



Bataryalı PV Sistemlerde Maksimum Güç Noktası Takip Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Nihan Altıntaş^{1*}, Ahmet Yılmaz², Alparslan Demirci³, Said Mirza Tercan⁴

^{1*} Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6567-7675), naltin@yildiz.edu.tr

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9359-6434), ahmetymz23yilmaz@gmail.com

³ Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1038-7224), ademirci@yildiz.edu.tr

⁴ Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1663-713X), stercan@yildiz.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 11 Mart 2020 ve Kabul Tarihi 25 Ocak 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.702393)

ATIF/REFERENCE: Altıntaş, N., Yılmaz, A., Demirci, A. ve Tercan, S.M. (2021). Bataryalı PV Sistemlerde Maksimum Güç Noktası Takip Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 369-377.

Öz

Son yıllarda alternatif enerji sistemlerine olan ilginin artmasına paralel olarak güneş enerjisi sistemlerinin kullanımı da artmaktadır. Genellikle evlerin çatılarına kurulan küçük güçlü bu sistemler PV (Photovoltaic, Fotovoltaik) panellerden oluşur. PV sistemlerde üretilen enerji, güneş ışınlarının açısı, hava sıcaklığı, rüzgâr gibi birçok parametreye bağlıdır. Bu nedenle PV sistemlerin akım-gerilim karakteristikleri doğrusal olmayıp verimleri belirtilen bu parametrelere bağlı olarak değişir. PV panellerinden maksimum verim elde edebilmek için maksimum güç noktası takip (MGNT) yöntemlerinin kullanılması zorunlu hale gelmiştir. Bu çalışmada literatürde en çok kullanılan gradient tabanlı yöntemler arasından değiştir&gözle (DG) ve artımlı iletkenlik (Aİ) yöntemleri, pasif yöntemler arasından ise sabit gerilim (SG) ve açık devre gerilimi (ADG) yöntemleri seçilmiş ve detaylı olarak incelemiştir. Modellemeler ve simülasyonlar MATLAB® Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. MGNT yöntemlerinin performanslarını karşılaştırmak için Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşkesinde yapılan ölçümler ile elde edilmiş değişken ışımaya değerleri kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Maksimum güç noktası takibi, değiştir&gözle, artımlı iletkenlik, sabit gerilim, açık devre gerilimi.

Comparison of Maximum Power Point Tracking Methods in Battery PV Systems

Abstract

In recent years, using of solar energy systems has been increasing in parallel with the growing interest in alternative energy systems. These systems, usually installed on the roofs of the houses, consist of solar Photovoltaic (PV) panels. The energy produced in PV systems varies depending on many parameters such as angle of sun rays, temperature and wind. Therefore, the current-voltage characteristic of PV systems is not linear and their efficiency varies depending on each parameters. It is necessary to use maximum power point tracking (MPPT) methods to obtain maximum efficiency. In this study, the most commonly used in the literature as gradient based MPPT methods which are perturb&observe (PO) and incremental conductance (IC), as passive methods which are constant voltage (CV) and open circuit voltage (OCV) are selected and detailly examined. Modelling and simulations were realized in MATLAB® Simulink environment. Variable irradiance values obtained in Yıldız Teknik University Davutpaşa Campus were used to compare performances of MPPT methods.

Keywords: Maximum power point tracking, perturb&observe, incremental conductance, constant voltage, open circuit voltage.

* Sorumlu Yazar: naltin@yildiz.edu.tr

1. Giriş

Son yıllarda yenilenebilir enerji sistemleri, içinde yaşadığımız evrenin yaşanılabilir kalması için ortaya çıkmış çevreci bir alternatiftir. Kurulum maliyetlerinin uygun ve entegrasyonunun kolay olmasıyla güneş enerjisine ilgi hızla artmaktadır. Fosil yakıtların azalması ve çevre sorunlarının giderek artması sebebiyle yenilenebilir enerji sistemlerine yönelişin giderek artacağı öngörülmektedir. Bununla birlikte günümüzde güneş enerjisi ile üretilen enerjinin hala dünyanın enerji üretiminde küçük bir paya sahip olduğu görülmektedir.

Güneş enerjisi dönüşüm sistemleri şebekeye entegreli veya şebekeden bağımsız olarak gerçekleştirilebilmektedir [1]. Her iki sistemde de panellerin toplam gücü arttıkça panellerin maksimum güç noktasında çalışmasının önemi artar. Çünkü PV sistemler doğrusal olmayan elektriksel özelliklere sahiptir. Sıcaklık, rüzgâr, ışımaya gibi atmosferik hava olaylarına bağlı olarak panellerin akım ve gerilimleri değişiklik gösterir. MGNT kontrol algoritmaları, PV panellerin akım ve gerilimlerini takip ederek panellerin çıkış gücünün maksimum olmasını sağlamak üzere dönüştürücünün darbe genişlik modülasyonu (PWM) oranını düzenler [2].

Güneş enerjisini daha verimli kullanabilmek için birçok MGNT algoritması ve yöntemi geliştirilmiştir [3]–[10]. MGNT yöntemleri kontrol stratejisine ve kullanılan sensör sayısına göre iki başlık altında sınıflandırılır. Kontrol stratejisine göre; gradient tabanlı, pasif (dolaylı) ve tahminsel MGNT yöntemleri mevcuttur. Kullanılan sensör sayısına göre; tek sensörlü ve iki sensörlü MGNT yöntemleri bulunmaktadır [11]. Tablo 1’de literatürdeki MGNT yöntemleri ile ilgili çalışmaların detaylı bir özeti verilmiştir. Bu tabloda MGNT yöntemleri, sıcaklık ve

ışımaya değerleri, deneysel veri kullanılıp kullanılmadığı, karmaşıklık, kullanılan sensör (akım, gerilim) sayısı, maliyet, verim ile fiyat/performans gibi özellikler açısından incelenmiştir.

Sonuç olarak literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, deneysel verilerin kullanıldığı, üretim karmaşıklığı az olan, minimum sayıda sensör kullanılan, maliyetin düşük olduğu ve yüksek sistem verimine sahip MNGT yöntemleri öne çıkmaktadır. Bu çalışmada İstanbul ili Esenler ilçesine ait gerçek ışımaya verileri kullanılarak, öne çıkan aktif ve pasif MGNT yöntemlerinden değiştirilme (DG), artımlı iletkenlik (Aİ), sabit gerilim (SG) ve açık devre gerilimi (ADG) yöntemlerinin performansları karşılaştırılmıştır. PV panel çıkışına bağlanan düşürücü DC-DC dönüştürücü devresi ile çıkış gerilimi sabit tutulmuştur. Dönüştürücü çıkışında bulunan batarya sabit gerilim altında şarj edilmiştir.

