisinden elektrik üretiminde güneş ışığındaki foton enerjisini doğrudan elektrığe dönüştüren Fotovoltaik (FV) üreteçlerin kullanılması geçmişten bugüne artarak gelmiştir ve FV üreteçlerle elektrik üretiminin gelecekte de artması öngörülmektedir[2]. FV üreteçler yapıları gereği doğrusal olmayan akım-gerilim karakteristiğine sahiptirler. Bu nedenle FV üreteçlerin belirli atmosfer koşullarında üretilebileceği tek bir maksimum güç vardır. Güneş ışınımı, sıcaklık gibi atmosfer şartlarının değişmesi durumunda FV üretiminin üretebileceği maksimum güç te değişir. Geleneksel güç santrallerine göre daha maliyetli olan FV sistemlerden azami ölçüde faydalanmak bu sistemlerin verimli ve etkin kullanımı açısından bir elzemdir. İşte bu nedenle FV üreteçlerin maksimum güç noktası takip (MGNT) sistemleri ile birlikte kullanılması önem arz etmektedir. Değişen atmosfer koşullarında FV üretiminin maksimum güç üretecek şekilde çalışmasını temin etmek üzere birçok MGNT sistemi geliştirilmiştir[3-9].

Literatürde yer alan MGNT yöntemlerinin genel değerlendirmesi ve karşılaştırmaları içeren çalışmalarda[3-6] MGNT yöntemleri hakkında detaylı bilgiler bulunmaktadır. Genel olarak MGNT yöntemleri doğrudan ve dolaylı arama yapan yöntemler olarak ikiye ayrılmaktadırlar[6]. Doğrudan araştırma yöntemleri maksimum güç noktasını FV üretiminin akım ve gerilimindeki değişimlerden yararlanarak kestirirler. Dolaylı maksimum güç noktası araması yapan yöntemler ise FV üretiminin akım ve gerilim bilgisinin yanı sıra güneş radyasyonu, ampirik veriler ve matematiksel eşitliklere de ihtiyaç duyarlar. Doğrudan araştırma yöntemlerinden olan geleneksel D&G algoritması kolay uygulanabilirliğinden dolayı [10] pratikte en fazla kullanılan yöntemdir [3,5,6]. Öte

yandan D&G algoritmasının birtakım mahzurları bulunmaktadır [4]. Geleneksel değiştir gözle algoritmasının en önemli mahzurlarından bir tanesi sabit arama adımı ile arama yaptığımız sürekli durumda maksimum güç etrafında salınımlara yol açmasıdır. Bu salınımları azaltmak için değişken arama adımı kullanan D&G algoritmaları ileri sürülse de bu yaklaşımlar algoritmanın arama hızını yavaşlatmakta, karmaşıklığını arttırmakta ve FV üreticinin parametrelerine ihtiyaç duymaktadır [3-6].

Bulanık mantık[11] tabanlı MGNT yöntemleri geleneksel D&G ve artan iletkenlik algoritmalarına göre çeşitli avantajlara sahiptirler. Bulanık mantığın yumuşak hesaplama özelliklerinden dolayı bulanık mantık (BM) tabanlı MGNT sistemleri yükte veya atmosfer koşullarında meydana gelen değişimler durumunda yeni maksimum güç noktasına daha çabuk ulaşırlar. Bununla birlikte BM tabanlı MGNT sistemleri maksimum gücü sürekli durumda (maksimum güç noktasına ulaşıldıktan sonra) osilasyonsuz veya ihmal edilebilir seviyede osilasyonla takip ederler. Karşılaştırmalı sonuçlar ve BM tabanlı MGNT sistemlerinin geleneksel MGNT yöntemlerine göre avantajları [3,12-13]'da belirtilmektedir.

