

## Yenilenebilir Sistemlerde Maksimum Güç Noktası Takibi ve Enerji Yönetimiyle Enerji Verimliliği

İrem ARHAN<sup>1\*</sup>, Mehmet Zeki BİLGİN<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, 41380, Kocaeli

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-9455-2441>

<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0003-3971-4230>

\*Sorumlu yazar: irem.arhan@hotmail.com

### Araştırma Makalesi

#### Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 23.05.2021

Kabul tarihi:26.08.2021

Online Yayınlanma:08.03.2022

#### Anahtar Kelimeler:

Yenilenebilir enerji  
Fotovoltaik sistemler  
Enerji yönetimi  
Enerji verimliliği

### ÖZ

Günümüzde enerji talepleri gitgide artmaktadır. Talep edilen enerjinin karşılanması için gelişen teknolojik cihazların ve yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Bu yapıların hayata geçirilmesiyle çevresel kirliliğinin önlenmesinin yanında enerji verimliliği de sağlanmaktadır. Günlük hayatta hem enerji gereksiniminin karşılanması hem de çevreye zarar vermeden kaynakların kullanılması adına yenilenebilir enerji kaynaklı sistemler tercih edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş, günümüzde enerji üretimi için kullanılan kaynakların başında gelmektedir. Fakat fotovoltaik (PV) panellerin enerji dönüşümündeki verimliliklerinin yeterli seviyede olmaması kullanım alanını kısıtlamaktadır. Fotovoltaik sistemler çevresel parametrelere bağlı olarak çalıştığından değişken koşullarda üretilen enerji her an aynı seviyede olmamaktadır. Fotovoltaik sistemlerin maksimum çıkış gücü sağlayarak çalıştığı maksimum güç noktasının takip (MPPT) edilip hep bu noktada çalıştırılmasıyla sistemden maksimum oranda enerji verimi sağlanmaktadır. Enerji verimliliği sadece üretimle ilgili değil, aynı zamanda enerjinin yönetilmesi ile de ilgilidir. Bu çalışmada fotovoltaik sistemlerde, sabit sıcaklık ve değişken ışınım değerleriyle çalışma durumunda MPPT algoritmaların ve geliştirilen enerji yönetim sistemi ile birlikte kullanılması ile sistemin enerji verimliliğinin artırılması sağlanmaya çalışılmıştır. Tüm sistem MATLAB/Simulink ortamında modellenerek benzetim sonuçları yorumlanmıştır.

## Energy Efficiency with Maximum Power Point Tracking and Energy Management in Renewable Systems

### Research Article

#### Article History:

Received: 23.05.2021

Accepted: 26.08.2021

Published online:08.03.2022

#### Keywords:

Renewable energy  
Photovoltaic systems  
Energy management  
Energy efficiency

### ABSTRACT

Today, energy demands are increasing gradually. In order to meet the requested energy, it is necessary to use the developing technological devices and methods. With the implementation of these structures, energy efficiency is ensured as well as preventing environmental pollution. In daily life, renewable energy source systems preferred in order to provide the energy requirements and to use sources without harming the environment. The sun, which is one of the renewable energy sources, is first of the sources used for energy production today. But, the efficiency of photovoltaic (PV) panels are not sufficient in energy conversion. This situation limits the usage area. Photovoltaic systems operate depending on different environmental parameters such as temperature and radiation. All the time, the energy produced isn't at the same level under variable conditions. The maximum power point of photovoltaic systems is tracked. With always operating the system at this point, maximum energy efficiency is achieved. Energy efficiency is not only about production, at the same time, about managing energy. In this study, it has been tried to increase

the energy efficiency of the system by using MPPT algorithms and the developed energy management system in the case of working with constant temperature and variable radiation values in photovoltaic systems. The all system was modelled in the MATLAB/Simulink. The simulation results were interpreted.

**To Cite:** Arhan İ., Bilgin MZ. Yenilenebilir Sistemlerde Maksimum Güç Noktası Takibi ve Enerji Yönetimiyle Enerji Verimliliği. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(1):75-91.