Bu çalışmada özetle, Bölüm 2’de PV sistemlerin çalışma prensibi ile temel özellikleri ve MGNT’nin önemi açıklanmıştır. Bölüm 3’te MGNT yöntemlerini aynı şartlar altında karşılaştırmak amacı ile 12 V’luk bataryayı şarj edebilen DC-DC düşürücü dönüştürücünün tasarımı yapılmıştır. Bölüm 4’te, PV sistemlerde kullanılan dört adet MGNT Yöntemi incelenmiştir. Bölüm 5’te, MGNT Yöntemleri sabit 25°C sıcaklıktaki değişken ışımaya değeri için MATLAB® Simulink programı kullanılarak modellenmiş ve yöntemler aynı şartlar altında karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, bu çalışmada PV sistemlerde en çok kullanılan gradient tabanlı ve pasif MGNT yöntemlerinin sabit sıcaklık ve değişken ışımaya değeri için simülasyonları yapılmış ve teorik olarak hesaplanan maksimum güce yaklaşıma performansları karşılaştırılmıştır.

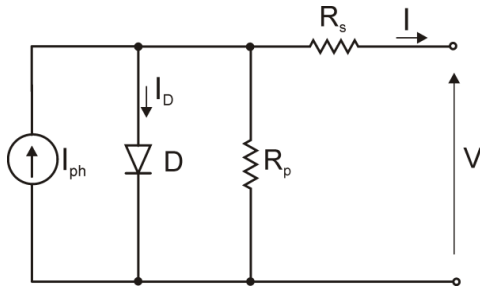
Tablo 1. MGNT yöntemleri

REF.	MGNT yöntemi	Sıcaklık	Işımaya	Deneysel veri kullanımı	Üretim karmaşıklığı	Kullanılan Sensör	Maliyet	Verim (%)
[3]	Yeni yöntem	Dikkate alınmamış	Değişken	Evet	Orta	V	Ucuz	92.00
[4]	DG	Değişken	Değişken	Hayır	Orta	V, I	-	-
[5]	DG Fuzzy	Sabit	Değişken	Hayır	Orta Çok	V, I V, I	-	-
[6]	DG Aİ Fuzzy	Dikkate alınmamış	Değişken	Hayır	Orta Orta Çok	V, I V, I V, I	-	-
[7]	SG ADG DG Mod. DG Aİ Fuzzy YSA	Dikkate alınmamış	Dikkate alınmamış	Hayır	Az Az Orta Çok Orta Çok Çok	V I V, I V, I V, I V ya da I	Ucuz Ucuz Pahalı Pahalı Pahalı Pahalı	-
[9]	SG DG Aİ	Değişken	Değişken	Evet	Az Orta Orta	V V, I V, I	Ucuz Pahalı Pahalı	91.88 91.42 93.83
[12]	Aİ	Değişken	Değişken	Evet	Orta	V, I	Pahalı	96.60

2. Fotovoltaik Sistemler

Güneşten gelen fotonları elektrik enerjisine dönüştürmek için PV paneller tasarlanmıştır. PV panellerin çalışma prensibi p-n ekleminden oluşan diyotların çalışma prensibine benzer. Güneş ışınlarından gelen fotonlar sayesinde N tipi bölgede bulunan fazla elektronlar, elektron eksikliği bulunan P tipi bölgeye doğru hareket ederler ve bunun sonucunda bir elektrik akımı oluşur. Güneş enerjisi bu sayede doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülür. PV paneller birçok seri veya paralel hücrenin yan yana gelmesiyle oluşturulur.

Şekil 1’de PV hücrenin elektriksel modeli verilmiştir. PV hücresi, ideal bir akım kaynağı ile paralel diyottan oluşur ve PV hücrenin maruz kaldığı güneş ışınımına orantılı bir akım sağlar. Elektriksel modelde V çıkış gerilimi, I_{ph} foton akımı sabit bir kaynak olarak gösterilmektedir. Devre seri bağlı bir direnç (R_s), paralel bağlı bir direnç (R_p) ve bir diyottan (D) oluşmaktadır. PV panelin elektriksel eşdeğer modeli I çıkış akımına bağlıdır.



Şekil 1. PV hücrenin elektriksel modeli [8]

Bir PV hücreni tanımlarken kısa devre akımı I_{kd} ve açık devre gerilimi V_{ad} parametreleri hayati önem taşır. Kısa devre durumunda diyot gerilimi $V_d=0$ olur. Bu durum, ideal akım kaynağındaki tüm akımın kısa devre terminalerinden geçtiği anlamına gelir. I çıkış akımı;

$$I = I_{kd} - I_D \quad (1)$$

I_D diyot akımı aşağıdaki gibi bulunur.

$$I_D = I_s \times \left(e^{\frac{qV \times d}{k \times T}} - 1 \right) \quad (2)$$

Burada; I_s ters doyum akımını, V_d diyot gerilimini ve T ise jonksiyon sıcaklığını göstermektedir. q elektron şarj sabiti ve k Boltzmann sabiti katsayıları $1.6 \times 10^{-19}C$ ve $1.38 \times 10^{-23}J/K$ olarak alınmıştır. Sabit bir T sıcaklığındaki I_s ters doyum akımı aşağıdaki formülden bulunur.

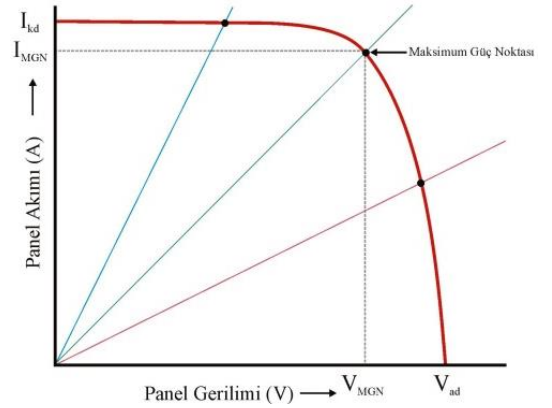
$$I_s = \frac{I_{kd}}{e^{\frac{qV \times d}{k \times T}} - 1} \quad (3)$$

I_D diyot akımı, (1) numaralı denklemde yerine konursa PV hücresinin akım gerilim arasındaki bağlantıyı verir.

$$I = I_{kd} - I_s \times \left(e^{\frac{q \times (V + I \times R_s)}{k \times T}} - 1 \right) - \frac{V + I \times R_s}{R_p} \quad (4)$$