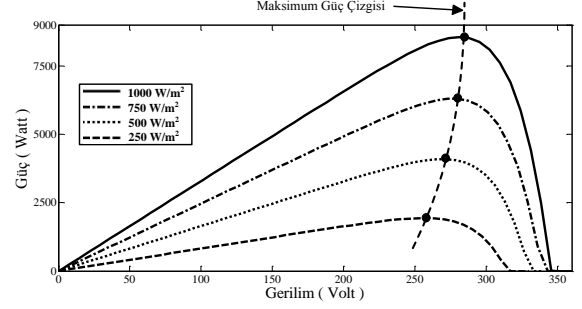
FV üreticilerin ürettiği güç güneş ışınımına bağlı olduğundan, MGNT sistemleri ışınımın değişim durumundaki değişimlerinde maksimum gücü başarıyla takip edebilmelidirler. Bu çalışmada farklı bir tasarım yaklaşımı ile tasarlanan ve geleneksel D&G algoritmasına göre üstünlükleri bulunan bulanık mantık tabanlı bir MGNT yönteminin [9] ani ve yavaş değişen ışınım koşullarındaki performansı incelenmiştir. İkinci bölümde maksimum güç noktası takibi ve önemi hakkında durulmuş, geleneksel D&G algoritması ve performansı incelenen bulanık mantık tabanlı MGNT yöntemi açıklanmıştır. Üçüncü bölümde benzetimi yapılan sistem verilmiş, dördüncü bölümde elde edilen benzetim sonuçları aktarılmıştır. Son bölümde elde edilen bulgular yorumlanarak çalışma sonuçlandırılmıştır.

2. Maksimum Güç Noktası Takibi ve Önemi

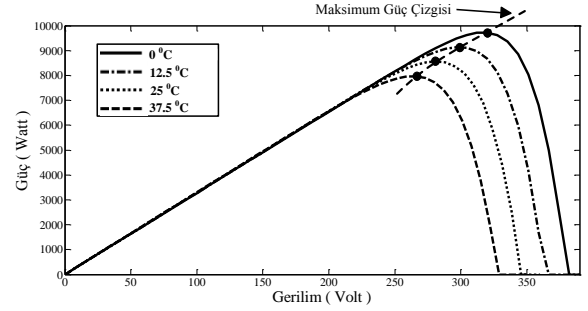
Fotovoltaik üreticiler (hücre, panel, dizi) doğrusal olmayan akım-gerilim karakteristiğine sahiptirler. Bu yüzden herhangi bir atmosfer koşulunda FV üreticiden alınabilecek tek bir maksimum güç değeri vardır. Bununla birlikte FV üreticinin çıkışından alınan akım ve gerilim sıcaklık ve ışınım (güneş radyasyonu) bağlı olarak değiştiğinden sıcaklık ve/veya ışınım değiştiğinde FV üreticinin üretebileceği maksimum güç değeri ve bu güce karşılık düşen akım ve gerilim değerleri de değişir.

Her sistemde olduğu gibi FV sistemlerin de maksimum güçte çalıştırılmaları verimliliği artırır ve işletme maliyetlerini düşürür. Bilindiği gibi FV sistemlerle elektrik üretimi hala fosil yakıtlarla çalışan güç üretim santrallerinden daha maliyetlidir. Bu nedenle böyle yüksek maliyetli bir FV sistemi kuran işletme sahibi/mühendis kurulan FV sistemin mümkün olan azami dönüşüm verimliliğinde çalışmasını arzular. İşte bu nedenle FV üreticinin maksimum güçte çalışmasını temin eden ve maksimum gücü takip eden MGNT sistemi FV sistemlerin önemli bileşenlerinden biridir. MGNT sistemleri FV üreticileri sürekli azami güç üretecek şekilde çalıştırarak verimli bir üretim yapılmasını sağlarlar.

Bu çalışmada kullanılan FV diziyeye ait güç-gerilim eğrilerinin sabit sıcaklık altında ışınım göre değişimleri Şekil 1'de yer almaktadır. Işınımın sabit olması durumunda FV dizinin güç-gerilim eğrilerinin sıcaklığa bağlı değişimleri Şekil 2'de görülmektedir. FV üreticinin gücü ışınım arttıkça artarken, sıcaklık artışı FV üreticinin çıkış gücünün azalmasına yol açmaktadır. Sıcaklık ve ışınım değişikliklerinde maksimum güç ve maksimum güce karşılık düşen gerilim değerleri de değişmektedir.



Şekil 1: Gölgelememiş bir FV dizinin güç-gerilim eğrilerinin 25 °C sabit sıcaklıkta ışınım göre değişimleri.

