

Maksimum Güç Noktası Takibinde Kullanılan Değişir Gözle ve Artan İletkenlik Algoritmalarının Karşılaştırmalı Analizi

Merve ÇAKIR^{1*}, Yavuz TÜRKAY^{2**}

¹ Elektrik-Elektronik Mühendisliği /Fen Bilimleri Enstitüsü, Cumhuriyet Üniversitesi, Türkiye

² Elektrik-Elektronik Mühendisliği /Mühendislik Fakültesi, Cumhuriyet Üniversitesi, Türkiye

*(ckmrrv@icloud.com) Başlıca yazarın mail adresi

Özet – Teknolojik gelişmeler ile enerjiye olan ihtiyaç hızla artmaktadır. İhtiyaç duyulan bu enerjiyi üretmek amacıyla kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının rezervleri sınırlıdır. Rezervleri sınırlı olan bu kaynakların çevreye verdiği tahribatı azaltmak amacıyla yenilenebilir enerji kaynakları iyi bir alternatif olmuştur. Güneş enerjisi, yenilenebilir bir enerji kaynağı olması, sonsuz ve çevreye verdiği tahribatın az olmasından dolayı tercih edilir ancak günümüzde kullanılan güneş panelleri hızlı değişen ortam koşullarından etkilendiği için bu sistemler düşük verimle çalışmaktadır. Düşük verimle çalışan bu sistemlerde verimin artırılması için maksimum güç noktası takibi algoritmaları geliştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan Değişir ve Gözle (Perturb and Observe - P&O) ve Artan İletkenlik (Incremental Conductance - IC) algoritmaları sadeliği ve pratik uygulanması sebebi ile, fotovoltaik uygulamalarda en çok kullanılan maksimum güç noktası takibi kontrol yöntemleridir. Çalışmada kullanılan her iki yöntemin çeşitli avantajları, dezavantajları belirlenmiş ve enerji kullanım verimlilikleri ile takip hızı açısından karşılaştırılmıştır. Matlab/Simulink kullanılarak yapılan simülasyonda 25W gücünde fotovoltaik panel (PV) ve DC-DC yükselten dönüştürücü kullanılmıştır. Değişir ve gözle algoritması ile artan iletkenlik algoritmasının simülasyon sonuçları değişken ışığa ve değişken sıcaklık değerlerinde karşılaştırıldığında, artan iletkenlik algoritmasının maksimum güç noktasına (MPP) daha hızlı ulaştığı ve maksimum güç noktasında daha az salınım yaptığı gözlemlenmiştir. Her iki maksimum güç noktası takibi (MPPT) algoritmanın istenilen performans düzeyine ulaştığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler – Değişir ve Gözle, Artan İletkenlik, Maksimum Güç Noktası Takibi, Takip Verimliliği, DC/DC Dönüştürücü

I. GİRİŞ

Artan nüfus ve teknolojik gelişmelerle beraber dünyanın enerji ihtiyacı giderek artmaktadır. İhtiyaç duyulan bu enerjinin bir kısmını güneş enerjisinden sağlamak mümkündür. Yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisi; kurulumdan sonra düşük maliyetli çalışması, PV modüller aracılığıyla ışık enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çevirebilmesi sayesinde kullanım alanı artmaktadır.[1], [2]

Günümüzde kullanılan güneş panelleri güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürürken sıcaklık, ışınım miktarı, güneşlenme açısı, rüzgâr hızı, nem, hava kirliliği gibi faktörlerden etkilendiği için düşük verimle çalışmaktadır.[3], [4] Maksimum güç noktası takibi (MPPT), sistem veriminin artması için bir çözüm olarak geliştirilmiş ve geliştirilmeye

devam edilmektedir. MPPT'nin amacı, güneş panellerinden elde edilen gücün, maksimum olarak çıkışta yüke aktarılması ile enerji verimliliğini sağlamaktır.[3], [5]

Literatürde birçok MPPT yöntemi bulunmaktadır. Bu yöntemler klasik MPPT yöntemleri ve modern MPPT yöntemleri olarak iki başlık altında toplanmaktadır. Bu çalışmada değerlendirilen yöntemler klasik MPPT yöntemi olan P&O ve IC algoritmalarıdır. Bu iki yöntem Matlab/Simulink ortamında simüle edilerek kıyaslanmıştır. P&O ölçüm ve kıyaslamaya dayalı bir yöntemken IC matematiksel hesaplama dayalı bir yöntemdir.[6]

