

## **Doğrusal Yükleri Besleyen Şebeke Bağlantılı PV/Akü Sisteminin Tasarımı ve Tam/Kısmi Gölgeleme Durumlarında Performans Analizi**

**Kemal AYGÜL<sup>1</sup>, Tuğçe DEMİRDELEN<sup>\*2</sup>, Mehmet TÜMAY<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü,  
Adana

<sup>2</sup>Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik  
Elektronik Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 21.01.2019

Kabul tarihi: 28.06.2019

### **Öz**

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı son yıllarda hızla artmaktadır. Bu durum sonucunda PV paneller ile günlük hayatta birçok uygulamada karşılaşılmaktadır. PV sistemlerin performansı çevre ve hava durumu gibi etmenlerden büyük oranda etkilenmektedir. Buna örnek olarak bulutlar, tozlanma, kar gibi nedenlerle meydana gelen gölgeleme veya kısmi gölgeleme durumlarının PV sistemlerin maksimum güç noktalarında çalışmasına neden olması gösterilebilir. Bu çalışmada bu durumun sonuçlarını incelemek üzere şebeke bağlantılı ve doğrusal yükleri besleyen bir PV/Akü sisteminin modellenmesi yapılmıştır. Önerilen sistemin PSCAD ile benzetim çalışmaları yapılmış ve farklı gölgeleme senaryoları için performansı incelenmiştir. Benzetim çalışmaları sonucunda PV sistemin maksimum güç noktası izlemesi (MPPT) için kullanılan hata & gözlem (P&O) algoritmasının PV sistemin yerel maksimum noktalarında takılıp düşük verimle çalıştığı gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Fotovoltaik, Akü, Kısmi gölgeleme, Maksimum güç noktası izleme

### **Modeling and Performance Analysis of Grid Tied Photovoltaic Panel/Battery System Feeding Linear Loads on Complete/Partial Shading Conditions**

#### **Abstract**

The use of renewable energy sources has been increasing rapidly in recent years. As a result of this situation, PV panels are encountered in many applications in daily life. The performance of PV systems is greatly influenced by factors such as the environment and the weather. Examples include shading or partial shading conditions due to clouding, dusting and snow that cause PV systems not to operate at maximum power points. In this study, in order to analyze the results of these conditions modelling of a grid connected PV/Battery system feeding linear loads was performed. The proposed system simulated via PSCAD and the performance analysis of the system under different shading scenarios was conducted. As a result of

---

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Tuğçe DEMİRDELEN, [tdemirdelen@adanabtu.edu.tr](mailto:tdemirdelen@adanabtu.edu.tr)

simulation studies, it is observed that perturb and observe (P&O) algorithm used for maximum power point tracking was stuck at local maximum power points and the PV system operated at low efficiency.

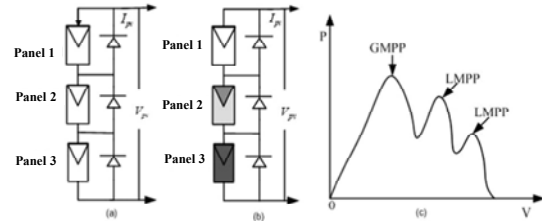
**Keywords:** Photovoltaic, Battery, Partial shading, Maximum power point tracking

## 1. GİRİŞ

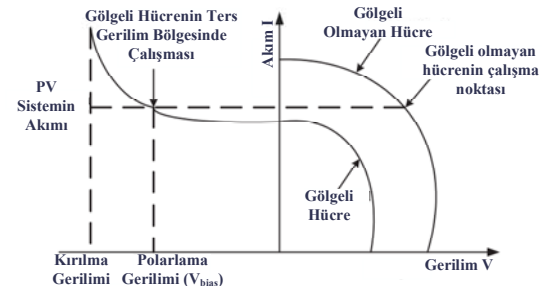
Geleneksel enerji kaynaklarının neden olduğu çevre kirliliği ve bu kaynakların tükenmekte olması nedeniyle güneş enerjisi gibi temiz ve tükenmez enerji kaynaklarına olan ilgi son dönemde giderek artmaktadır. Fotovoltaik (PV) hücreler, fotovoltaik etki ile güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılan başlıca elemanlardan biridir. PV hücrenin akım ve gerilim seviyesinin düşük olması nedeni ile PV hücrelerin seri ve paralel bağlanması sonucu PV paneller, PV panellerin seri ve paralel bağlantı kombinasyonları ile de PV dizinler oluşturulur. Paralel bağlantı ile çıkış akımının, seri bağlantı ile çıkış geriliminin artırılması sağlanmaktadır. PV hücrelerin çıkış akım, gerilim ve güç değerleri ışınım yoğunluğu ve sıcaklık gibi parametrelere bağlı olduğundan dolayı bu parametreler değiştiğinde PV sistemin akım, gerilim ve güç değerleri de değişiklik göstermektedir.

Güneş ışınları PV dizini oluşturan panellere eşit yoğunlukta geldiği zaman PV dizinin çıkış güç eğrisinde bir adet maksimum güç noktası gözlenir. Ancak bulut, tozlanma gibi nedenlerle ışınım yoğunluğu PV dizin içerisindeki bazı panellerde az, bazı panellerde daha fazla olduğu zaman PV dizinin çıkış güç eğrisinde birden fazla maksimum güç noktası gözlenir. Bu durum kısmi gölgeleme durumu olarak isimlendirilir. Kısmi gölgeleme durumunda Şekil 1'de görüldüğü gibi global maksimum güç noktasının (GMPP) yanında yerel maksimum güç noktaları (LMPP) da gözlenir. Değişen sıcaklık ve ışınım yoğunluğu değerlerine karşın PV sistemi maksimum güç noktasında çalıştırmak önem arz etmektedir. Bu amaçla farklı yöntemler uygulanarak maksimum güç noktası takibi yapılmaktadır. [1,2] numaralı makalelerde homojen ışınım yoğunluğu ve kısmi gölgeleme durumları için kullanılan geleneksel ve güncel maksimum güç noktası izleme yöntemleri incelenmiş ve bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajları tartışılmıştır.

Şekil 2'de gölgeli ve gölgeli olmayan hücrelerin akım-gerilim eğrisi gösterilmiştir. PV dizindeki gölgeli bir hücre seri bağlı olduğu gölgeli olmayan diğer hücreler ile aynı akım değerinde çalışmak zorunda olduğu için ters gerilim bölgesinde çalışmaya zorlanır. Bir hücrenin ters gerilim bölgesinde çalışması ise güç kaynağı yerine yük gibi davranıp güç tüketmesine neden olmaktadır. Bir süre ters gerilim bölgesinde çalışan hücre ısınarak açık devre haline gelir. Bu olaya sıcak yüzey etkisi adı verilmektedir. Bu etki by-pass diyotları kullanılıp ilgili hücreden ters akım geçmesini engelleyerek önlenmektedir. Kısmi gölgeleme durumunda PV sistemin çıkış güç karakteristiğinde oluşan çok tepeli karakteristiğin nedeni de by-pass diyotlardır.



Şekil 1. (a) Homojen ışınım yoğunluğu ve, (b) kısmi gölgeli durumdaki hücreler, (c) Kısmi gölgeleme durumundaki Güç-Gerilim (P-V) eğrisi [1]



Şekil 2. PV sistemin Akım-Gerilim (I-V) eğrisi [1]

Bu çalışmada doğrusal yükleri besleyen ve şebeke bağlantılı bir PV/Akü sisteminin modellenmesi ve

farklı gölgelenme ve sıcaklık senaryoları için performans analizi PSCAD programı ile benzetim çalışmaları yapılarak gösterilecektir.

## **2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR**

Son dönemde PV panellerin tam ve kısmi gölgelenme durumlarındaki maksimum güç noktası takibi ve PV panellerin akü ile birlikte kullanıldığı devre yapıları ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır.

Guichi ve arkadaşları [3] hibrit güç üretim sistemlerinde kullanılacak fotovoltaiik sistemlerin homojen ışınım yoğunluğu ve kısmi gölgelenme koşulları için maksimum güç noktasında veya sınırlandırılmış güç modunda çalıştırılması için bir kontrol yöntemi önermişlerdir. Normal çalışma koşullarında maksimum güç noktası izleme (MPPT) için parçacık sürü eniyileme (PSO) yöntemi kullanılırken PV sistem tarafından üretilen güç, depolama ünitesinin kapasitesini ve yüklerin talebini aştığında sistemi orta güç modunda çalıştırmak için yazarlar tarafından önerilen algoritma kullanılmıştır.