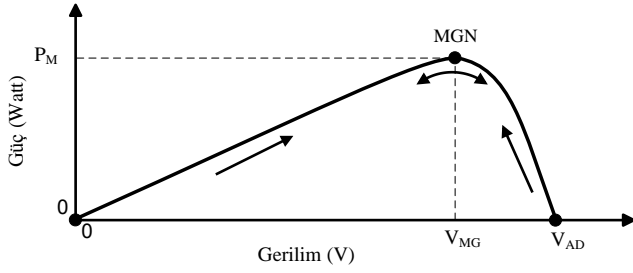


Şekil 2: Gölgelememiş bir FV dizinin güç-gerilim eğrilerinin 1000 W/m² sabit ışınım sıcaklığa bağlı değişimleri.

2.1. Geleneksel D&G MGNT Algoritması

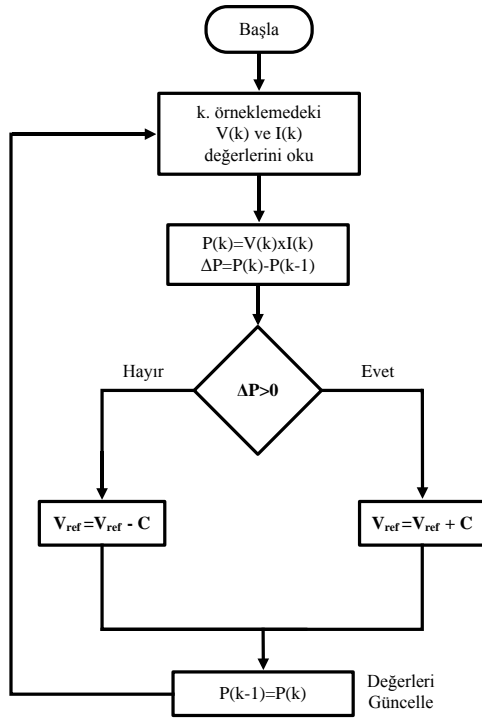
Doğrudan MGN araştırma yöntemlerinden değiştir-gözle (D&G) metodu, uygulama kolaylığından dolayı [10] pratikte en çok kullanılan yöntemdir [3,5-6]. Şekil 3'teki FV üreticinin güç-gerilim eğrisi incelenirse; maksimum güç noktasının (MGN) sol tarafında; gerilim arttığında güç artmakta, gerilim azaldığında güç azalmaktadır. Maksimum güç noktasının (MGN) sağ tarafında ise; gerilim arttığında güç azalmakta, gerilim azaldığında güç artmaktadır.

D&G algoritması, FV üreticinin güç-gerilim eğrisinin hangi bölgesinde çalıştığını tespit edip FV üreticinin maksimum güç üretecek gerilim değerinde çalıştırmak için FV üreticinin çalışma gerilimine müdahalede bulunur.



Şekil 3: Gölgenlenmemiş bir FV dizinin güç-gerilim eğrisi

Akış diyagramı Şekil 4'te yer alan D&G algoritmasında, algoritmanın her adımı için FV üreticinin maksimum güç üreteceği gerilim veya akım değerine sabit bir değişken (arama adımı) (C) vasıtasıyla artırılır veya azaltılır. Bu durum maksimum güç noktasına ulaşılan kadar devam eder. Gerilim değiştirildiğinde güçte bir artma var ise değişim aynı yönde devam eder, eğer güçte bir azalma söz konusu ise değişim yönü tersine çevrilir. Ancak algoritmanın yapısı, Şekil 3'te gösterildiği gibi maksimum güç noktası civarında bir salınım açar. Her adımda bir değişiklik üreten sabit değişkenin küçük olması, maksimum güç noktası civarındaki salınımları azaltırken, maksimum güce ulaşma süresini arttırır. Tam tersi durumda ise maksimum güç noktasına çok daha hızlı ulaşılır ancak maksimum güç noktası civarında güçte meydana gelen salınımlar daha çok artar.