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. Değişir ve Gözle Algoritması (P&O)

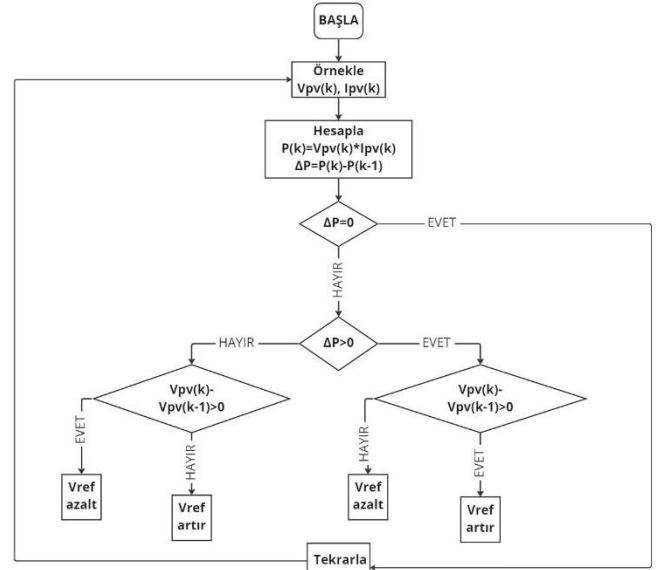
P&O algoritması basit, kararlı ve sadeliğinden dolayı literatürde en çok kullanılan yöntemdir. [7] P&O algoritması, PV panelin karakteristik P-V ve I-V eğrilerinden faydalanır. Bu algoritma, devamlı olarak PV panelin gücünü seyredip güçteki değişime göre PV panelin geriliminin artırılıp veya azaltılmasını sağlayarak sistemin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlamış olur. Kısaca, PV panel akım ve geriliminin örneklenerek güç değişiminin hesaplanıp izlenmesi prensibine dayanmaktadır. Bu algoritmada, maksimum güç noktasının sağındayken gerilim değeri artırıldığında güç değeri artacak, gerilim değeri azaldığında ise güç değeri azalacaktır. Maksimum güç noktasının sol tarafındayken ise gerilim değeri artırıldığında güç azalacak, gerilim değeri azaldığında güç artacaktır. [8],[9],[10]

P&O algoritmasının dezavantajı hızla değişen ortam koşullarında maksimum güç noktasında sapma göstermektedir. Bu algoritmanın I-V karakteristik eğrisinden yola çıkılarak, gücün nasıl değiştirildiği Tablo 1'de, akış diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Gerilim Değeri Değişim Karar Tablosu

Gerilim Değeri Değişimi	Güç Değişimi	Değişim Yönü
Negatif	Pozitif	Negatif
Negatif	Negatif	Pozitif
Pozitif	Pozitif	Pozitif
Pozitif	Negatif	Negatif

P&O algoritmasının fotovoltaik panelin karakteristik bilgilerine ihtiyacı yoktur. Fakat kısmi gölgelenme durumunda maksimum güç noktasını yakalamakta başarısız olması ve ani değişen koşullarda MPP noktasında çalışmaması gibi dezavantajları vardır. Bu yöntem ortam koşullar sabitken maksimum güç noktasında çok az salınım yapar, ancak ışınım veya sıcaklık hızla değiştiğinde maksimum güç noktasını hızlı bir şekilde izleyemez. [11],[12]



Şekil 1. P&O akış diyagramı

B. Artan İletkenlik (IC)

IC algoritması, PV panelin karakteristik P-V eğrisinden faydalanır. Bu yöntem maksimum güç noktasını PV panelin iletkenliği (I/V) ve artan iletkenliği değerlerinin (dI/dV) karşılaştırılması ile hesaplamaktadır.[13]