Goud ve arkadaşları [4], kısmi gölgelenme durumunda GMPP takibini (GMPPT) yapmak için iki farklı MPPT yöntemi kullanarak hibrit bir GMPPT yöntemi önermiştir. Önerilen yöntemin performansı benzetim çalışmaları ve deneysel veriler ile test edilmiştir. Farzaneh ve arkadaşları [5] kısmi gölgelenme durumlarında çalışan PV sistemler için geliştirilmiş ateşböceği algoritması ile GMPP takibi yapmayı önermiştir. Önerilen algoritma ile ateşböceği, PSO ve Hata ve Gözlem (P&O) algoritmalarının performansları karşılaştırılmış ve önerilen algoritmanın ateşböceği, PSO ve P&O algoritmalarından daha iyi bir performans gösterdiği belirtilmiştir.

Tang [6], bir gemi üzerine kurulan PV paneller ve aküyü içeren bir sistemin farklı gölgelenme koşulları için GMPP takibinde kullanılmak üzere “Decentralizing and coevolving differential evolution” (DCDE) adı verilen bir algoritma kullanmıştır. Bu algoritmanın performansı sayısal hesaplamalar ve deneysel veriler ile doğrulanmıştır.

Ramyar ve arkadaşları [7] kısmi gölgelenme durumlarında MPPT için yeni bir yöntem önermiş ve bu yöntemin performans analizini benzetim çalışmaları ve deney sonuçlarıyla sunmuştur.

Belhaouas ve arkadaşları [8], PV panellerin elektriksel bağlantısını değişmeden birbirine komşu hücrelerin yerlerinin değiştigi farklı kombinasyonlar ile kısmi gölgelenme durumlarında gölgeyi PV dizin üzerinde dağıtarak LMPP’lerin oluşmasını engellemeyi amaçlamıştır. Farklı gölgelenme senaryolarında bu bağlantı kombinasyonlarının performansı incelenmiş ve bu bağlantı şekillerinin kullanılmasının sistemin performansını artıracığı belirtilmiştir.

Wang ve arkadaşları [9] kısmi gölgelenme durumlarında GMPPT için “the search-skip-judge global MPPT” (SSJ-GMPPT) ve “rapid global MPPT” (R-GMPPT) adı verilen iki algoritma önermiştir. Deney sonuçlarıyla SSJ-GMPPT kullanılarak tüm gölgelenme durumlarında isabetli güç noktası izleme yapılabildiği, R-GMPPT kullanılarak hızlı bir şekilde maksimum güç noktasına ulaşılabildiği gösterilmiştir. Pati ve arkadaşları [10] şebeke bağlantılı bir PV sistem üzerinde MPP izleme için fibonacci arama yöntemi kullanmış ve ayrıca aktif/reaktif güç filtresi gören evirici aracılığı ile sistemin güç kalitesini artırmayı amaçlamıştır. Sistemin performansı benzetim çalışmaları ile test edilip sonuçları sunulmuştur.

Ghasemi ve arkadaşları [11] kısmi gölgelenme durumunda MPP izleme için iki aşamalı bir yöntem önermiştir. İlk aşamada kısmi gölgelenmenin varlığı tespit edilip daha sonra önerilen bir algoritma ile GMPP tespiti amaçlanmıştır. GMPP tespit edilmesinden sonra tekrar P&O algoritması devreye alınarak MPP’deki küçük değişikliklerin takip edilmesi sağlanmıştır.

Sabillon ve arkadaşları [12], evsel yüklerin bağlı olduğu elektrik şebekesine bağlı olarak çalışan PV ve aküleri içeren bir sistemin elektrikli araçların şarjı için optimum bir şekilde kullanılmasını düzenleyen bir yöntem önermiştir. Önerilen sistemin performansı 107 noktalı bir dağıtım sisteminde test edilip performans sonuçları sunulmuştur.

Hassan ve arkadaşları [13] elektrik ihtiyacı şebeke bağlantılı PV-Akü sistemi ile, şebekeye satış tarifesi üzerinden sağlanan bir müşterinin olduğu sistemi incelemiştir.

Numbi ve arkadaşları [14] şebeke satış tarifesinde çalışan bir PV-Akü sistemi önermiş ve bu sistem için optimum enerji modeli bulmayı amaçlamıştır. Sistemin enerji akışı, akü şarj durumu gibi parametreler benzetim çalışması ile incelenip sonuçları sunulmuştur.

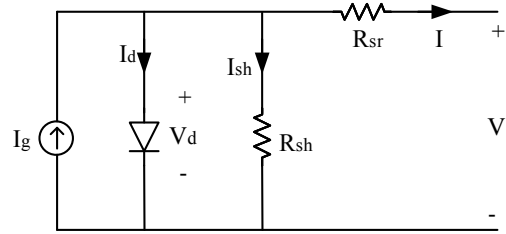
Kumar ve arkadaşları [15] tek sensör tabanlı bir MPPT yöntemi kullanarak PV sistem ile akü şarj etmek üzere bir plan önermiştir. Ayrıca kısmi gölgeleme durumunda MPPT için “mathematics-based hybrid Cauchy and Gaussian sine cosine optimization” isimli bir yöntem uygulamıştır. Sistemin benzetim çalışmalarındaki performans sonuçları diğer MPPT yöntemleri ve devre şemaları ile karşılaştırılmıştır.

Karimi ve arkadaşları [16] PV ve bataryalardan oluşan mikro şebeke için merkezsiz bir güç yönetimi ve yük paylaşımı yöntemi önermiştir. Önerilen yöntemin farklı yük, PV üretimi ve akü şarj durumları için performansı yapılan deneyler ile test edilip gösterilmiştir. Badawy ve Sozer [17] PV/akü tabanlı elektrikli araç şarj istasyonunun güç akışı yönetimi için bir yöntem önermiştir. Bu yöntem ile PV/akü sistemlerinin şebeke ile entegrasyonunun artırılmasının ve artan elektrikli araç şarj talebinin karşılanmasının hedeflendiği belirtilmiştir. Mao ve arkadaşları [18] kısmi gölgeleme durumlarındaki PV sistemler için PSO ve P&O algoritmalarına dayanan özgün bir algoritma önermiştir. Önerilen algoritmanın performansı simülasyon ve deneysel çalışma ile test edilip sonuçları sunulmuştur.

### 3. ÖNERİLEN SİSTEMİN MODELLENMESİ

#### 3.1. PV Sistemin Modellenmesi

PV hücreler için en çok kullanılan eşdeğer devre modeli Şekil 3’de gösterilen tek diyotlu eşdeğer devre modelidir.



Şekil 3. PV hücrenin eşdeğer devresi [19]

Bu modelde PV hücre bir akım kaynağı buna paralel bağlanan bir diyot, direnç ve seri bağlanan bir direnç ile gösterilir. Bu devreye Kirchhoff’un akım yasası uygulandığında:

$$I = I_g - I_d - I_{sh} \quad (1)$$

$I_g$  hücreye düşen ışık sonucu üretilen akımı gösterir. Hücreye düşen ışık şiddetine ve hücre sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir.  $I_d$  paralel kolda yer alan ve PV hücrenin lineer olmayan I-V karakteristiğini modelleyen diyot akımını gösterir.  $I_{sh}$  paralel kolda yer alan direnç üzerinden geçen akımı gösterir. Diyot akımı  $I_d$  ve paralel kol akımı  $I_{sh}$  yerine ilgili denklemler yazıldığında Eşitlik 2 elde edilir.

$$I = I_g - I_0 \left[ \exp \left( \frac{V + IR_{sr}}{nkT_c/q} \right) - 1 \right] - \left( \frac{V + IR_{sr}}{R_{sh}} \right) \quad (2)$$

Hücre sıcaklığı ve ışık şiddetinin bir fonksiyonu olan  $I_g$  Eşitlik 3’te ifade edilmiştir.

$$I_g = I_{scR} \frac{G}{G_R} [1 + \alpha_T (T_c - T_{cR})] \quad (3)$$

$I_{scR}$  referans ışık şiddeti ( $G_R$ ) ve sıcaklık ( $T_{cR}$ ) değerlerinde hücrenin kısa devre akımını,  $\alpha_T$  ise sıcaklık sabitini ifade eder.