## Giriş

Yaşamda kaliteyi arttıran, sanayi üretimi için temel gereksinimlerden biri olan, ekonomik ve sosyal ilerlemeyi sağlayan en önemli unsurlardan biri elektrik enerjisidir. Nüfusun artması ve teknolojinin gelişmesi ile birlikte elektrik enerjisine duyulan ihtiyaç artarken, bunun aksine enerji kaynakları azalmaktadır. Dünya kaynaklarının tükenmesi, küresel ısınma gibi birçok sorun meydana gelmektedir. Doğal ve yenilenebilir kaynaklara yönelimin artırılması sadece çevre için değil gelecek için de önem arz etmektedir. Bu nedenle birincil ve yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi elde etmek, en etkin çözüm olarak görülmektedir. Dünyada birçok ülke güneş, rüzgâr, su gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının meydana getirdiği sistemleri hayatlarının merkezinde konumlandırmış durumdadırlar. Enerji elde etmek ne kadar önemli ise enerjinin verimli kullanılması, var olan enerji kaynaklarının çevreye zarar vermeden yaygınlaştırılması ve mevcut sistemle tümleşik yapıda olması da bir o kadar önemli hale gelmiştir. Günümüzde gitgide popüler olan yenilenebilir enerji kaynaklarının daha da fazla kullanımına ve şebekeye dahil edilmesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

Güneş, temel enerji kaynağıdır ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının temelini oluşturmaktadır. Alternatif enerji kaynakları içerisinde en popüler olanıdır. Elektrik enerjisi üretimi için fotovoltaik (PV) panellerin kullanımı enerji krizini ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmaktadır. Dünya çapında kullanımı hızla artan PV paneller aynı zamanda ülke çapında dışa bağımlılığı da azaltmaktadır. PV paneller, doğru akım üretmektedir. Bu sebeple, uygun güç ve gerilimdeki her türlü alıcı ile güç dönüştürücüleri yardımı ile bağlantı sağlanabilir. Panellerin kaynağının sınırsız olması ve çevre kirliliği oluşturmamasından dolayı tercih sebebidir. PV sistemlerin kurulum maliyetinin nispeten yüksek ve verimlerinin ise düşük olması gibi dezavantajların hafifletilmesi amacıyla çalışmalar yapılmaktadır. Üretim maliyetinin düşürülmesinin yanında panellerin maksimum verimde çalıştırılması da yapılan çalışmalar arasındadır.

Çevre dostu olan rüzgâr, güneş ve mikro hidroelektrik gibi yenilenebilir enerji kaynaklardan oluşmuş mikro şebekelerde enerji yönetimi stratejileri geliştirilerek daha verimli kullanılması sağlanmaktadır. Sözü edilen yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji, yükün ihtiyacından fazla ise artan enerji; batarya şarjı ve hidrojen üretimi gibi yöntemlerle depolanabilmektedir. Bu stratejilerin yanı sıra çalışmaların en başında yapılacak olan sistemin olabildiğince verimli bir şekilde tasarlanması gerekmektedir. Kullanılacak kaynağın coğrafi koşullara uygun olarak seçilmesi, artan enerjisinin sonradan kullanılabilir kılınması için uygun enerji depolama sisteminin seçilmesi ve sistemdeki cihazların optimum düzeyde çalışması için yönlendirici kontrol mekanizmalarının bulunması gerekmektedir.

PV panellerin verimliliğini etkileyen birçok parametre vardır. Bu parametrelerin göz önünde bulundurulmasıyla sistem tasarımının yapılması gerekmektedir. Aksi takdirde talep edilen enerji gereksinimi daha yüksek maliyetli ve geniş alan kaplayan sistemler tarafından karşılanması gerekmektedir. Panel girdisi olarak sıcaklık ve ışınım değerleri doğrudan üretilen gücü etkilemektedir. Bu parametrelerin çevresel faktör olmasından dolayı bölgesel olarak veri analizi yapılması gerekmektedir.

Sıcaklık değişiminden az etkilenen panel seçimiyle sürekli değişen hava koşullarına uyum sağlanabilir. Panel yüzeyine düşen ışınım miktarı ne kadar fazla olursa üretilen enerji miktarı da o kadar fazla olacaktır. Bu yüzden panelin olabildiğince ışınımın fazla olduğu bölgelerde konumlandırılması gerekmektedir. Işınım gereksiniminin dışında hava güneşli dahi olsa gölgelenme olabilmektedir. Bunun için sisteme, güneş takip sistemleri eklenebilmektedir. Değişken koşullarda dahi olsa panelde optimum oranda verim sağlayabilmek için maksimum güç noktasının takip edilmesi gerekmektedir (Mousazadeh ve ark., 2009).