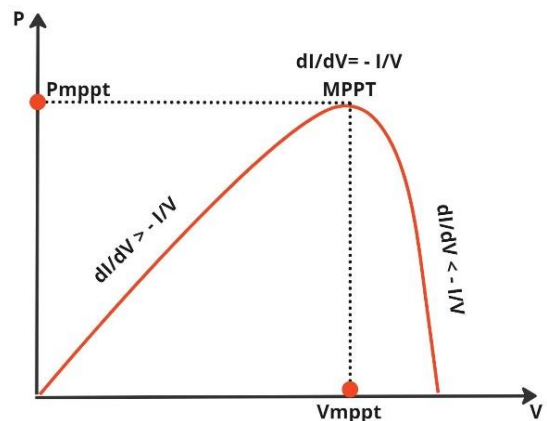
Bu algoritmaya ait eşitlikler [14],[15]:

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad \text{MPP noktasında} \quad (1)$$

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(I.V)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} = 0 \Rightarrow \frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \quad (2)$$

$$\frac{dI}{dV} > -\frac{I}{V} \quad \text{MPP noktasının solunda} \quad (3)$$

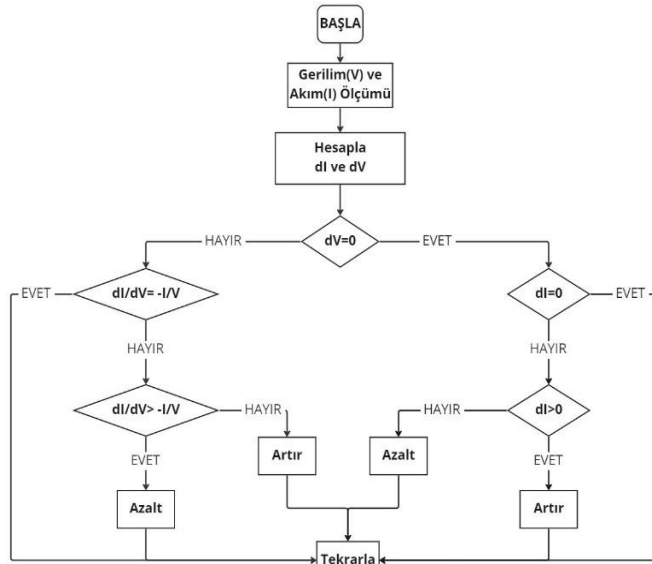
$$\frac{dI}{dV} < -\frac{I}{V} \quad \text{MPP noktasının sağında} \quad (4)$$



Şekil 2. IC karakteristik eğrisi MPPT

Şekil 2’de verilen IC karakteristik eğrisinde görüldüğü gibi çalışma noktası sağ tarafta ise, ($dI/dV < -I/V$) MPP’ye ulaşmak için PV geriliminin düşürülmesi gerekir. Ortam koşulları ve MPP’deki değişimlere bağlı olarak dI değeri bir değişim gözlenir ise algoritma MPP noktasına ulaşana kadar çalışma gerilimini artırır veya azaltır.[15], [16]

Bu algoritma, PV verimliliğini artırmak ve güç kaybını azaltmak için kullanılabilir.[17] MPP noktasında P&O algoritmasına göre daha az salınım yapmaktadır.[18] IC algoritması hesap işlemleri, P&O algoritmasına göre daha uzun sürmektedir bundan dolayı değişen ortam koşullarına tepkisi P&O algoritmasından daha yavaş gerçekleşir.[19] Şekil 3’te IC algoritmasının akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 3. IC akış diyagramı

IC algoritması hızlı değişen çevre koşullarına cevap vermekte yetersiz kalmaktadır. Kısmi gölgeleme durumunda oluşacak farklı MPP noktalarından en büyük olanına değil, en yakın olanına giderek güç kaybına sebep olmaktadır. Ayrıca MPP noktasına ulaşma hızı adım büyüklüğüne bağlıdır. Daha büyük adım seçerek hızlı MPP yakalama sağlanabilse de bu durumda maksimum güç noktasında salınımların artmasına sebep olmaktadır. [20]

C. Takip Verimliliği

Takip verimliliği gerçek güç olarak verilen elektrik enerjisinin teorik güce oranı olarak tanımlanır. Güç kayıpları ne kadar az olursa, gücün çıkışı ve verimliliği o kadar yüksek olur. MPPT

algoritmaları, aynı çalışma koşullarında birbirlerinden farklı başarımlar gösterirler. Bu nedenle, farklı çalışma koşulları altında belirli bir MPPT kontrol algoritmasının başarımlarını ölçmek ve diğer MPPT algoritmalarıyla kıyaslamak için çoğunlukla takip verimliliği olarak adlandırılan bir parametreye ihtiyaç vardır. [21],[22]