Eşitlik 2’de yer alan  $I_0$  ise doyma akımını ifade eder ve Eşitlik 4’deki gibi gösterilir.

$$I_0 = I_{0R} \left( \frac{\tau_c}{\tau_{cR}} \right) \exp \left[ \left( \frac{1}{\tau_{cR}} - \frac{1}{\tau_c} \right) \frac{q\epsilon_g}{nk} \right] \quad (4)$$

Eşitlik 2 ve Eşitlik 4’de yer alan diğer parametrelerden  $q$  elektron yükünü,  $k$  Boltzmann sabitini,  $\epsilon_g$  boşluk (band-gap) enerjisini,  $n$  diyot idealite faktörünü ifade eder. [18]

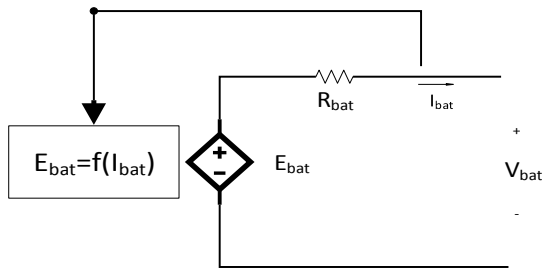
PV sistem Çizelge 1’de özellikleri belirtilen paneller kullanılarak 22 seri,250 paralel bağlantı olacak şekilde oluşturulmuştur. Oluşturulan PV dizinin nominal çıkış gücü 300 kVA olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 1.** PV panelin parametreleri

Parametre	Değer
Hücre Etkin Alanı (m <sup>2</sup> )	0,01
Hücre Seri Direnci (R <sub>sr</sub> )	0,02
Hücre Şönt Direnci (R <sub>sh</sub> )	100
Diyot idealite faktörü (n)	1,5
Hücre Doyma Akımı (kA)	1e <sup>-12</sup>
Hücre Kısa Devre Akımı (kA)	0,0025
Sıcaklık Sabiti (α <sub>T</sub> )	0,001

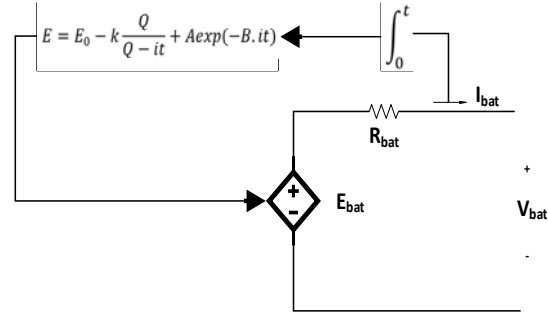
### 3.2. Akü Sisteminin Modellenmesi

Elektrokimyasal tekrar şarj edilebilir aküler enerjii kolaylıkla depolayıp gerektiğinde kullanıma sunma özellikleri nedeni ile güç sistemlerinde yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Bu akülerin birçok tipi olmakla birlikte, bunların performans analizi için birçok farklı matematiksel model mevcuttur. Şekil 1’de gerilim kaynağının bir dirence seri bağlanması ile oluşturulan model gösterilmiştir [20].



**Şekil 4.** Akünün eşdeğer devresi [19]

Belirli zaman aralıklarıyla gerilim kaynağının gerilim değeri bataryanın şarj seviyesi kullanılarak hesaplanır. Şekil 4’de yüksüz durumdaki akü geriliminin akünün şarj değeri kullanılarak hesaplanması gösterilmiştir.



**Şekil 5.** Lineer olmayan akü modeli

Şekil 5’deki parametrelerden E yüksüz durumda akü gerilimini (V), E<sub>0</sub> sabit akü gerilimini (V), K polarizasyon gerilimini (K), Q akü kapasitesini (Ah),  $\int i dt$  ise anlık akü şarj durumunu ifade etmektedir. Akü gerilimi akü şarj seviyesi cinsinden ifade edilmek üzere Eşitlik 5’deki gibi düzenlenebilir.

$$E = E_0 - K \frac{1}{\text{SOC}} + A e^{-B \cdot Q \cdot (1 - \text{SOC})} \quad (5)$$

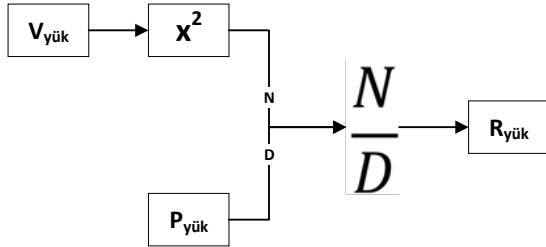
Önerilen sistemde kullanılan akünün parametreleri Çizelge 2’de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Akünün parametreleri

Parametre	Değer
Nominal Gerilim (kV)	0,5
Nominal Kapasite (kAh)	0,00658
Nominal Kapasite (pu)	0,95
Rezistif Gerilim Düşümü (pu)	0,05
Üstel Noktadaki Gerilim (pu)	1,03
Üstel Noktadaki Kapasite (pu)	0,4
Tam Şarj Gerilimi (pu)	1,15

### 3.3. Yükün Modellenmesi

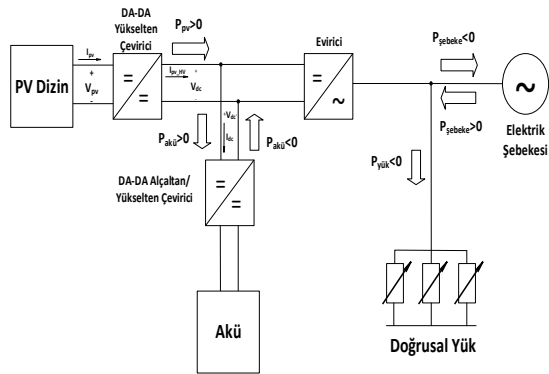
Önerilen sistemde doğrusal yük, ihtiyaç duyulan aktif güç değerine göre Şekil 6’da gösterilen formül ile yük direnci ayarlanarak kullanılmıştır. Benzetim çalışmaları sırasında P<sub>yük</sub> 0 ila 500 kW arasında değişecek şekilde R<sub>yük</sub> değeri ayarlanarak kontrol edilmiştir.



Şekil 6. Yük gerilimi ve gücü kullanılarak rezistif direncin hesaplanması

#### 4. ÖNERİLEN SİSTEMİN KONTROLÜ

Bu bölümde Şekil 7’de şeması görülen, önerilen sistemdeki PV ve akü sistemlerinin kontrolü anlatılacaktır.

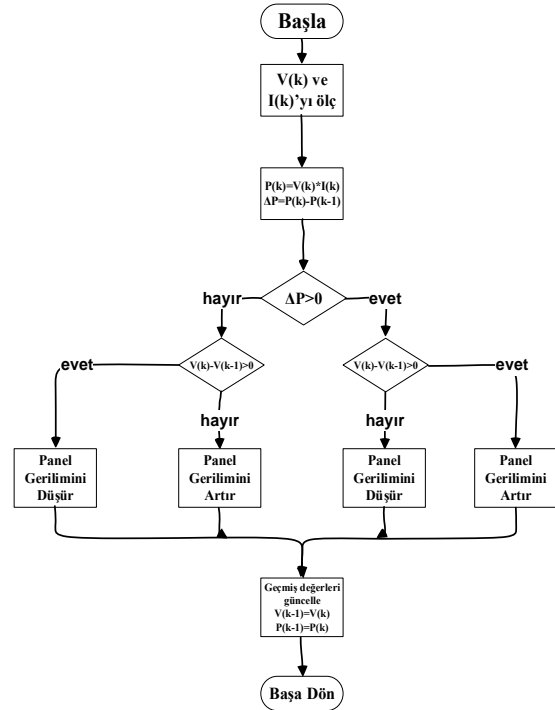


Şekil 7. Önerilen sistemin şeması

##### 4.1. PV Sistemin Kontrolü

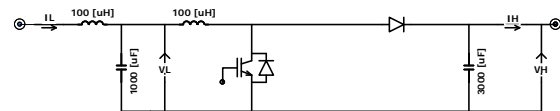
PV sistemlerde üretilen güç yük talebi ile uyuşmadığında verim kaybı ortaya çıkmaktadır. Bu sorunu önlemek için PV sistemin maksimum güç noktasında çalıştırılması gerekir. Panel sıcaklığı ve ışınım yoğunluğundaki değişiklikler maksimum güç noktasını etkilemektedir. PV sistemin çalışma noktasından kaynaklanan kayıpları önlemek için bir maksimum güç noktası izleyicisinin kullanılması önem arz etmektedir. Önerilen sistemde maksimum güç noktası takibi için P&O algoritması kullanılmıştır. Algoritmanın amacı PV sistemin maksimum güç ürettiği  $V_{mpp}$  ve  $I_{mpp}$  noktalarını tespit ederek sistemin bu noktada çalışmasını

sağlamaktır. Belirli aralıklar ile PV sistemin gerilim değerinin ayarlanması sonrası sistem çıkış gücü kontrol edilir. Çıkış gücünün durumuna göre bir sonraki adımda gerilim değerinin artırılacağına veya azaltılacağına karar verilir. Şekil 8’de P&O algoritmasının akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 8. P&O algoritmasının akış diyagramı