Şekil 2’de PV hücrenin gerilim akım karakteristiği görülmektedir. Maksimum Güç Noktasında (MGN), panel akımı (I_{MGN}) ve panel gerilimi (V_{MGN}) maksimumdur. PV hücrenin maksimum güç çıkışı $P_{max} = I_{MGN} \times V_{MGN}$ şeklindedir. Bu çalışmada kullanılacak PV panelin elektriksel özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

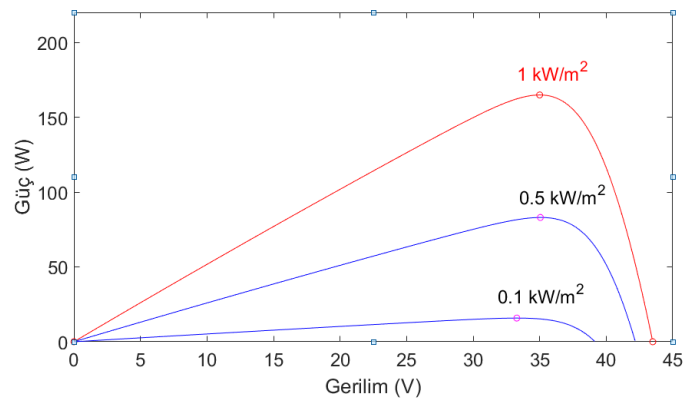
Şekil 3’de, seçilen panelin $25^\circ C$ ’deki $1000 W/m^2$, $500 W/m^2$ ve $100 W/m^2$ için ışımaya değerlerine ait gerilim güç karakteristiği verilmiştir. Şekil 4’te sabit $1000 W/m^2$ için değişken sıcaklıklarda panelin vermesi beklenen gerilim-güç değerleri verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi sıcaklık değişiminin güce etkisi ihmal edilebilecek kadar azdır.



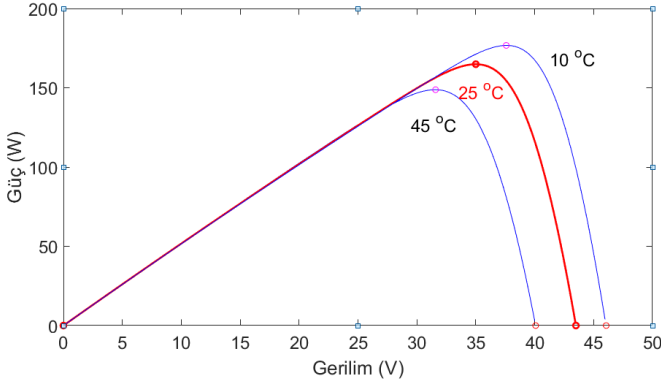
Şekil 2. PV hücrenin gerilim akım karakteristiği

Tablo 2. Aavid Solar Panel (ASMS-165P)

Maksimum Güç	$P_{max} = 164.85W$
Açık Devre Gerilimi	$V_{ad} = 43.5 V$
Kısa Devre Akımı	$I_{kd} = 5.25 A$
MGN Gerilimi	$V_{MGN} = 35 V$
MGN Akımı	$I_{MGN} = 4.71 A$



Şekil 3. Farklı ışımaya değerleri için gerilim-güç grafiği

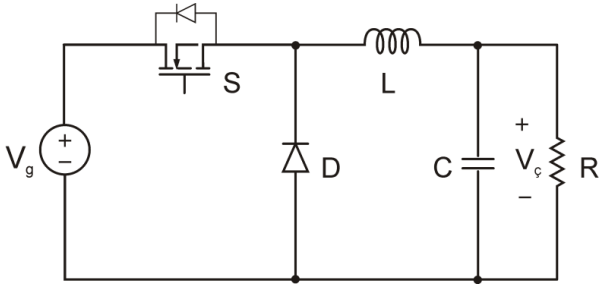


Şekil 4. Farklı sıcaklık değerleri için gerilim-güç grafiği

3. DC-DC Dönüştürücünün Tasarımı

Bu çalışmada kullanılacak PV panelin verebileceği maksimum güç çıkışı yaklaşık olarak 164.85W ve maksimum gerilim değeri de 35V'dur. Batarya şarjı için PV gerilimi 12V seviyesine DC-DC dönüştürücü ile düşürülecektir. Dönüştürücünün çıkış akımındaki dalgalanma en fazla 1A ve çıkış gerilimindeki dalgalanma ise en fazla 0.4V olacak şekilde devre tasarlanacaktır. Ayrıca eleman boyutlarının küçük olması için dönüştürücünün anahtarlama frekansı 20 kHz seçilmiştir.

Düşürücü DC-DC dönüştürücü devre şeması Şekil 5'de verilmiştir. Düşürücü türdeki DC-DC dönüştürücüler giriş geriliminin altında bir çıkış gerilimi elde etmek için kullanılır. Bu devrede S anahtarlama elemanı olarak MOSFET kullanılmıştır. Çıkış gerilimini filtrelemek için yüke paralel C çıkış kondansatörü, çıkış akımını filtrelemek için de yüke seri bağlı L çıkış endüktansı kullanılmıştır. Burada anahtarlama elemanı iletimde iken V_g giriş gerilimi hem L endüktansını hem de R yükünü besler. S anahtarlama elemanı kesimde iken L endüktansında depo edilen enerji R yükünü beslemeye devam eder [13].



Şekil 5. Düşürücü DC-DC dönüştürücü genel devre şeması [13]

Simülasyonları gerçekleştirmek üzere devrede kullanılması gereken kondansatör ve endüktans değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır. Bu hesaplamalarda devredeki elemanlar ideal kabul edilerek, devre kayıpları ihmal edilmiştir.

Düşürücü DC-DC dönüştürücülerin giriş ve çıkış gerilimleri arasında bağlı iletim süresine (λ) bağlı ifade aşağıda verilmiştir.

$$V_c = \lambda \times V_g \quad (5)$$

Giriş ve çıkış gerilimleri yerine konulduğunda bağlı iletim süresi 0.42 olarak hesaplanır. Çıkış kondansatörü (C); çıkış akımındaki dalgalanma miktarı (ΔI_c), anahtarlama frekansı (f) ve çıkış gerilimindeki dalgalanma miktarı (ΔV_c)'ye bağlı olarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$C = \frac{\Delta I_c}{8 \times f \times \Delta V_c} \quad (6)$$

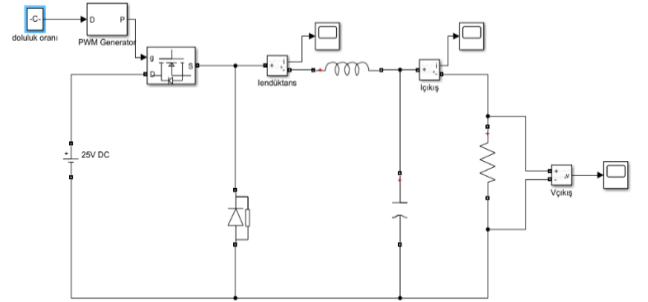
(6) nolu ifadeye değerler yerine konduğu takdirde kondansatör değeri 15.62 μ F olarak bulunur.