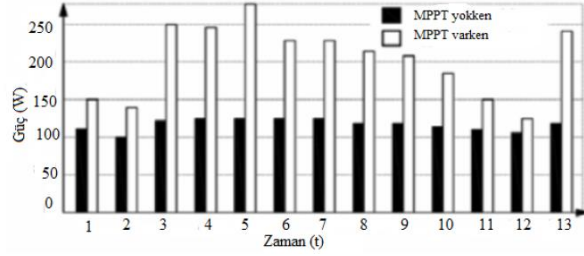
Sistem tasarımı ve cihaz seçiminde olabildiğince verimlilik oranı göz önünde bulundurularak seçimler yapıldığında oluşturulan sistem bir o kadar verimli hale gelmektedir. Sadece enerji üretiminde verimin sağlanması yeterli değildir. Aynı zamanda enerjinin doğru yönlendirilmesi ve kullanılması da gerekmektedir. Bu durum genel olarak sistem verimliliğini etkilemektedir. Enerji yönetim stratejileri sayesinde enerji sürekliliğini sağlayan ve talebi karşılama bile yarını bugünden planlayarak olabilecek durumların önceden düşünülmesiyle çözüm sağlanmaktadır.

Bu çalışmada, tasarlanan konut tipi yenilenebilir enerji üretim sisteminde, MPPT ve enerji yönetim sisteminin verimliliğe etkisi MATLAB/Simulink modeli kullanılarak incelenmiştir.

### **Maksimum Güç Noktası Takibi**

Havadaki en ufak değişiklik panellerdeki üretilen enerjiyi doğrudan etkilemektedir. Işınım ve sıcaklık bu durumdaki en önemli değişken parametrelerdir. Çevresel faktörlere bağlı olduğu için her an her durumda aynı miktarda enerji üretimi söz konusu değildir. Bölgesel olarak değişen elde edilen enerji miktarı gün içerisinde gölgelenmeye bağlı olarak değişmektedir. Yaz aylarında, öğlen vakitlerinde üretilen enerji miktarı kış aylarında, akşam vakitlerinde üretilen enerji miktarına göre fazla olmaktadır. Her an aynı enerji miktarı elde edilemese bile panelden elde edilebilecek enerji miktarını optimum düzeyde tutacak MPPT (Maximum Power Point Tracking - Maksimum Güç Noktası Takibi) sistemleri kullanılmaktadır.

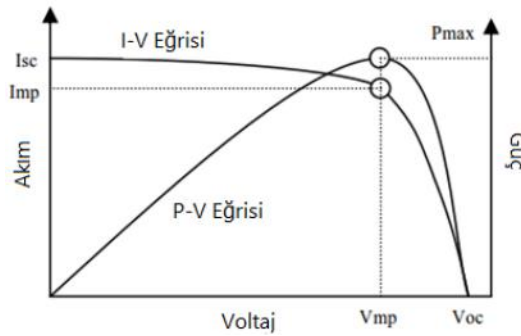
MPPT, panelin güç verimliliğini arttıran bir tekniktir. Bu teknik sayesinde elde edilen çıkış gücü kontrolsüz olarak elde edilen güce oranla %45 civarında arttırabilmektedir (Panwar ve Saini, 2012). Şekil 1'de MPPT'li ve MPPT'siz elde edilen güçlerin karşılaştırılması verilmiştir. Elde edilen güç, ışınım ve sıcaklığa bağlı olarak yalnızca uygun akım-gerilim değerinde en yüksek değere ulaşır.



Şekil 1. MPPT'li ve MPPT'siz elde edilen güçler (Panwar ve Saini, 2012)

Bu değer, PV eğrisindeki bir noktayı temsil etmektedir. Panel tarafından üretilen maksimum kapasiteyi göstermektedir (Khatib ve ark., 2010; Chaichan ve ark., 2015). Maksimum güç noktasının belirlenmesi için tasarlanacak PV sistemin ve yükün arasında uygun izleyicinin konulması gerekmektedir. Sistemi ve çevresel parametrelerdeki değişiklikleri takip eden bir mekanizmanın olması panelden maksimum oranda faydalanılması ve verimliliğin artması açısından önemlidir.