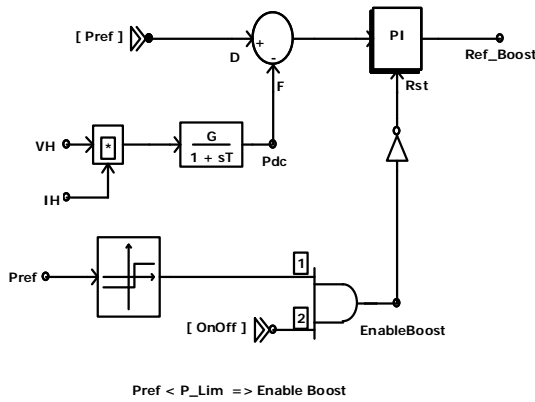
MPPT algoritması tarafından üretilen referans gerilim değeri Şekil 9’da görülen Yükselten çevirici tarafından DA bara akımını ( $I_{pv\_HV}$ ) ayarlamak için kullanılır. DA bara gerilimi ise Şekil 10’da gösterilen evirici tarafından ayarlanır.



Şekil 9. Yükselten çevirici devre şeması

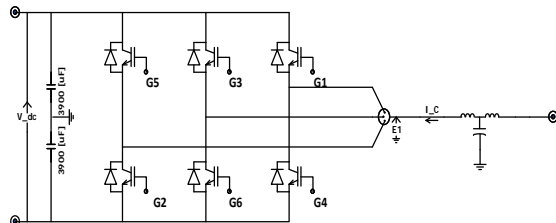
Yükselten çeviricinin kontrol şeması Şekil 10’da gösterilmiştir. Bu şemada Plim önceden tanımlanan maksimum güç değerini, VH ve IH sırasıyla yükselten çeviricinin yüksek gerilim tarafında ölçülen gerilim ve akım değerlerini ifade eder. Bu

değerler kullanılarak hesaplanan güç değeri PI kontrol sistemine geri besleme sinyali olarak gönderilir. Kontrol sistemi yükselten çevirici içerisinde yer alan IGBT'nin tetikleme sinyalini kontrol eder. Ayrıca referans güç değerinin maksimum güç değeri ile karşılaştırılması sonucu oluşturulan EnableBoost sinyali ile sadece referans güç değerinin maksimum güç değerinden küçük olduğu durumlarda çeviricinin çalışması sağlanmıştır.



Şekil 10. Yükselten çevirici kontrol şeması

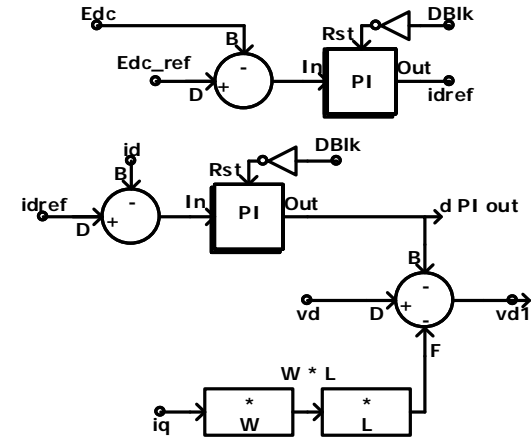
DA bara gerilimi Şekil 11'de devre şeması ve Şekil 12'de kontrol şeması gösterilen evirici tarafından ayarlanır. Şekil 12'de Edc ve Edc\_ref parametreleri sırasıyla DA gerilim ve DA Referans gerilim parametrelerini ifade eder. Panel sıcaklığı veya ışınım yoğunluğu parametrelerinden birinde değişiklik olduğu zaman PV sistemin çıkış gücü değişmektedir. Yükselten çevirici bu değişiklik sonucu akım artırmak veya azaltmak için duty cycle değerini değiştirir.



Şekil 11. Evirici devre şeması

Bunun sonucunda DA bara gerilimi de değişir. DA bara gerilimini eski haline getirmek amacıyla

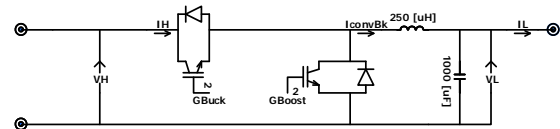
evirici DA baradan talep ettiği akımı artırma veya azaltma yoluna gider. Böylece DA bara geriliminin kontrolü sağlanmış olur.



Şekil 12. Evirici DA gerilim kontrolü şeması

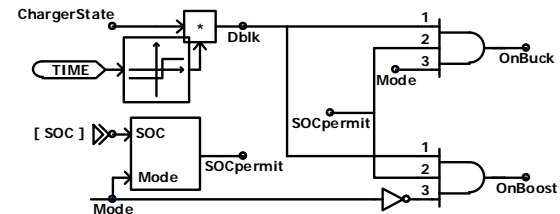
#### 4.2. Akü Sisteminin Kontrolü

Akü Şekil 13'de devre şeması gösterilen alçaltan/yükselten çevirici aracılığı ile DA baraya bağlanır. Alçak gerilim (200V) tarafı aküye, yüksek gerilim (250V) tarafı DA baraya bağlıdır.



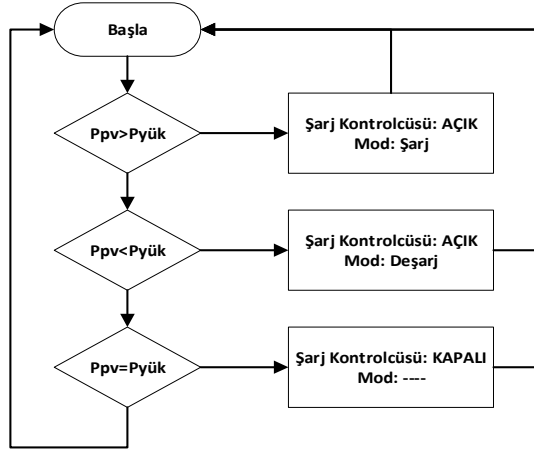
Şekil 13. Alçaltan/yükselten çevirici devre şeması

Şarj kontrolcüsünün açık veya kapalı olması, açık olduğu durumda şarj veya deşarj modunda çalışmasının kontrolü Şekil 14'de gösterilmiştir. Bu şemada ChargerState kontrolcüsünün açık veya kapalı olma durumunu, SOC akülerin şarj yüzdesini, mode ise kontrolcüsünün şarj veya deşarj durumunu ifade eder.



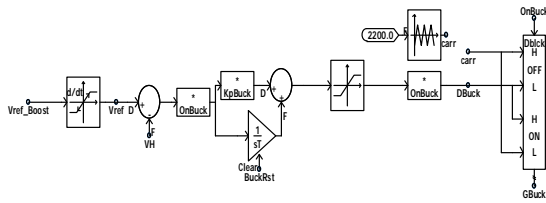
Şekil 14. Akü sistemi üst seviye kontrol şeması

ChargerState ve Mode parametreleri Şekil 15’de gösterilen akış diyagramına göre kontrol edilir.



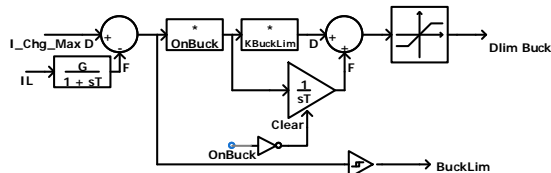
Şekil 15. Akü sistemi kontrolü akış diyagramı

Alçaltan/yükselten çevirici şarj modunda çalıştığı zaman alçaltan modu (Buck mode) devrededir. Alçaltan çeviricinin şarj kontrolcüsü Şekil 16’da gösterilmiştir.