Endüktans değeri (L); bağlı iletim süresi (λ), giriş gerilimi (V_g), anahtarlama frekansı (f) ve çıkış akımındaki dalgalanma miktarına (ΔI_c)'ye bağlı olarak aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$L = \lambda \times (1 - \lambda) \times \frac{V_g}{f \times \Delta I_c} \quad (7)$$

(7) nolu ifadeye değerler yerine konduğu takdirde endüktans değeri 426.3 μ H olarak bulunur. Simülasyon devresinde çıkış gerilim ve akımındaki dalgalanmaların daha az olması için L ve C değerleri sırasıyla 0.5mH ve 100 μ F olarak seçilmiştir.

Şekil 6'da, hesaplanan devre parametrelerine göre MATLAB simulink ortamında gerçekleştirilen devre şeması verilmiştir. Bu çalışmada incelenen MGNT yöntemleri aynı şartlar altında Şekil 6'daki devre kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



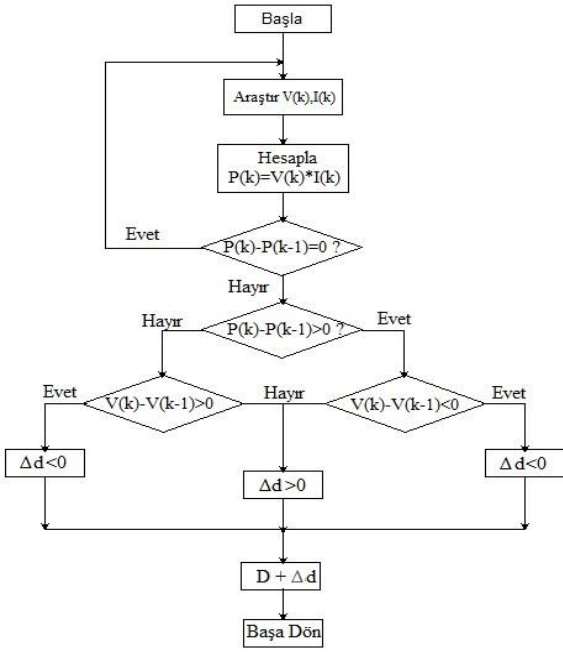
Şekil 6. MATLAB simulinkte gerçekleştirilen devre

4. Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası Takip Yöntemleri

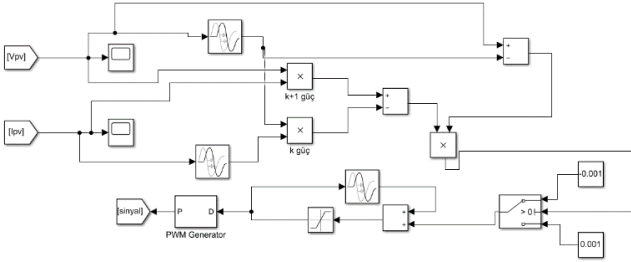
4.1. Değiştir&Gözle Yöntemi

DG yönteminde PV gerilimi ve akımı, akım ve gerilim sensörleri kullanılarak ölçülür ve elde edilen güç P_{k-1} hesaplanır. Ardından gerilimde ΔV kadarlık bir fark tanımlanır ve bu yeni durum için P_k hesaplanır. Eğer P_{k-1} , P_k 'den büyük ise maksimum noktaya yaklaşılmaktadır. Aynı yönde gerilim arttırılmaya devam edilir. P_k , P_{k-1} 'den büyük ise elde edilen güç maksimum güç noktasından uzaklaşmaktadır ve gerilimin düşürülmesi gerekir [14]. Şekil 7'deki DG algoritmasının akış diyagramının MATLAB simulinkte kurulan modeli Şekil 8'de verilmiştir. Bu modelde ilk olarak V_{pv} (panel gerilimi) ve I_{pv} (panel akımı) ölçülmektedir. Daha sonra $P=I.V$ formülünden güncel güç (P_k) hesaplanmakta ve akabinde P_k ile P_{k-1} farkı incelenmektedir. Eğer P_k , P_{k-1} değerine eşit ise kontrol döngüsü başa döner. Eğer P_k , P_{k-1} değerinden büyük veya küçük ise bu defa panelin gerilim değişimine bakılır. P_k , P_{k-1} 'den büyük ise ve V_k , V_{k-1} değerinden büyük ise doluluk oranı arttırılır. Eğer V_k , V_{k-1} değerinden küçük ise doluluk oranı azaltılır. Diğer taraftan P_k , P_{k-1} 'den küçük ise

ve V_k, V_{k-1} değerinden büyük ise doluluk oranı azaltılır. Eğer V_k, V_{k-1} değerinden küçük ise doluluk oranı artırılır.



Şekil 7. DG yönteminin algoritması [15]



Şekil 8. DG algoritmasının MATLAB simulink modeli

4.2. Artımlı İletkenlik Yöntemi

Aİ yöntemi değişken atmosfer koşullarında bile hızlı adaptasyon ve doğruluk gösterdiğinden dolayı yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde temel olarak direk güçteki değişimler kullanılır. PV panelin iletkenliği ($C = \frac{I}{V}$), sensörler yardımıyla çıkış akımı ve çıkış gerilimi ölçüldükten sonra hesaplanır. Daha sonra PV panelin iletkenliğindeki değişim ($\Delta C = \Delta I_p / \Delta V_p$) hesaplanır [12].

Şekil 9’da görüldüğü gibi PV panelin maksimum güç noktasındaki eğimi sıfırdır. Eğim MGN’nın sağında negatif, solunda ise pozitifdir [16]. Maksimum güç noktasında aşağıdaki denklemin sağlanması gerekir.

$$\frac{\Delta I_{pv}}{\Delta V_{pv}} + \frac{I_{pv}}{V_{pv}} = 0 \quad (8)$$

Yukarıdaki denklemin sağlanamaması durumunda aşağıdaki eşitlikler yazılır.