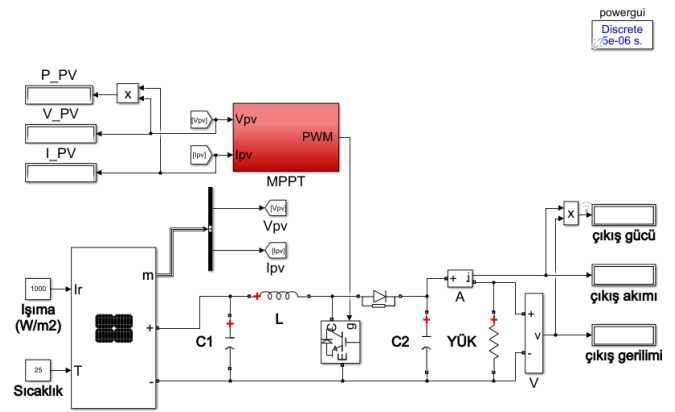
D. DC-DC Dönüştürücüler

DC-DC dönüştürücüler, regüle edilmemiş DC bir voltajı, regüle edilmiş DC bir voltaj seviyesine dönüştürmek için kullanılır. DC-DC dönüştürücülerin çıkış gerilimi değerlerini azaltan, arttıran ve azaltan-arttıran gibi çeşitleri bulunmaktadır.[23]

MPPT algoritmalarının amacı, dönüştürücü devresinde bulunan yarı iletken anahtarlama elemanı kontrol edecek görev periyodunu belirleyip çıkış gücündeki kayıpları azaltmaktır.

III. BULGULAR

PV sistemlerde MPPT’nin farklı ışımaya koşullarında maksimum gücü aktif ve doğru bir şekilde takip ettiğini göstermek için IC MPPT yöntemi ve P&O MPPT karşılaştırılmıştır. MPPT, farklı ışımaya koşulları altında maksimum gücü takip etmelidir. Bu sayede güç kayıpları azaltılmaktadır. Matlab/Simulink kullanılarak yapılan MPPT kontrolü Şekil 4’te ve simülasyon sonuçları Tablo 2 ve Tablo 3’te verilmiştir.



Şekil 4. MPPT kontrol

Tablo 2. Farklı Işıma Değerlerinde Simülasyon Sonuçları

25°C'de	Pin	Pout	Verim(η)
	P&O		
1000W/m ²	25.52W	24.25W	%95
800W/m ²	20.33W	19.2W	%94,4
600W/m ²	15.2W	14.3W	%94
IC			
1000W/m ²	25.2W	24.1W	%95,6
800W/m ²	20.3W	19.2W	%94,6
600W/m ²	15.14W	14.3W	%94,5

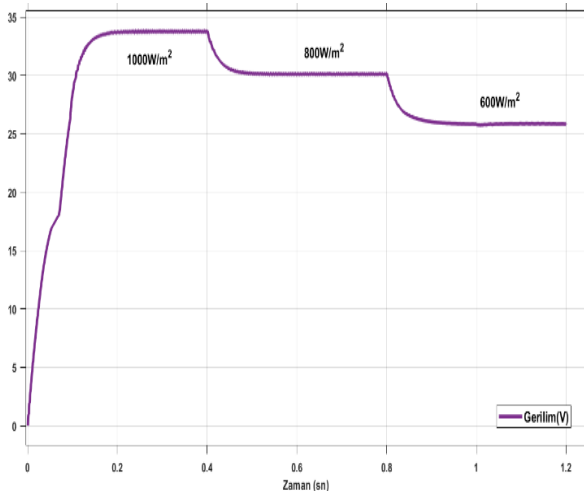
Tablo 2'de verilen simülasyon sonuçları 1000W/m², 800W/m², 600W/m² ışına değerlerinde ve stabil 25°C sıcaklık değerinde elde edilmiştir.