Şekil 16. Alçaltan modu şarj kontrolcüsü

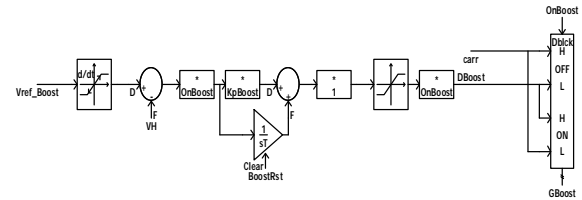
Alçaltan çeviricinin sisteme zarar verecek akımlara çıkmasını engellemek amacı ile duty cycle değeri Şekil 17’de gösterildiği gibi sınırlandırılmıştır.



Şekil 17. Alçaltan modunda yüksek akımlara karşı duty cycle değerinin sınırlandırılması

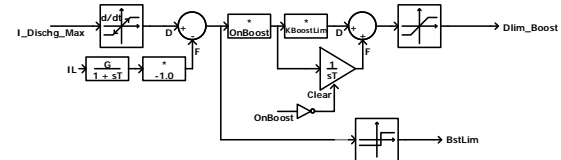
Çevirici deşarj modunda çalıştığı zaman yükselten modu (Boost mode) devrededir. Yükselten

modunun şarj kontrolcüsü şekil 18’de gösterilmiştir.



Şekil 18. Yükselten modu şarj kontrolcüsü

Yükselten çeviricinin sisteme zarar verecek akımlara çıkmasını engellemek amacı ile çeviricinin duty cycle değeri Şekil 19’da gösterildiği gibi sınırlandırılmıştır.



Şekil 19. Yükselten modunda yüksek akımlara karşı duty cycle değerinin sınırlandırılması

## 5. BENZETİM ÇALIŞMASI SONUÇLARI

Bu bölümde önerilen sistemin farklı ışınım yoğunluğu, gölgeleme ve sıcaklık parametrelerine göre performansı 6 farklı senaryo üzerinden incelenecektir. Şekil 7’de güç akışı yönlerine göre işaretler belirtilmiştir. Çizelge 3’de ise yük devreye girdikten sonraki güç değerlerine göre senaryoların özeti verilmiştir.

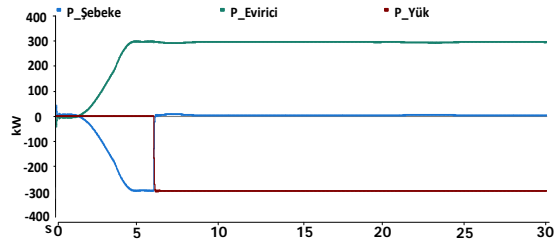
Çizelge 3. Benzetim çalışması senaryo özeti

No.	Gölgeleme Durumu	PV	Akü	Yük	Elektrik Şebekesi
1	Yok	300 kW	0 kW	[-300] kW	0 kW
2	Yok	300 kW	[0,5] kW	[-300, -200] kW	[-100,0] kW
3	%100 [300, 1000] W/m <sup>2</sup>	[50,300] kW	[-15,5] kW	[-300] kW	[-50,150] kW
4	%100 [300, 1000] W/m <sup>2</sup>	[50,300] kW	[-15,5] kW	[-350,-250] kW	[-50,150] kW
5	%25 [300, 1000] W/m <sup>2</sup>	[150,300] kW	[-15,5] kW	[-300] kW	[-50,100] kW
6	%25 [300, 1000] W/m <sup>2</sup>	[150,300] kW	[-15,5] kW	[-400,-300] kW	[-50,300] kW



### 5.1. Senaryo 1

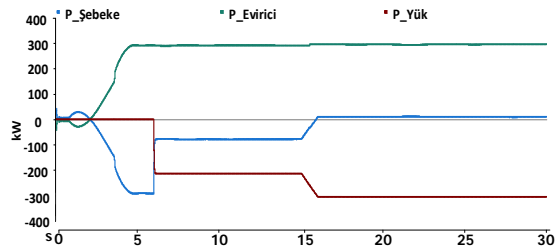
Bu senaryoda PV dizin  $1000 \text{ W/m}^2$  ışınım yoğunluğu ve  $25 \text{ C}^\circ$  hücre sıcaklığı değerlerinde çalışmakta ve PV dizin tarafından üretilen güç yük talebini tam olarak karşılamaktadır. Dolayısı ile akünün şarj kontrolcüsü kapalı konumdadır.



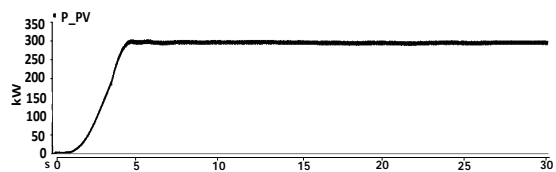
Şekil 20. Önerilen sistemin aktif güç grafiği

### 5.2. Senaryo 2

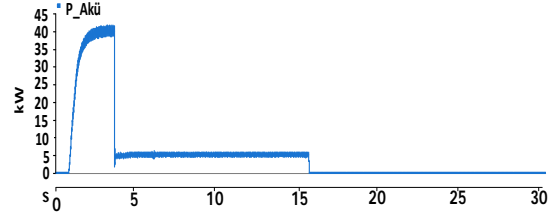
Bu senaryoda PV dizin  $1000 \text{ W/m}^2$  ışınım yoğunluğu ve  $25 \text{ C}^\circ$  hücre sıcaklığı değerlerinde çalışmakta ve üretilen gücün yük talebinden az ve eşit olduğu durumların sonuçları gözlemlenmektedir. Şekil 21'de 6 ila 15. saniyeler arasında yük talebi PV dizinin ürettiği güçten az olduğu için akünün şarj olduğu ve elektrik şebekesine güç aktarımı olduğu görülmektedir. 16. saniyeden sonra yük talebi PV dizin tarafından üretilen güce ulaştığı için akü ve elektrik şebekesine güç aktarımının durduğu görülmektedir.



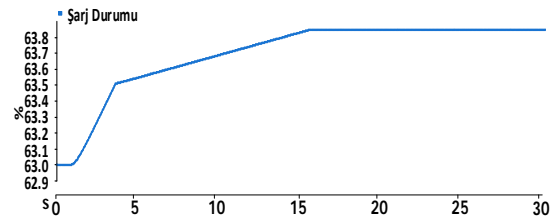
Şekil 21. Önerilen sistemin aktif güç grafiği



Şekil 22. PV dizinin aktif güç grafiği



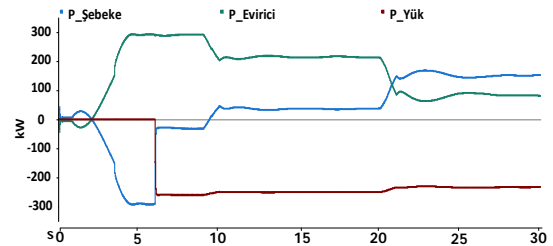
Şekil 23. Akünün aktif güç grafiği



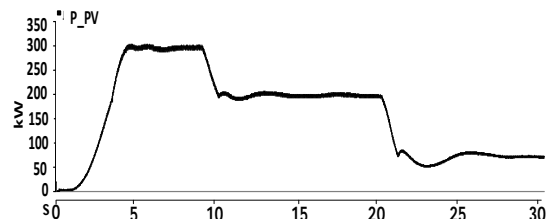
Şekil 24. Akünün şarj durumu grafiği

### 5.3. Senaryo 3

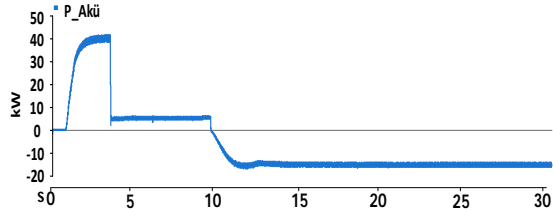
Bu senaryoda PV dizinin üç farklı ışınım yoğunluğu ve sıcaklık seviyesinde çalışması sonucu akünün deşarj olmaya başlayarak yükü beslemesi görülmektedir. Şekil 25'de 10. ve 20. saniyelerde ışınım yoğunluğu ve sıcaklık değerlerinin değişmesi sonucunda akünün deşarj olmaya başlaması, akünün gücünün yük talebine yetmemesi sonucu elektrik şebekesinden de yüke bir güç akışı olduğu gözlemlenmektedir.