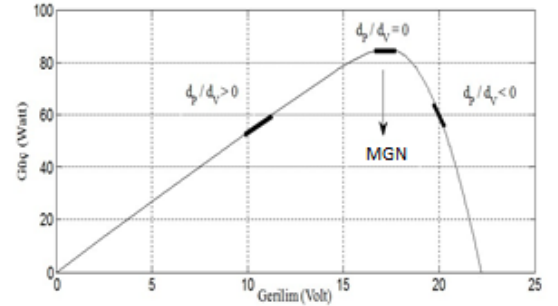
PV panel maksimum güç noktasının sağında çalışıyor ise;

$$\frac{\Delta I_{pv}}{\Delta V_{pv}} + \frac{I_{pv}}{V_{pv}} < 0 \quad (9)$$

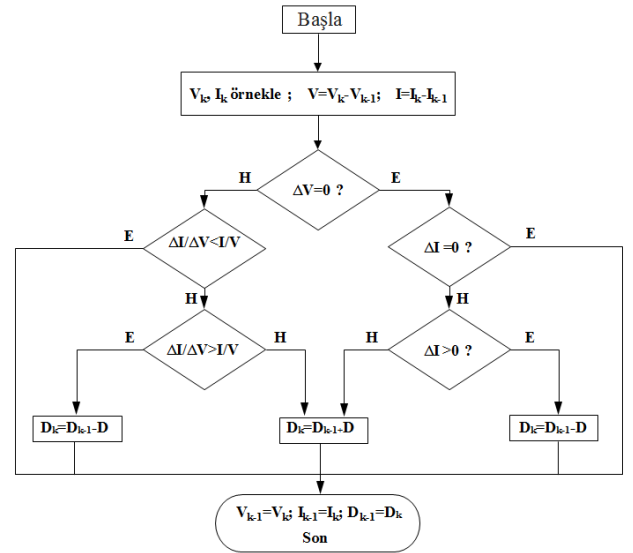
olmalıdır. PV panel maksimum güç noktasının solunda çalışıyor ise;

$$\frac{\Delta I_{pv}}{\Delta V_{pv}} + \frac{I_{pv}}{V_{pv}} > 0 \quad (10)$$

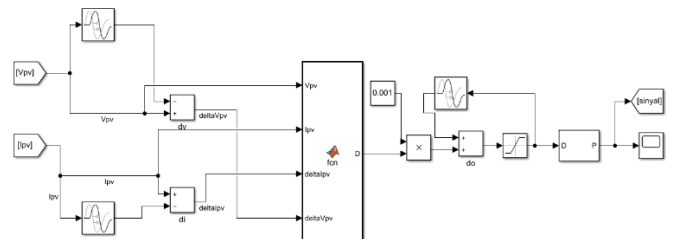
olmalıdır. Şekil 9’da Aİ Yönteminin çalışmasını yukarıdaki eşitliklerle beraber açıklayan güç gerilim eğrisi verilmiştir. Aİ yönteminin algoritması Şekil 10’da verilmiştir. Şekil 10’daki algoritmanın MATLAB simulink ortamında kurulan modeli Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 9. Aİ güç-gerilim eğrisi



Şekil 10. Aİ yönteminin algoritması [17]



Şekil 11. Aİ algoritmasının MATLAB simulink modeli

4.3. Sabit Gerilim Yöntemi

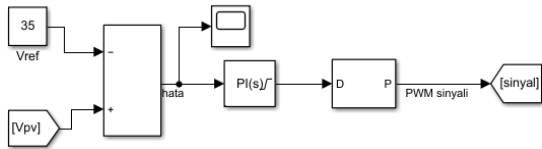
SG yöntemi maksimum güç noktasındaki gerilim ile açık devre gerilimi arasındaki oranın yaklaşık sabit olduğu esasına dayanmaktadır. Bu yöntem, tek sensör kullanması ve algoritmanın sadeliği nedeniyle MGNT yöntemleri arasında en basit olanıdır. Güneş paneli geçici olarak açık devre edilerek, açık devre gerilimi ölçülür. Bu yöntemde MGN gerilimi referans alınıp bir PI kontrolcü ile PV sistemi sürekli ve efektif bir şekilde maksimum güç noktasında tutulur [18].

Bu çalışmada PI kontrolörün değişkenleri olan K_p ve K_i değerleri Chien–Hrones–Reswick (CHR) metodu [19] kullanılarak belirlenmiştir. CHR yöntemi Ziegler-Nichols metodunun uyarlanmış halidir. CHR metodu PID parametrelerini ayarlamak için endüstride sıkça kullanılır. CHR tekniğinde PID parametrelerini belirlemek için zaman sabiti (T), gecikme zamanı (L) ve sabit bir çarpan (k) vardır [20]. Burada parametreleri ayarlamak için $a=k*L/T$ kullanılmaktadır. CHR tekniğinde gecikme zamanı kullanılarak hedef aşımının %0 ve %20 olması durumu için gerekli değerler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. CHR tekniğinde kullanılan K_p , K_i ve K_d değerleri

Hedef aşımı	0%			20%		
Kontrolör	K_p	K_i	K_d	K_p	K_i	K_d
PID	0.95/a	2.4L	0.42L	1.2/a	2L	0.42L
PI	0.6/a	4L	-	0.7/a	2.3L	-
P	0.3/a	-	-	0.7/a	-	-

Tablo 3 kullanılarak elde edilen K_p değeri 1.4 ve K_i değeri ise 0.006 olmuştur. Şekil 12'de SG yöntemi için hazırlanan PI kontrolör görünmektedir.



Şekil 12. SG yöntemi PI kontrolörü

Ayrıca, PI kontrolörü panel uçlarındaki açık devre gerilimi ve referans gerilimi arasındaki hata sinyalini düzenleyerek DC-DC dönüştürücünün λ bağıl iletim süresini belirlemek için kullanılır.