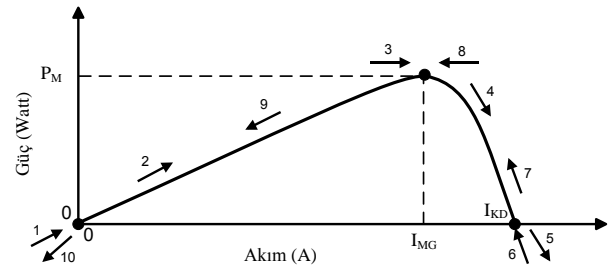
Şekil 4: Geleneksel D&G algoritması [6]

2.2. Performansı İncelenen BM Tabanlı MGNT Sistemi

Bulanık mantık tabanlı denetleyici veya bir sistemin tasarımında ele alınan yaklaşımın tasarlanan sistemin başarısında önemli rolü vardır. Bu çalışmada FV üreticinin güç-akım grafiğinin 10 bölgede incelenip bulanık mantık denetleyicinin (BMD) kural tabanı belirlenerek oluşturulan

MGNT sisteminin[9] ani ve yavaş değişen ışınım senaryolarındaki performansı incelenmiştir. Performansı incelenen BM tabanlı MGNT sisteminin tasarımı burada verilmeyecek ancak sistem hakkında genel bilgi verilecektir. Detaylı bilgiler kaynak [9]'da yer almaktadır.

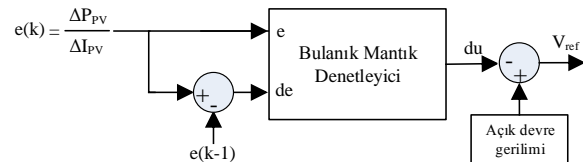
BM tabanlı MGNT tasarımı için, FV üreticinin güç-akım eğrisi Şekil 5'te gösterildiği gibi 10 bölgede incelenerek her bir bölge için güç ve akımdaki değişimin ve bu değişimlerin birbirine oranının (hata= e) değişimleri elde edilmiştir. Daha sonra hatanın değişimi (de), FV üreticinin çalışma geriliminin ne şekilde değiştirilmesi gerekliliği ve BMD çıkışından arzu edilen çıkışlar (du) Çizelge 1'deki gibi belirlenerek oluşturulmuştur. Bulanık mantığın yapısı gereği sistem tasarımında dilsel değişkenler kullanılmıştır ve MGNT sistemi bir BMD denetleyici yapısında tasarlanmıştır. MGNT biriminde kullanılan BMD'nin giriş ve çıkış parametreleri Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 5: Gölgenlenmemiş bir FV dizinin güç-gerilim eğrisi üzerinde 10 bölge

Çizelge 1: FV üreticinin güç-akım eğrisi üzerindeki çalışma bölgelerine göre BMD kurallarının belirlenmesi için oluşturulan tablo

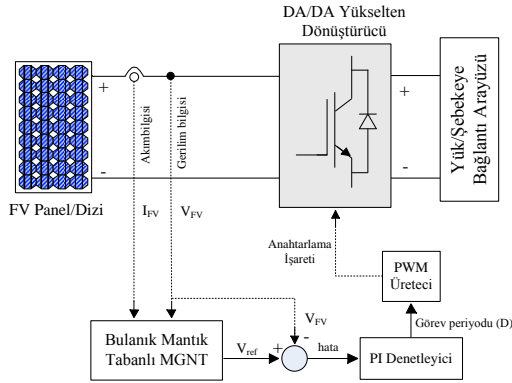
	Çalışma Bölgeleri →									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ΔP	+	+	0	-	-	+	+	0	-	-
ΔI	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
$e = \frac{\Delta P}{\Delta I}$	+	+	0	-	-	-	-	0	+	+
de	+	+	0	-	-	-	-	0	+	+
V_{ref}	Cok azaltilmali	Az azaltilmali	Sabit kalmali	Az arttirilmali	Cok arttirilmali	Cok azaltilmali	Az azaltilmali	Sabit kalmali	Az arttirilmali	Cok arttirilmali
du	Cok artmali	Az artmali	Sabit kalmali	Az azalmali	Cok azalmali	Cok artmali	Az artmali	Sabit kalmali	Az azalmali	Cok azalmali