Tablo 3. Farklı Sıcaklık Değerlerinde Simülasyon Sonuçları

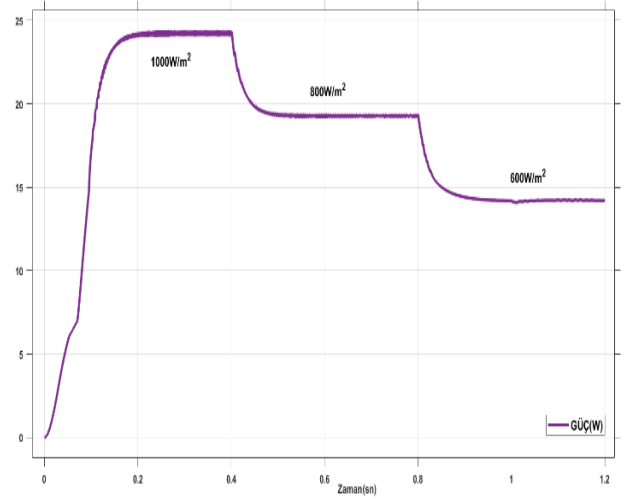
1000W/m ²	Pin	Pout	Verim(η)
	P&O		
60°C	21.9W	20.8W	%95
40°C	24W	22.8W	%95
15°C	26.54W	25.3W	%95,3
IC			
60°C	23.45W	22.23W	%94,3
40°C	23.96W	22.73W	%94,8
15°C	26.5W	25.2W	%95,1

Tablo 3'te verilen simülasyon sonuçları 60°C, 40°C, 15°C sıcaklık değerlerinde ve stabil 1000W/m² ışına değerinde elde edilmiştir.

P&O tabanlı MPPT algoritmasına ait gerilim ve güç grafikleri sırayla Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir. 1000W/m², 800W/m² ve 600W/m² ışına değerlerindeki gerilim ve güç çıkışları maksimum güç noktasını aktif bir şekilde takip etmektedir.

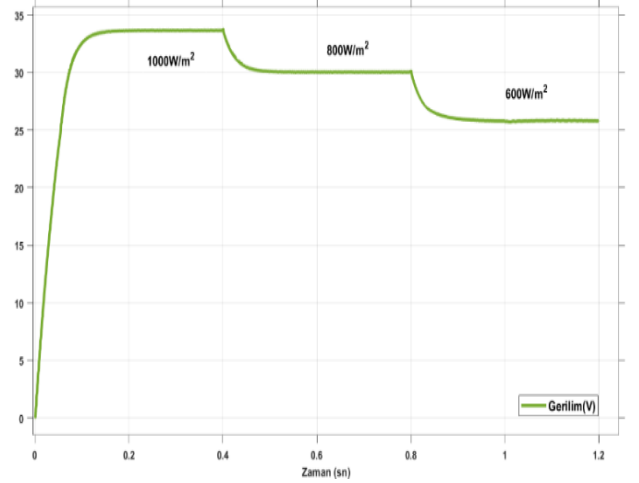


Şekil 5. P&O MPPT yöntemi gerilim çıkış değerleri

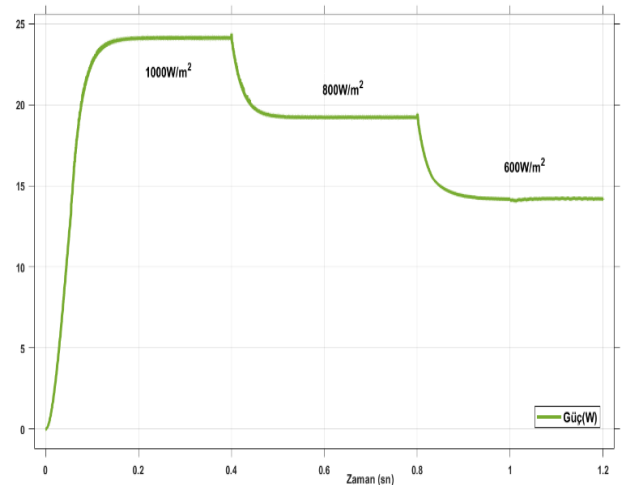


Şekil 6. P&O MPPT yöntemi güç çıkış değerleri

IC tabanlı MPPT algoritmasına ait gerilim ve güç grafikleri sırayla Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 7. IC MPPT yöntemi gerilim çıkış değerleri