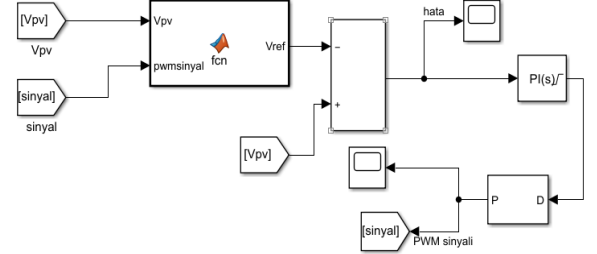
4.4. Açık Devre Gerilimi Yöntemi

PV panellerin açık devre gerilimi V_{ad} ile maksimum güç noktası gerilimi V_{MGN} arasında (11) nolu denklemde görüldüğü gibi doğrusal bir ilişki vardır.

$$V_{MGN} = k \cdot V_{ad} \quad (11)$$

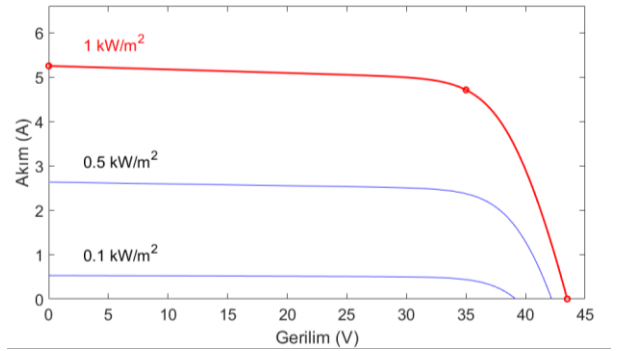
Burada k birden küçük bir katsayıdır ve genellikle 0.7 ile 0.9 arasında bir değer almaktadır. Bu çalışmada kullanılan ve Tablo 2'de elektriksel özellikleri verilen PV panel için k değeri 0.805 olarak hesaplanmıştır. Şekil 13'de ADG yöntemini incelemek için oluşturulan MATLAB simulink modeli görülmektedir. SG metodunda hesaplanan PI katsayıları ADG yönteminde de kullanılmıştır.

ADG yöntemi SG yöntemine benzemektedir. SG yönteminin gelişmiş versiyonudur. SG yönteminde olduğu gibi bu yöntemde de amaç PV panelin çıkış gerilimini bir PI kontrolör vasıtasıyla referans alınan gerilim değerinde tutmaktır. ADG tekniğinin SG tekniğinden farkı ise referans gerilim değerinin sürekli olarak güncellenmesidir [21].



Şekil 13. ADG yöntemi için oluşturulan MATLAB simulink modeli

Şekil 14'te simülasyonda kullanılan panelin farklı ışımaya değerleri için gerilim akım karakteristikleri verilmiştir. Şekil 14 ve Şekil 3'den görüldüğü üzere, ışınım değeri 500 W/m^2 'nin altına düştüğünde maksimum güç noktasının gerilim değeri değişmektedir. Bu sebeple ADG tekniği, MGN gerilimi değiştiği noktadan itibaren SG tekniğine göre daha iyi sonuç verir.

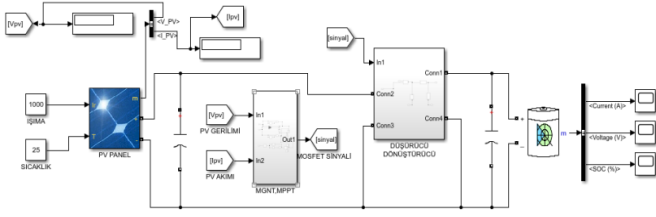


Şekil 14. Farklı ışımaya değerleri için gerilim akım karakteristiği

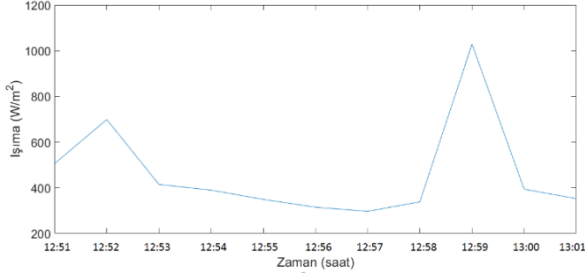
5. MGNT Yöntemlerinin Karşılaştırılması

5.1. Simülasyon Çalışması

Şekil 15'de simülasyon devresinin genel devre şeması görülmektedir. Simülasyon devresinde sırasıyla DG, Aİ, SG ve ADG yöntemleri kullanılarak çalıştırılmıştır. PV panelin girişine gerçek ölçülen sabit sıcaklık ve değişken ışımaya değeri girilmiştir. PV panelin çıkışından alınan gerilim ve akım değerleri MGNT bloğuna girer. Burda seçtiğimiz MNGT yönteminin algoritması uygulandıktan sonra çıkışta oluşan kontrol sinyali DC-DC dönüştürücünün anahtarlama elemanına uygulanmıştır. PV panel çıkışına bağlanan düşürücü dönüştürücü PV gerilimini batarya şarj gerilimine düşürerek, bataryayı sabit gerilimde şarj eder. Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa Yerleşkesinde 19 Eylül 2019 tarihinde yapılan 762 dakika süren ışımaya ölçümlerinin ortalaması 468 W/m^2 olarak hesaplanmıştır. Şekil 16'da gerçek ışımaya değerlerinin ortalaması ile aynı ortalamaya sahip olan saat 12:51 ile 13:01 saatleri arasındaki veriler alınmıştır. Ayrıca, verilen grafik çok aşamalı olduğundan MGNT tekniklerinin analizi yapılırken gerçeğe daha yakın sonuçlar alınabilecektir.



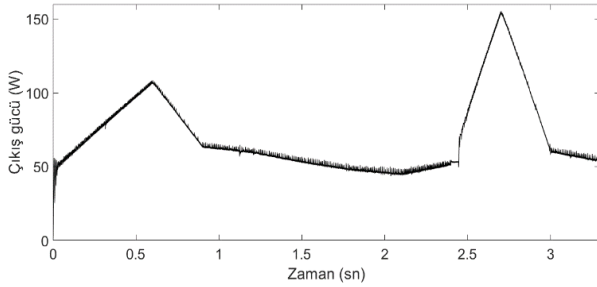
Şekil 15. Simülasyonun devre şeması



Şekil 16. Simülasyonda kullanılan ışıma

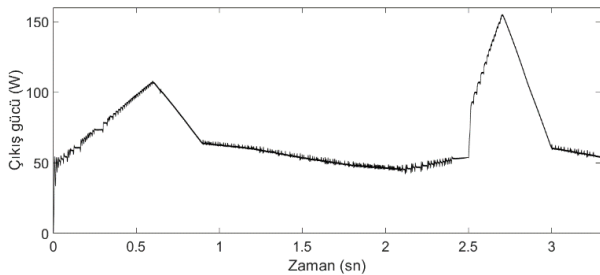
5.2. Simülasyon Sonuçları

Simülasyonlar, Şekil 16'da verilen ışıma verisine göre 25°C sabit sıcaklık değerinde, 3.3 sn. çalıştırılarak 1000 örnekleme alınarak yapılmıştır. Ayrıca Şekil 3'den görüleceği üzere ortalama 468 W/m² ışıma değeri için panelden alınabilecek maksimum çıkış gücü yaklaşık olarak 75.83 W'tır.