Şekil 6: MGNT için tasarlanan BMD denetleyicinin giriş ve çıkış parametreleri

3. Benzetimi Yapılan Sistem

Performansı incelenen BM tabanlı MGNT sisteminin genel yapısı Şekil 7’de görülmektedir. MGNT biriminde üretilen V_{ref} , FV üretcin gerilimi ile karşılaştırılıp elde edilen hata bir oransal integral denetleyiciye gönderilmektedir. Denetleyici çıkışı PWM üreticine modülasyon indeksi olarak gönderilmekte ve elde edilen anahtarlama işaretleri DA/DA yükselten dönüştürücüye gönderilmektedir. DA/DA yükselten dönüştürücü, FV üretci MGNT biriminin belirlediği referans gerilim değerinde çalıştırarak FV üretçten maksimum güç alınmasını sağlamaktadır.

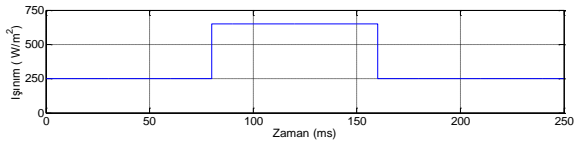


Şekil 7: Benzetimi yapılan sistemin genel yapısı

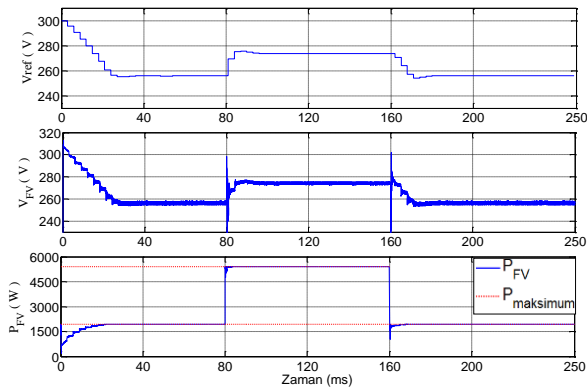
4. Benzetim Sonuçları

4.1. Ani Işınım Değişikliği Senaryosu ve Sonuçları

Işınım sabit sıcaklık altında Şekil 8’deki ani olarak artıp belirli bir süre sonra tekrar ani olarak düşmesi senaryosu için maksimum güçte çalışmayı sağlayacak olan referans geriliminin (V_{ref}), FV üretcin geriliminin (V_{FV}) ve FV üretç gücünün (P_{FV}) değişimleri Şekil 9’da yer almaktadır.



Şekil 8: 25°C sabit sıcaklıkta ışınımın ani değişimi senaryosu

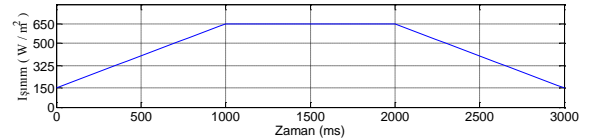


Şekil 9: Ani ışınım değişiminde V_{ref} , V_{FV} ve P_{FV} değişimleri

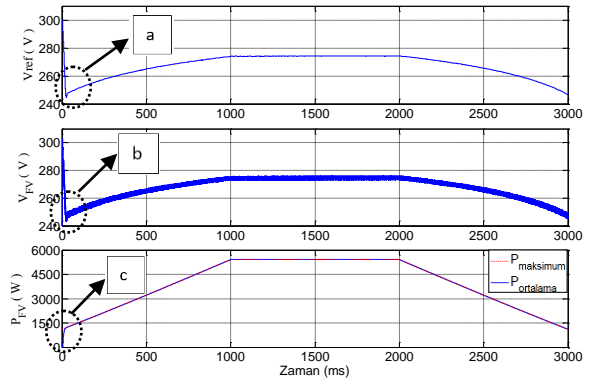
Sonuçlar incelendiğinde MGNT tarafından üretilen referans geriliminin FV üretci maksimum güçte çalıştırarak referans gerilimi takip ettiği görülmektedir. Bu senaryo durumu için FV üretcin ortalama gücünün %99,7713 doğrulukla maksimum gücü takip ettiği tespit edilmiştir.

4.2. Yavaş Işınım Değişikliği Senaryosu Sonuçları

Işınımın sabit sıcaklık altında Şekil 10’daki gibi yavaş yavaş değişip belirli bir süre sabit kaldıktan sonra tekrar yavaş yavaş azaldığı senaryo için elde edilen benzetim sonuçları Şekil 11’de yer almaktadır.