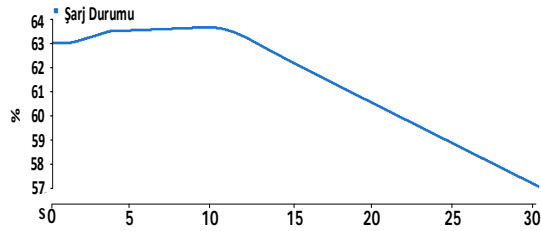
Şekil 25. Önerilen sistemin aktif güç grafiği



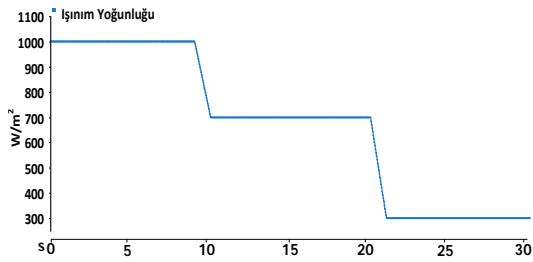
Şekil 26. PV dizinin aktif güç grafiği



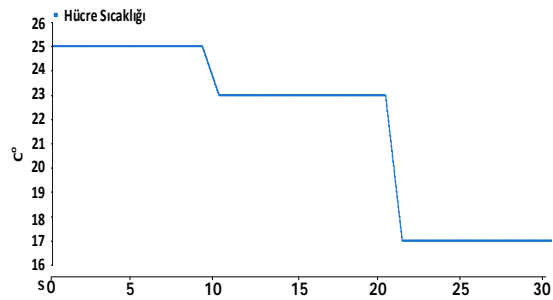
Şekil 27. Akünün aktif güç grafiği



Şekil 28. Akünün şarj durumu grafiği



Şekil 29. Işınım yoğunluğu grafiği

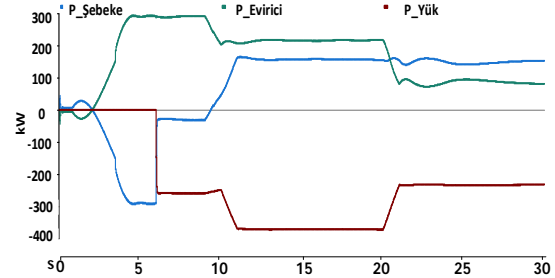


Şekil 30. Hücre sıcaklığı grafiği

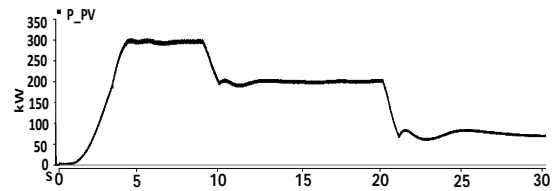
#### 5.4. Senaryo 4

Bu senaryoda senaryo 3'de olduğu gibi ışınım yoğunluğu ve sıcaklık değerlerinin değişmesi sonucu PV dizin çıkış gücünün azalması ile akünün yükü beslemek üzere deşarj olmaya başlaması ve elektrik şebekesinden yüke güç akışı olduğu görülmektedir. Yük talebi senaryo 3'e göre daha

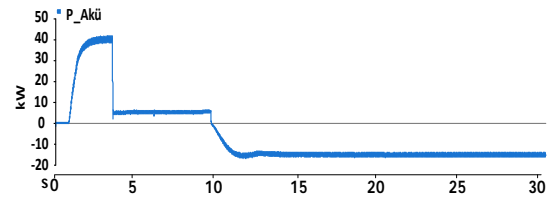
fazla arttığı için elektrik şebekesinden aktarılan gücün arttığı da görülmektedir.



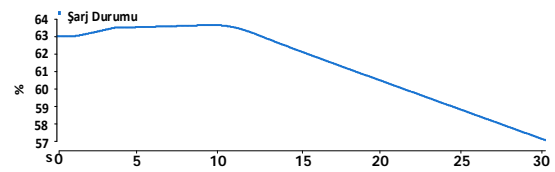
Şekil 31. Önerilen sistemin aktif güç grafiği



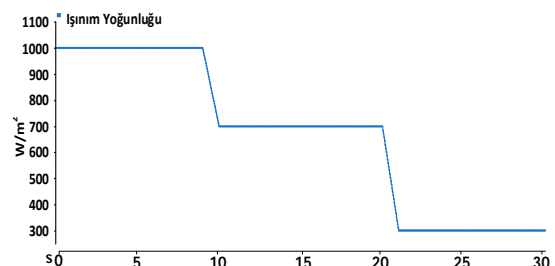
Şekil 32. PV dizinin aktif güç grafiği



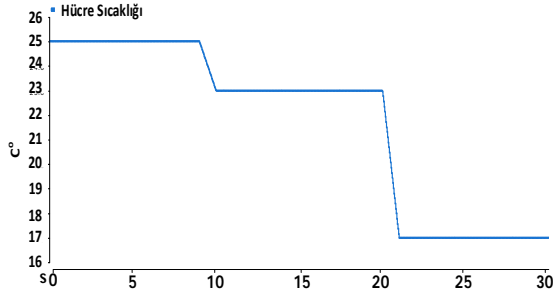
Şekil 33. Akünün aktif güç grafiği



Şekil 34. Akünün şarj durumu grafiği



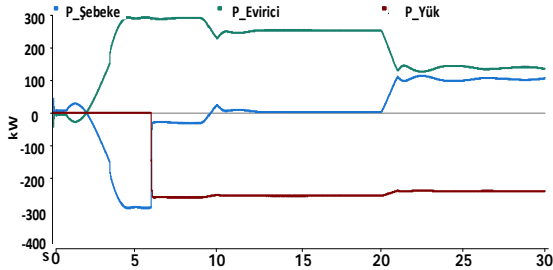
Şekil 35. Işınım yoğunluğu grafiği



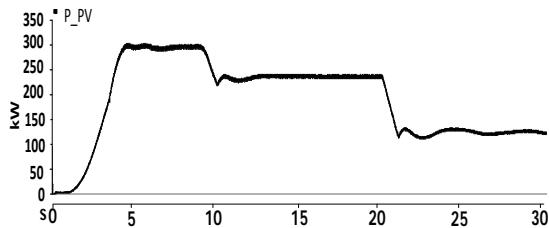
Şekil 36. Hücre sıcaklığı grafiği

### 5.5. Senaryo 5

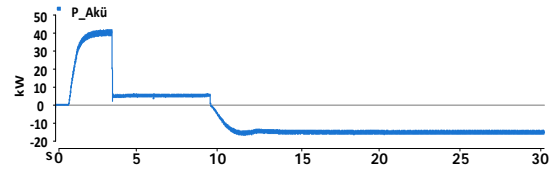
Bu senaryoda PV dizindeki panellerin %75'i  $1000 \text{ w/m}^2$  ışıma yoğunluğu ve  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklık değerlerinde çalışırken %25'i için ışıma yoğunluğu ve sıcaklık değişimi Şekil 41 ve 42'de gösterilmiştir. 10. saniye'ye kadar PV dizinin ürettiği güç yük talebinden fazla olduğu için akünün şarj olduğu ve elektrik şebekesine güç aktarıldığı görülürken, 10. saniye'de dizindeki panellerin %25'inin gölgelenmesi ( $700 \text{ W/m}^2$ ) ile PV dizinin çıkış gücü düşmüş bunun sonucunda akü deşarj olmaya başlamıştır. 20. saniye'de gölgelenmenin artması ile ( $300 \text{ W/m}^2$ ) dizinin çıkış gücü daha fazla düşmüş ve elektrik şebekesinden çekilen güç artmıştır.