Şekil 17. DG çıkış gücü

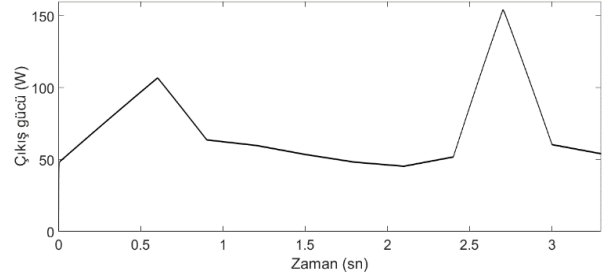
Şekil 17'de, DG tekniğine ait çıkış gücünün değişimi verilmiştir. Burada ortalama çıkış gücü 72.49 W olarak ölçülmüştür. Grafik incelendiğinde ilk olarak göze çarpan çıkış gücündeki küçük dalgalanmalardır. Bu dalgalanmalar, Şekil 10'daki algoritmaya dikkat edilirse DG tekniğinde güç değerine bağlı olarak düşürücü DC-DC dönüştürücünün λ doluluk oranının lineer olarak azaltılıp artırılmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 18. Aİ çıkış gücü

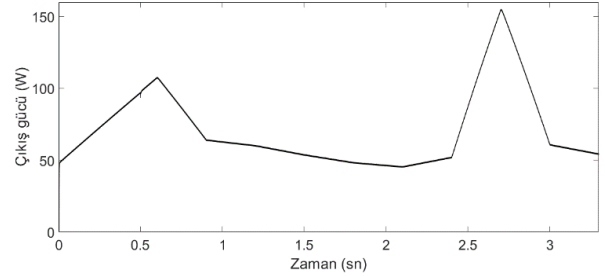
Şekil 18'de ışımanın sürekli değişmesine bağlı olarak Aİ yönteme ait çıkış gücünün değişimi verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yükte aktarılan güç 72.5 W olarak ölçülmüştür.

Burada aynı DG tekniğinde olduğu gibi küçük salınımlar mevcuttur. Bunun sebebi ise yine DG tekniğinde olduğu gibi λ doluluk oranının doğrusal olarak artırılıp azaltılmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 19. SG çıkış gücü

Şekil 19'da değişken ışıma değeri altında SG tekniğinden yükte aktarılan gücün zaman ile değişimi görülmektedir. Verilen grafikte ortalama çıkış gücü 68.97 W olarak ölçülmüştür. Burada çıkış gücünün grafiği daha az salınımlı olmasına rağmen ortalama çıkış gücü, DG ve Aİ yöntemlerine kıyasla daha düşük çıkmıştır. Denklem 11'den görüleceği gibi, PI kontrolör sabit bir gerilim noktasını takip etmektedir. Şekil 3' incelendiğinde ışıma değeri değiştiğinde MGN gerilim noktasında yer değiştirmektedir. Bu nedenden dolayı SG tekniğinde çıkışa aktarılan güç düşük çıkmıştır. PI kontrolörü kullanılmasından dolayı bu teknikte elde edilen grafikteki salınımlar diğer iki yöntemle göre daha az olmuştur.



Şekil 20. ADG çıkış gücü

Şekil 20'de yine aynı değişken ışıma değeri için ADG yönteminin zamana bağlı çıkış gücünün değişimi verilmiştir. Burada yükte aktarılan ortalama çıkış gücü 71.09 W olarak ölçülmüştür. SG tekniğinde olduğu gibi PI kontrolör kullanıldığından çıkış gücü salınımı çok azdır. ADG tekniği belirli aralıklarla denklem 11'e göre yeni MGN'ni aradığından elde edilen çıkış gücü SG gerilim tekniğine göre daha fazladır. Öte yandan DG veya Aİ gibi anlık olarak MGN yapmadığından yükte aktardığı güç de gradient tabanlı yöntemler olan Aİ ve DG tekniklerinden daha düşüktür.

Bu dört yöntem kullanılarak önerilen sistemin maksimum güç noktası takibi yapılmıştır. Simülasyonlarda kullanılan Aavid Solar ASMS-165P panelinden 25°C sabit sıcaklık ve ortalama 468 W/m² ışıma değeri için alınabilecek teorik maksimum çıkış gücü yaklaşık olarak 75.83 W'dır. Bu güç değeri, kayıpların ihmal edilmiş olma durumu yani devrenin ideal olma durumunda alınabilecek güç değeridir. Her bir yöntem için ayrı ayrı elde edilen maksimum güç değerleri bu teorik güç değerine oranlandığı takdirde, ilgili yöntemin verim değeri bulunmuş olur. MGN yöntemlerine ait ortalama çıkış güç değerleri ile hesaplanan verimler Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 4. MGNT yöntemlerinin karşılaştırılması

Kriter	Teorik Beklenti	MGNT yöntemleri			
		DG	Aİ	SG	ADG
Çıkış gücü (W)	75.83	72.49	72.50	68.97	71.09
Verim (%)	100	95.59	95.6	90.95	93.74

6. Sonuç

Enerji ihtiyacının giderek artmasıyla birlikte çevreci ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik artmaktadır. PV santrallerin küçük güçte kurulumu panel maliyetlerinin azalması ve kullanım kolaylığı nedeniyle yaygınlaşmaktadır. Güneş enerjisinin üretildiği PV panellerin birçok parametreden etkilenmesinden ötürü düşen verimlerinin kontrol edilerek artırılması için mekanik yöntemlerin yanısıra elektronik yöntemlerin de kullanımı gerekmektedir. Bu çalışmada, literatürde en çok kullanılan iki gradient tabanlı MGNT yöntemi olan Aİ ve DG yöntemleri ve iki pasif MGNT yöntemi olan SG ve ADG teknikleri verim ve çıkış gücü açısından incelenmiş ve değişken ışınım altında performansları kıyaslanmıştır. PV panel olarak 164.85 W gücünde ve MGN gerilimi 35 V olan bir panel kullanılmıştır. PV panellerden elde edilen çıkış gerilimi bataryanın şarj edilmesinde kullanmak için 12 V'a düşürülmüştür. Gerilimi ayarlamak için, şarj akımında 1 A, şarj geriliminde 0.4 V dalgalanmaya müsaade eden anahtarlama frekansı 20 kHz olan düşürücü DC-DC dönüştürücü tasarlanmıştır. MGNT yöntemlerinin herbiri tasarlanan dönüştürücü sayesinde MATLAB® Simulink programında modellenmiş ve yöntemlerin performansları sabit 25°C sıcaklıkta değişken ışınım değeri için karşılaştırılmıştır. Simülasyonlarda, 19 Eylül 2019 tarihindeki Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa yerleşkesinden alınan ve ortalaması 468 W/m² olan 762 dakikalık gerçek ışınım değerleri kullanılmıştır. Sonuçlara göre gradient tabanlı takip tekniklerinde kullanılan kontrol yönteminden dolayı çıkış gücündeki dalgalanma pasif yöntemlerinki ile kıyaslandığında daha yüksektir. Gradient tabanlı yöntemlerin maksimum güç noktasına yaklaşma performansları pasif yöntemlere göre daha iyidir. Bunun yanısıra PV panelden çekilen güç bakımından da gradient tabanlı yöntemlerin daha verimli olduğu gözlenmiştir.