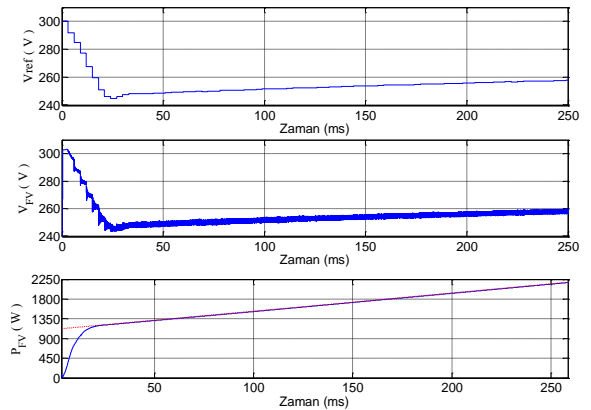


Şekil 10: 25°C sabit sıcaklıkta ışınımın yavaş yavaş artıp-sabit kalıp-yavaş yavaş azalması senaryosu



Şekil 11: Yavaş ışınım değişiminde V_{ref} , V_{FV} ve P_{FV}

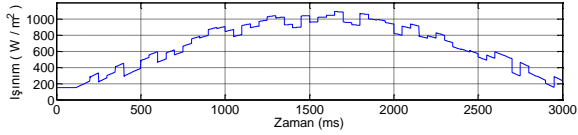
Işınımın yavaş değiştiği bu senaryoda BM tabanlı MGNT sisteminin gereken tepkiyi göstererek uygun referans gerilimini ürettiği, ışınımın sabit kaldığı süre içinde ise referans gerilim değerinin kararlılığını koruduğu sonuçlardan görülmektedir. Bu senaryo durumu için FV üretcin ortalama gücünün %99,9844 doğrulukla maksimum gücü takip ettiği belirlenmiştir.



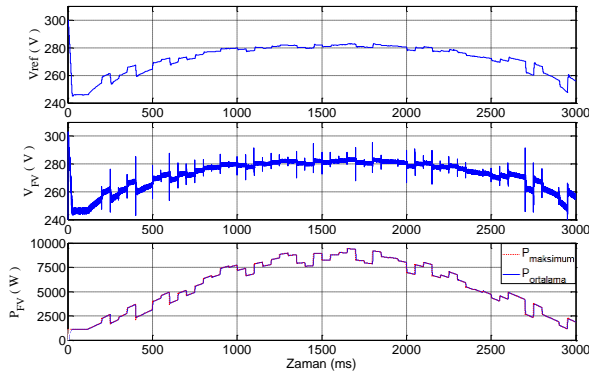
Şekil 12: Sırasıyla ‘a’, ‘b’ ve ‘c’ bölgesinin büyütülmüş görüntüleri

4.3. Yavaş ve Ani Işınım Değişikliğinin Birlikte Olduğu Senaryo Sonuçları

Işınımın Şekil 13'teki gibi yavaş değişimler seyirinde iken ani değişimlerle bozulduğu senaryo için elde edilen sonuçlar Şekil 14'te yer almaktadır.



Şekil 13: 25°C sabit sıcaklıkta yavaş ve ani ışınım değişikliğinin birlikte olduğu senaryo



Şekil 14: Yavaş ve ani ışınım değişikliğinin birlikte olduğu senaryo için V_{ref} , V_{FV} ve P_{FV} değişimleri

BM tabanlı MGNT sisteminin hızlı ışınım değişikliklerine verdiği tepkinin hızlı olması yavaş değişimler sırasındaki ani değişimlere başarılı tepkiler vermesini sağlamıştır. Böylece yavaş seyreden ışınım değişikliği durumunda ani değişimler meydana gelse bile sistemin maksimum gücü takip ettiği görülmüştür. Bu senaryo durumu için FV üreticinin ortalama gücünün %99,9703 doğrulukla maksimum gücü takip ettiği tespit edilmiştir.