Şekil 8. IC MPPT yöntemi güç çıkış değerleri

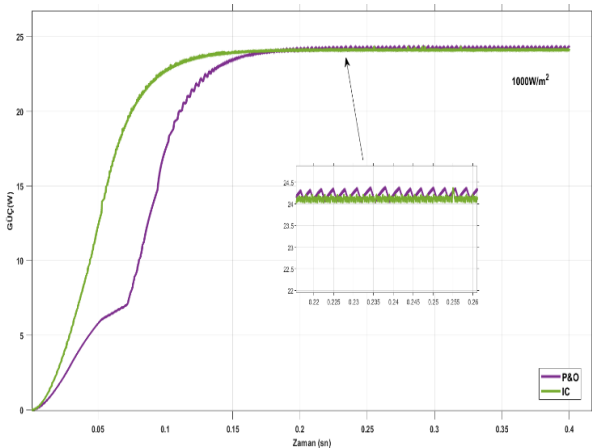
IC tabanlı MPPT algoritması, 1000W/m², 800W/m² ve 600W/m² ışımaya değerlerindeki gerilim ve güç çıkışları maksimum güç noktasını aktif bir şekilde takip etmektedir.

IV. TARTIŞMA

Yapılan çalışmada, PV sistemler için maksimum güç noktası değerlerine en yakın sonucu elde etmek amacıyla Matlab/Simulink ortamında P&O ve IC MPPT algoritmaları ile simülasyon çalışması yapılmıştır. 25°C sıcaklık değerinde, ışımaya değeri değişken olduğunda IC algoritması, P&O algoritmasına göre yüksek ışımaya seviyelerinde daha etkili olmuştur. 1000W/m² ışımaya değerinde, değişken sıcaklık durumunda ise P&O algoritması IC algoritmasından verimin daha yüksek olduğu görülmüştür. Her iki MPPT algoritmasında da sıcaklık değerinin artması, verimin azalmasına sebep olmuştur. Gelecek çalışmalarda bu uygulamaların geliştirilmesi veya farklı MPPT yöntemleriyle hibrit bir uygulama yapılarak oluşan dezavantajların giderilmesi sağlanabilir.

V. SONUÇLAR

Matlab/Simulink'te yapılan simülasyon sonuçlarına göre farklı ışımaya değerleri altında IC algoritması P&O algoritmasından daha hızlı cevap vermektedir. 25°C sıcaklık ve 1000W/m² ışımaya değerleri altında IC algoritması 0.16sn'de, P&O algoritması 0.22sn'de MPP noktasını yakalamaya başladığı gözlemlenmiştir. MPP çalışma noktasında IC algoritmasının P&O algoritmasından daha az salınım yaptığı Şekil 9'da gösterilmiştir. Ayrıca her iki algoritmanın da güç kayıplarını azalttığı gözlemlenmiştir. Her iki yöntemde de iyi bir başarımla elde edilmiştir.