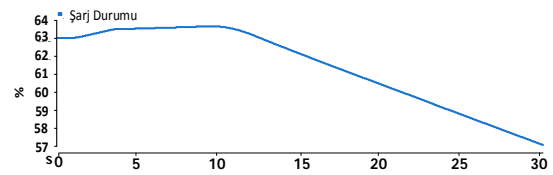
Şekil 37. Önerilen sistemin aktif güç grafiği



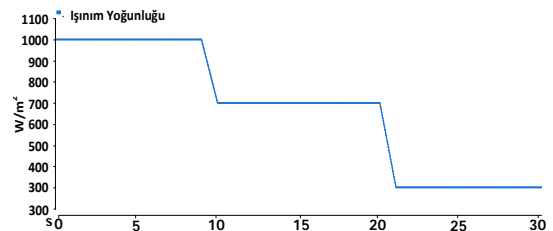
Şekil 38. PV dizinin aktif güç grafiği



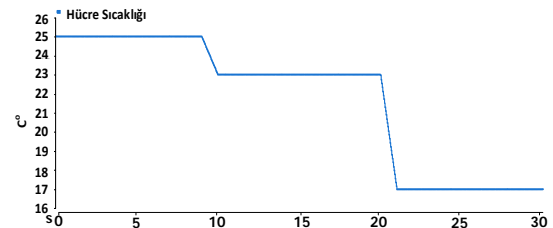
Şekil 39. Akünün aktif güç grafiği



Şekil 40. Akünün şarj durumu grafiği



Şekil 41. Gölge panellerin ışıma yoğunluğu grafiği

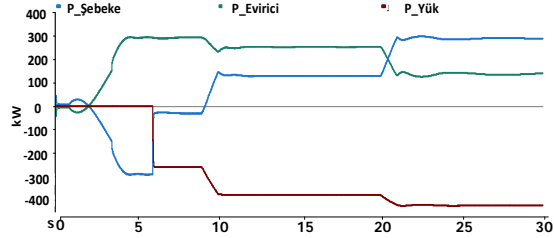


Şekil 42. Gölge panellerin hücre sıcaklığı grafiği

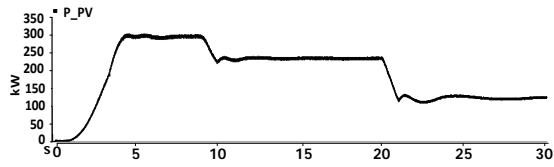
### 5.6. Senaryo 6

Bu senaryoda da senaryo 5'de olduğu gibi PV dizindeki panellerin %75'i  $1000 \text{ w/m}^2$  ışıma yoğunluğu ve  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklık değerlerinde çalışırken %25'i için ışıma yoğunluğu ve sıcaklık değerleri Şekil 46 ve 47'de verilmiştir. Senaryo 5'de olduğu gibi 10. ve 20. saniyelerde gölge hücrelerin ışıma yoğunluğu değerinin düşmesi sonucu PV dizinin çıkış gücünün düştüğü bunun sonucunda akünün deşarj olmaya başlayıp elektrik şebekesinden yüklere güç aktarıldığı görülmektedir. Senaryo

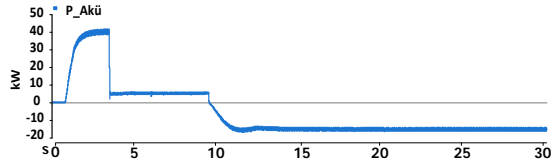
5'den farklı olarak yükün talebi de arttığı için elektrik şebekesinden talep edilen güç de artmıştır.



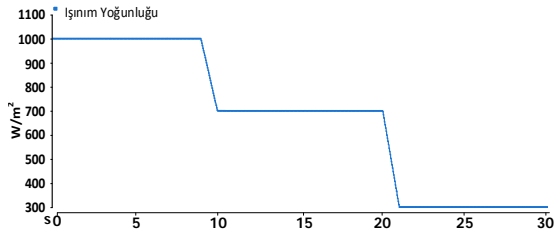
Şekil 43. Önerilen sistemin aktif güç grafiği



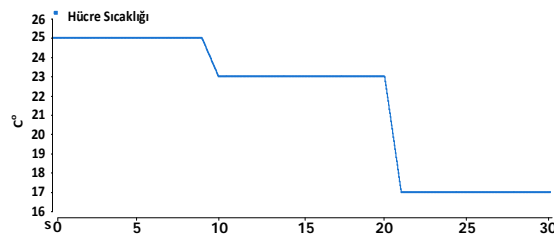
Şekil 44. PV dizinin aktif güç grafiği



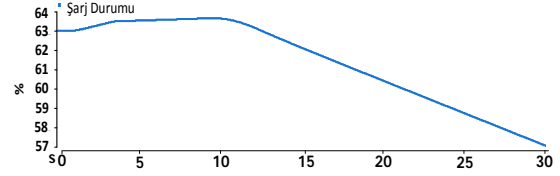
Şekil 45. Akünün aktif güç grafiği



Şekil 46. Gölgeleme panellerin ışınım yoğunluğu grafiği



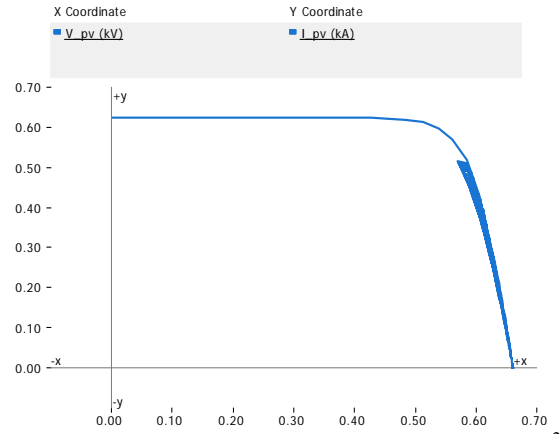
Şekil 47. Gölgeleme panellerin hücre sıcaklığı grafiği



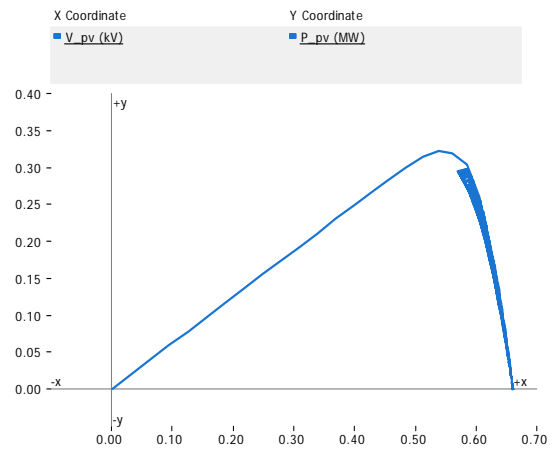
Şekil 48. Akünün şarj durumu grafiği

## 5.7. Gölgeleme Durumlarında PV Sistemin Karakteristiği

Şekil 49 ve 50 PV dizinin 1000 W/m<sup>2</sup> ve 25 °C'de çalışırken I-V ve P-V grafiklerini göstermektedir.

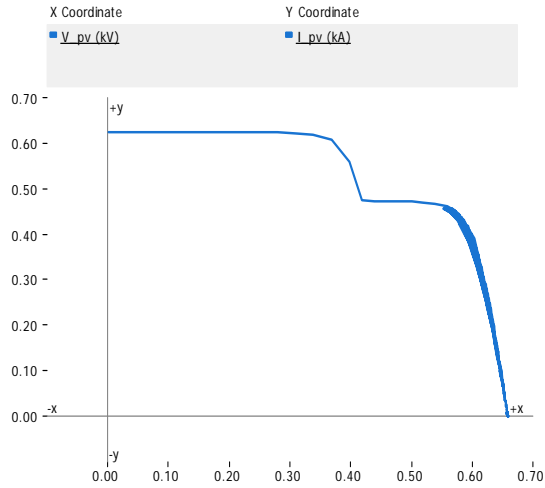


Şekil 49. PV dizinin I-V grafiği (1000 W/m<sup>2</sup> ışınım yoğunluğu ve 25 °C hücre sıcaklığında)

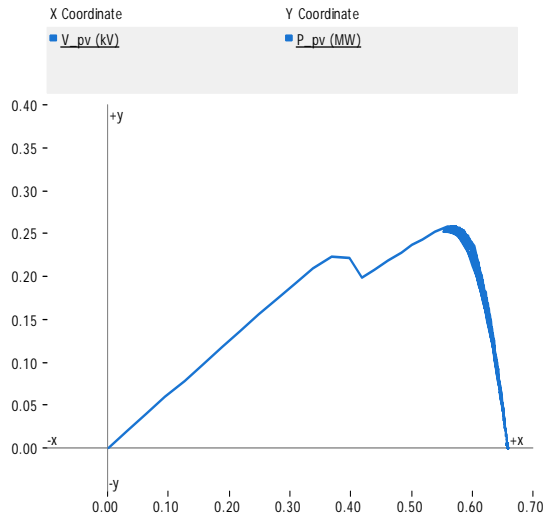


Şekil 50. PV dizinin P-V grafiği (1000 W/m<sup>2</sup> ışınım yoğunluğu ve 25 °C hücre sıcaklığında)

Şekil 51 ve 52 PV dizinin %75'i 1000 W/m<sup>2</sup> ve 25 °C'de, %25'i 700 W/m<sup>2</sup> ve 23 °C'de çalışırken I-V ve P-V grafiklerini göstermektedir.