Kaynakça

- [1] Z. Çelik, A. S. Yılmaz, and E. Sert, "Mikro Şebeke Bağlantılı Güneş Enerji Üretim Sistemlerinin Kontrolü," *KSU. J. Eng. Sci.*, vol. 18, no. 2, pp. 41–48, 2015.
- [2] O. Arıkan, B. Kekezoglu, A. Durusu, E. Isen, A. Erduman, and A. Bozkurt, "Comparison of Charge Controllers on PV Panel Performance: An Experimental Study," *Int. J. Adv. Electron. Electr. Eng.*, vol. 3, no. 3, pp. 121–125, 2014.
- [3] L. L. Oscar, M. T. Penella, and M. Gasulla, "A new MPPT method for low-power solar energy harvesting," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 57, no. 9, pp. 3129–3138, 2010.
- [4] J. J. Nedumgatt, K. B. Jayakrishnan, S. Umashankar, D. Vijayakumar, and D. P. Kothari, "Perturb and observe MPPT algorithm for solar PV systems-modeling and simulation,"

- in 2011 Annual IEEE India Conference, 2011, vol. 19, no. 1, pp. 1–6.
- [5] P. K. Jena, A. Mohapatra, Srikanth and P. Choudhary, "Comparative study of solar PV MPPT by Perturbation and Observation and Fuzzy method," 2016 IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Computer and Electronics Engineering (UPCON), Varanasi, pp. 515–518, 2016.
- [6] M. P. Raj and A. M. Joshua, "Modeling and performance analysis of perturb & observe, incremental conductance and fuzzy logic MPPT controllers," 2017 International Conference on Advances in Electrical Technology for Green Energy (ICAETGT), Coimbatore, pp. 13–18, 2017.
- [7] O. Ezinwanne, F. Zhongwen, and L. Zhijun, "Energy Performance and Cost Comparison of MPPT Techniques for Photovoltaics and other Applications," *Energy Procedia*, vol. 107, no. September 2016, pp. 297–303, 2017.
- [8] M. A. G. de Brito, L. Galotto, L. P. Sampaio, G. d. A. e Melo, and C. A. Canesin, "Evaluation of the Main MPPT Techniques for Photovoltaic Applications," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 3, pp. 1156–1167, 2013.
- [9] A. K. Gupta, Y. K. Chauhan, and T. Maity, "Experimental investigations and comparison of various MPPT techniques for photovoltaic system," *Sadhana - Acad. Proc. Eng. Sci.*, vol. 43, no. 8, pp. 1–15, 2018.
- [10] E. Akboy, "Yüksek Güç Faktörlü Şebeke Bağlı Bir PV Sistemin Modellenmesi ve Farklı Işınım Altında Kontrolü," *Eur. J. Sci. Technol.*, pp. 794–802, Dec. 2019.
- [11] B. Subudhi and R. Pradhan, "A Comparative Study on Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Power Systems," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 4, no. 1, pp. 89–98, 2013.
- [12] P. Sivakumar, A. Abdul Kader, Y. Kaliavaradhan, and M. Arutchelvi, "Analysis and enhancement of PV efficiency with incremental conductance MPPT technique under non-linear loading conditions," *Renew. Energy*, vol. 81, pp. 543–550, 2015.
- [13] N. H. Baharudin, T. M. N. T. Mansur, F. A. Hamid, R. Ali, and M. I. Misrun, "Performance Analysis of DC-DC Buck Converter for Renewable Energy Application," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1019, p. 012020, Jun. 2018.
- [14] D. S. Karanjkar, S. Chatterji, S. L. Shimi, and A. Kumar, "Real time simulation and analysis of maximum power point tracking (MPPT) techniques for solar photo-voltaic system," 2014 Recent Adv. Eng. Comput. Sci. RAECS 2014, pp. 1–6, 2014.
- [15] Y. E. Keskin, M. E. Başoğlu, İ. G. Tekdemir, and B. Çakır, "Comparison of P & O and Incremental Conductance Algorithms for Photovoltaic Systems," in *Elektrik – Elektronik – Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*, 2014, pp. 91–95.
- [16] S. E. Dagteke and S. Unal, "Comparative analysis of maximum power point tracking methods for rapid environmental changes," in 2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), pp. 1337–1340, 2015.
- [17] O. Kırıcıoğlu, M. Ünlü, and S. Çamur, "Değiştir&gözle ve artımsal iletkenlik algoritmalarının EN 50530 dinamik verim testine göre performanslarının değerlendirilmesi," *SAÜ Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, vol. 22, no. 1, pp. 85–93, 2018.
- [18] M. Lasheen, A. K. Abdel Rahman, M. Abdel-Salam, and S. Ookawara, "Adaptive reference voltage-based MPPT

- technique for PV applications,” *IET Renew. Power Gener.*, vol. 11, no. 5, pp. 715–722, 2017.
- [19] S. Sheel and O. Gupta, “New Techniques of PID Controller Tuning of a DC Motor — Development of a Toolbox,” *MIT Int. J. Electr. Instrum. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 65–69, 2012.
- [20] A. Basu, S. Mohanty, and R. Sharma, “Tuning of FOPID Controller for Meliorating the Performance of the Heating Furnace Using Conventional Tuning and Optimization Technique,” *Int. J. Electron. Eng. Res.*, vol. 9, no. 1, pp. 975–6450, 2017.
- [21] S. M. Ferdous, M. A. Mohammad, F. Nasrullah, A. M. Saleque, and A. Z. M. S. Muttalib, “Design and simulation of an open voltage algorithm based maximum power point tracker for battery charging PV system,” *2012 7th Int. Conf. Electr. Comput. Eng. ICECE 2012*, no. 2, pp. 908–911, 2012.