5. Sonuçlar

FV üreticilerin doğrusal olmayan akım-gerilim karakteristikleri nedeniyle herhangi bir sıcaklık ve ışınım altında FV üreticinin üretilbileceği tek bir maksimum güç değeri vardır. Sıcaklık ve/veya ışınımın değişmesi durumunda FV üreticinin çıkış büyüklükleri olan akım ve gerilim değerleri de değişeceğinden maksimum güç değeri de değişir. Fosil yakıt tabanlı güç üretim santrallerine göre pahalı sistemler olan FV üreticileri MGNT sistemleri kullanarak maksimum güç elde edilecek şekilde çalıştırmak oldukça önemlidir. Güneş ışınımının gün içerisinde çok çeşitli şekillerde değişiklik göstermesinden dolayı bir MGNT sisteminin tüm ışınım koşullarında yüksek performans sergileyebilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada BM tabanlı bir MGNT sisteminin ani ve yavaş değişen ışınım koşullarında gösterdiği performans MATLAB/Simulink benzetim ortamında incelenmiştir.

Işınımın ani olarak artırılıp bir süre sonra ani olarak azaltılmasıyla uygulanan ışınımın ani değişmesi senaryosunda performansı incelenen BM tabanlı MGNT sisteminin

maksimum gücü başarı ile izlediği ve değişimlere hızlı tepki göstererek kararlı duruma geçtiği sonuçları elde edilmiştir. Işınımın yavaş değiştiği senaryoda ise ışınım yavaş yavaş artırılmış, bir süre aynı değerinde sabit tutulmuş ve daha sonra tekrar yavaş yavaş azaltılmıştır. Bu senaryo durumunda performansı incelenen sistemin maksimum güç noktasını kararlı ve başarıyla takip ettiği görülmüştür. Son olarak ışınımın yavaş yavaş değiştiği duruma ani değişimler de eklenerek sistemin performansı incelendiğinde sistemin herhangi bir kararsızlık durumuna geçmediği ve maksimum gücü yüksek doğrulukla takip ettiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak ani ve yavaş değişen ışınım koşullarında performansı incelenen sistemin başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

6. Kaynaklar

- [1] U.S. Energy Information Administration (EIA), International Energy Outlook 2013, July 2013.
- [2] International Energy Agency (IEA), World Energy Outlook 2012.
- [3] Esram, T. and Chapman, P.L., "Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 22, no.2, pp. 439-449, 2007.
- [4] Hohm, D.P. and Ropp, M.E., "Comparative study of maximum power point tracking algorithms", *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 11, pp. 47-62, 2003.
- [5] Jain, S. and Agarwal, V., "Comparison of the performance of maximum power point tracking schemes applied to single-stage grid connected photovoltaic systems", *IET Electric Power Applications*, vol. 1, no. 5, pp. 753-762, 2007.
- [6] Salas, V., Olias, E., Barrado, A. and Lazaro, A., "Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems", *Solar Energy Materials & Solar Cells*, vol. 90, pp:1555-1578, 2006.
- [7] Altas, I.H. and Sharaf, A.M., "A novel maximum power fuzzy logic controller for photovoltaic solar energy systems", *Renewable Energy*, vol. 33, no.3, pp. 388-399, 2008.
- [8] Altas, I.H. and Sharaf, A.M., "A novel on-line MPP search algorithm for PV arrays", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 11, no.4, pp. 748-754, 1996.
- [9] Cakmak, R., Altas, I.H. and Sharaf, A. M., "Modeling of FLC-incremental based MPPT using DC-DC boost converter for standalone PV system", *Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA)*, 2012,1-5.
- [10] Kim, Y., Jo, H. and Kim, D., "A New Peak Power Tracker for Cost-Effective Photovoltaic Power System, Proceedings of the 31st Intersociety Energy Conversion Engineering Conference (IECEC 96), August 1996, Washington, 3, 1673-1678.
- [11] Zadeh, L.A., "Fuzzy sets", *Information and Control*, Vol. 8, pp.338- 353, 1965.
- [12] Salam Z., Ahmed, J. and Merugu, B.S., "The application of soft computing methods for MPPT of PV system: A technological and status review," *Appl. Energy*, vol. 107, pp. 135-148, Jul. 2013.
- [13] Eltawil, M.A., and Zhao, Z., "MPPT techniques for photovoltaic applications," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 25, pp. 793-813, Sep. 2013.