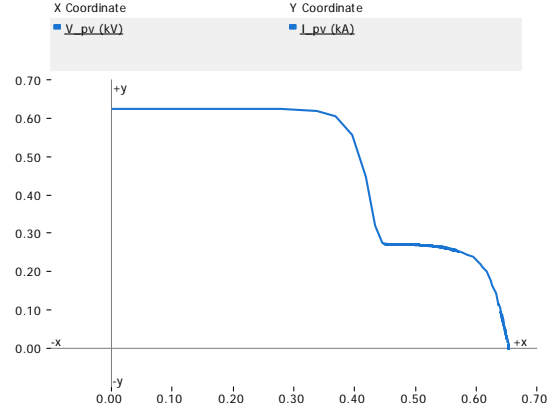


Şekil 51. PV dizinin I-V grafiği (%75'i 1000 W/m<sup>2</sup> ve 25 °C'de %25'i 700 W/m<sup>2</sup> ve 23 °C'de)

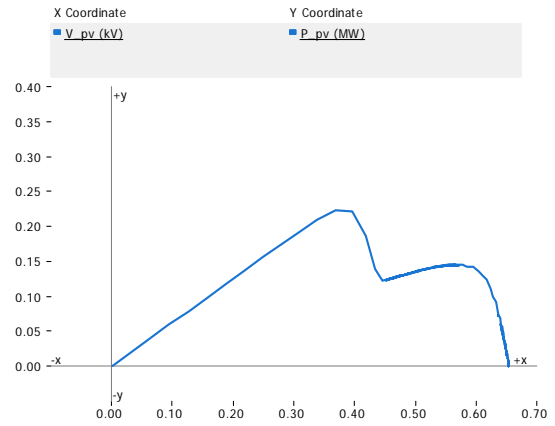


Şekil 52. PV dizinin P-V grafiği (%75'i 1000 W/m<sup>2</sup> ve 25 °C'de %25'i 700 W/m<sup>2</sup> ve 23 °C'de)

Şekil 51 ve 52 PV dizinin %75'i 1000 W/m<sup>2</sup> ve 25 °C'de, %25'i 300 W/m<sup>2</sup> ve 16 °C'de çalışırken I-V ve P-V grafiklerini göstermektedir.



Şekil 53. PV dizinin I-V grafiği (%75'i 1000 W/m<sup>2</sup> ve 25 °C'de %25'i 300 W/m<sup>2</sup> ve 16 °C'de)



Şekil 54. PV dizinin P-V grafiği (%75'i 1000 W/m<sup>2</sup> ve 25 °C'de %25'i 300 W/m<sup>2</sup> ve 16 °C'de)

Şekil 51-54'de kısmi gölgenleme durumundan dolayı grafiklerde iki adet tepe oluştuğu gözlenmektedir. Bu tepelerden biri LMPP, diğeri GMPP olarak adlandırılır. P-V grafikleri ile 5. ve 6. Senaryolardaki PV dizin aktif güç grafikleri (Şekil 38 ve Şekil 44) karşılaştırıldığında sistemin LMPP'de çalıştığı gözlenmektedir.

## 6. SONUÇ

Bu çalışmada PV, akü, lineer yük ve elektrik şebekesinden oluşan bir sistemin modellenmesi ve farklı gölgenleme senaryoları için performans

analizi gösterilmiştir. PV sistemin MPP izlemesi için P&O algoritması kullanılmış olup bu algoritmanın PV dizinin kısmi olarak gölgelendiği senaryolarda PV dizinin yerel maksimum güç noktalarında takılıp global maksimum güç noktasına ulaşmadığı gözlenmiştir. İleriki çalışmalar için 2. Başlıkta da bahsedilen literatürde son dönemde kısmi gölgeleme koşullarında MPPT için geliştirilmiş olan yöntemler uygulanarak bu çalışmada modellenen sistemin performansının artırılabilceği öngörülmektedir.

## 7. TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. (Proje Numarası: 10587).

## 8. KAYNAKLAR

1. Mohapatra, A., Nayak, B., Das, P., Mohanty, K.B., 2017. A Review on MPPT Techniques of PV System Under Partial Shading Condition Renewable and Sustainable Energy Reviews, 80, 854-86
2. 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.
3. Guichi, A., Talha, A., Berkouk, E.M., Mekhilef, S., Gassab, S., 2018. A New Method for Intermediate Power Point Tracking for PV Generator Under Partially Shaded Conditions in Hybrid System, Solar Energy, 170, 974-987.
4. Goud, J.S., Kalpana, R., Singh, B., 2018. A Hybrid Global Maximum Power Point Tracking Technique With Fast Convergence Speed for Partial-Shaded PV Systems, IEEE Transactions on Industry Applications, 54, 5367-5376.
5. Farzaneh, J., Keypour, R., Khanesar, M.A., 2018. A New Maximum Power Point Tracking Based on Modified Firefly Algorithm for PV System Under Partial Shading Conditions, Technology and Economics of Smart Grids and Sustainable Energy, Vol. 3.
6. Tang, R., 2017. Large-scale Photovoltaic System on Green Ship and its MPPT Controlling, Solar Energy, 157, 614-628.
7. Ramyar, A., Iman-Eini, H., Farhangi, S., 2017. Global Maximum Power Point Tracking Method for Photovoltaic Arrays under Partial Shading Conditions, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 64, 2855-2864.
8. Belhaouas, N., Cheikh, M.S.A., Agathoklis, P., Oularbi, M.R., Amrouche, B., Sedraoui, K., et al., 2017. PV Array Power Output Maximization Under Partial Shading Using New Shifted PV Array Arrangements, Applied Energy, 187, 326-337.
9. Wang, Y., Li, Y., Ruan, X., 2016. High-Accuracy and Fast-Speed MPPT Methods for PV String under Partially Shaded Conditions, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 63, 235-245.
10. Pati, A.K., Sahoo, N.C., 2016. A New Approach in Maximum Power Point Tracking for a Photovoltaic Array With Power Management System Using Fibonacci Search Algorithm Under Partial Shading Conditions, Energy Systems, 7, 145-172.
11. Ghasemi, M. A., Mohammadian Foroushani, H., Parniani, M., 2016. Partial Shading Detection and Smooth Maximum Power Point Tracking of PV Arrays Under PSC, IEEE Transactions on Power Electronics, 31, 6281-6292
12. Sabillon, C., Franco, J.F., Rider, M.J., Romero, R., 2018. Joint Optimal Operation of Photovoltaic Units and Electric Vehicles in Residential Networks With Storage Systems: A Dynamic Scheduling Method, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 103, 136-145.
13. Sani Hassan, A., Cipcigan, L., Jenkins, N., 2017. Optimal Battery Storage Operation for PV Systems with Tariff Incentives, Applied Energy, 203, 422-441.
14. Numbi, B.P., Malinga, S.J., 2017. Optimal Energy Cost and Economic Analysis of a Residential Grid-interactive Solar PV System-case of eThekweni Municipality in South Africa, Applied Energy, 186, 28-45.
15. Kumar, N., Hussain, I., Singh, B., Panigrahi, B.K., 2017. Single Sensor-Based MPPT of Partially Shaded PV System for Battery

- Charging by Using Cauchy and Gaussian Sine Cosine Optimization, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 32, 983-992.
16. Karimi, Y., Oraee, H., Golsorkhi, M.S., Guerrero, J.M., 2017. Decentralized Method for Load Sharing and Power Management in a PV/Battery Hybrid Source Islanded Microgrid, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 32, 3525-3535.
  17. Badawy M.O., Sozer Y., 2017. Power Flow Management of a Grid Tied PV-Battery System for Electric Vehicles Charging, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 53, 1347-1357.
  18. Mao, M., Zhou, L., Yang, Z., Zhang, Q., Zheng, C., Xie, B., Wan, Y., 2019. A Hybrid Intelligent GMPPT Algorithm for Partial Shading PV System. *Control Engineering Practice*, 83, 108-115.
  19. Liu, S.Y., Dougal, R.A., 2002. Dynamic Multiphysics Model for Solar Array, *Ieee Transactions on Energy Conversion*, 17, 285-294,
  20. Tremblay, O., Dessaint, L.A., Dekkiche, A.I., 2007. A Generic Battery Model for the Dynamic Simulation of Hybrid Electric Vehicles, 2007 *Ieee Vehicle Power and Propulsion Conference*, 1-2, 284-289.