Şekil 9. P&O ve IC güç çıkış değeri karşılaştırması

KAYNAKLAR

- [1] R. R. Bholane ve P. S. Babu, "Grid connected pv system using fb-pso", *International Conference On Smart Electric Drives S& Power System*, 2018.
- [2] E.Koç ve K.Kaya " Enerji kaynakları-yenilenebilir enerji durumu", *Mühendis ve Makina*, cilt 56, sayı 668, s. 36-47, 2015.
- [3] E. Köse, "Fotovoltaik sistemlerin maksimum güç noktasında çalıştırılması", *Dünya Multidisipliner Araştırma Dergisi*, s. 8-27,2018.
- [4] 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*, cilt 11, sayı 1, s. 316-327,2019.
- [5] M. A. Özçelik ve A. S. Yılmaz, "Fotovoltaik sistemlerde maksimum güç noktası izleyicisinin verimliliğe etkisi", *TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası V. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu*, 2013.
- [6] A.R. Jordehi, "Maximum Power Point Tracking In Photovoltaic (PV) Systems: A Review Of Different Approaches", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, cilt 65, s.1123-1138, 2016.
- [7] G. N. Arpacı, H. Gözde ve M.C. Taplamacıoğlu, "Design And Comparison Of Perturb & Observe And Fuzzy Logic Controller In Maximum Power Point Tracking System For Pv System By Using Matlab/Simulink", *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, cilt 3, sayı 1, s. 66-71, 2019.
- [8] R. Alik, T. Sutikno ve A. Jusoh, "A Review On Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking In Photovoltaic System", *Telecommunication Computing Electronics and Control*, 13(3):745, 2015.
- [9] A. Elmelegi ve E. M. Ahmed, "Study of Different PV Systems Configurations Case Study: Aswan Utility Company", *17th International Middle-East Power Systems Conference*, 2015.
- [10] K. Ayten ve M. M. Savrun, "Maximum Power Point Tracking Performance Benchmarking Of High Step-Up Dc-Dc Converters", *Osmaniye Korkut Ata University Journal of The Institute of Science and Technology* 5(3), s. 1308-1319, 2022.
- [11] T. K. Behera, M. K. Behera ve N. Nayak, "Spider Monkey Based Improve P&O MPPT Controller for Photovoltaic Generation System", *IEEE International Conference on Technologies for Smart-City Energy Security and Power*, 2018.
- [12] O. Deveci ve C. Kasnakoğlu, "Farklı Atmosferik Koşullarda Maksimum Güç Noktasında ve Sabit Gerilimde Çalışan Bir Fotovoltaik Sistemin Tasarımı ve Kontrolü", *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*, 2015.
- [13] S. H. S. Ahmadi, M.Karami, M.Gholami, R. Mirzaei, "Improving Mpppt Performance In Pv Systems Based On Integrating The Incremental Conductance And Particle Swarm Optimization Methods", *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering*, cilt 46, s. 27-39, 2021.
- [14] P. Mazaheri Salehi ve D. Solyali, "Click Here, Type The Title Of Your Paper, Capitalize First Letter Of Each Words", *Journal of Solar Energy Research*, cilt 3, sayı 2, s.123-133, 2018.

- [15] L. Shang, H. Guo ve W. Zhu, "An Improved Mpppt Control Strategy Based On Incremental Conductance Algorithm", *Shang et al. Protection and Control of Modern Power Systems*, 2020.
- [16] [16] R. Ika Putri, S. Wibowo ve M. Rifa'i, "Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Using Incremental Conductance Method", *2nd International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application*, 2015.
- [17] H. Siva ve S. Balaraman, "Step Incremental Conductance Mpppt For Solar Pv System Based On Fuzzy Logic Controller", *Journal of Trends in Computer Science and Smart Technology*, 2022.
- [18] M. Lüy, F. Türk ve N. A. Metin, "Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası Takibi İçin Değiştir –Gözle, Artan İletkenlik Ve Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmalarının Karşılaştırılması", *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, cilt 13, sayı 3, 2021.
- [19] U. Badak ve A. B. Yıldız, "Maksimum Güç Noktası İzleyici Algoritmalarının Verim, Salınım Miktarı Ve Yakınsama Süresi Açısından Karşılaştırılması", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, sayı 21, s. 463-472, 2021.
- [20] A. Loukriz, M. Haddadi ve S. Messalti, "Simulation and Experimental Design Of A New Advanced Variable Step Size Incremental Conductance Mpppt Algorithm For Pv Systems", *ISA Transactions*, cilt 62, s. 30-38, 2016
- [21] J. M. Enrique, J. M. Andujar ve M. A. Bohorquez, "A Reliable, Fast and Low-Cost Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Applications," *Solar Energy*, cilt 84, sayı 1, s. 79–89, 2010.
- [22] C. Lupangu, A. K. Saha, R. C. Bansal ve J. J. Justo, "Critical Performance Comparison Between Single-Stage And Two-Stage Incremental Conductance Mpppt Algorithms For Dc/Dc Boost-Converter Applied In Pv Systems", *Electric Power Components and Systems*, 50(4-5), s. 207-222, 2022.
- [23] I. Y. Fawzy, Y. S. Mohammed, E. G. Shehata, M. Abd El Sattar, "A Modified Perturb and Observe Technique for Mpppt of Integrated Pv System Using Dc-Dc Boost Converter", *Journal of Advanced Engineering Trends*, cilt 40, sayı 1, 2021.