PV panelin çalışma karakteristiği göz önünde bulundurulduğunda, enerji üretiminin maksimum seviyede olması her zaman bu enerjinin sistem tarafından maksimum oranda yüke aktarıldığı anlamına gelmez. PV paneller geniş akım ve gerilim alanında çalışmaktadır. Bu durum çalışmasının çevresel faktörlere bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. Fakat Şekil 2'de görüldüğü gibi bu geniş çalışma aralığında gücün maksimum seviyeye ulaştığı sadece bir tane maksimum güç noktası bulunmaktadır (Özçelik, 2015). Her zaman bu nokta aynı değerde bulunmamaktadır. Işıma, sıcaklık, PV panel eğimi, PV panel yaşlanması gibi çevresel şartlar ve yapısal özellikler bu noktayı değiştirebilmektedir. Değişken olan bu noktanın takip edilmesi ve sistemin bu nokta üzerinde çalışılmaya zorlanması gerekmektedir.



Şekil 2. PV panelin çalışma eğrisi ve maksimum güç noktasının değişimi

Panelin ürettiği güç doğrudan yüke aktarılması için bağlandığında, panel çıkışı nadiren maksimum güç noktasında çalışmış olacaktır ve bu çalışma noktası optimal değildir. MPPT sistemlerin yük ve panel arasına bağlanmasıyla bu durum kontrol altına alınmış olmaktadır. MPPT sistemi, çevresel koşulların takibinden sonra PV sistemin bu noktada çalışmasını ve her değişiklikte de bu noktanın tespit edilmesiyle o noktada çalışmasına devam etmesini sağlamaktadır.

DC/DC dönüştürücüler, kaynak ve yük arasında maksimum enerji aktarımını sağlayan önemli devre elemanlarıdır. Panel ve yük arasına eklenmesiyle panelin ürettiği akımı veya gerilimi kontrol ederek yüke her zaman optimal düzeyde enerjinin aktarılmasını sağlar. Bu durum, maksimum güç izleyici yöntemleri kullanılarak DC/DC dönüştürücü kontrolüyle sağlanmaktadır. Sistemdeki yük profili, değişken atmosferik koşullar ve sistemin çalışma yapısı gibi değişken durumlardan dolayı günümüze kadar birçok farklı çeşitte MPPT yöntemi geliştirilmiştir. En çok bilinen ve yaygın olan Değiştir ve Gözle (P&O), Arttırılmış İletkenlik (IC) ve Bulanık Mantık tabanlı yöntemlerdir.

#### *Değiştir ve Gözle (P&O) Yöntemi*

MPPT çalışmalarında kullanılan en yaygın yöntemdir. Sağladığı kabul edilebilir doğruluğa sahip olması ve kolay uygulanabiliyor olması tercih sebebidir. Ayrıca yöntemin sistem parametrelerine bağlı olmaması en büyük avantajlarından biridir. Ani ışınım değişimlerine karşı hızlı cevap vermemesi dezavantajıdır.

Yöntem, maksimum güç noktasının bulunması için panel geriliminin veya akımının değiştirilmesiyle gerçekleşen değişikliğin gözlemlenmesine dayanır. Gerilim veya akımda bir yönde yapılan değişiklik sonucu güçte artışa neden oluyorsa aynı yönde gerilim veya akımda değişikliğe devam edilir. Güçte azalma meydana geliyorsa tersi yönde değişiklikler gerçekleştirilir. Tablo 1’de bu değişimlerin yönleri ve güçteki değişimle sonraki adımdaki değişim yönleri verilmiştir. Bu işlem maksimum güç noktasına ulaşılan kadar devam ettirilir (Khadidja ve ark., 2017).

**Tablo 1. P&O yöntemin işleyiş adımları**

Değişim	Güçteki Değişim	Sonraki Değişim
Pozitif	Pozitif	Pozitif
Pozitif	Negatif	Negatif
Negatif	Pozitif	Negatif
Negatif	Negatif	Pozitif

Sonrasında bu güç noktası çevresinde salınım meydana gelir. Salınımın azaltılması için değişim adımları küçültülmektedir. Fakat bu adım küçülmesinden dolayı maksimum güç noktasına ulaşım süresi de uzamaktadır. Bu sebeple maksimum güç noktasından uzakta olduğunda adımları daha büyük tutarak hızlı bir şekilde güç noktasına ulaşırken, güç noktasına yakın olduğu zaman adımların daha düşük tutulması bu soruna çözüm sunmaktadır (Ullah ve ark., 2019).

#### *Artan İletkenlik Yöntemi*

Artan iletkenlik yönteminde, panel güç-gerilim eğrisinin eğiminin incelenmesiyle sistemin maksimum güç noktasının nerede olduğuna karar verilerek panel çalışma gerilimi ona göre değiştirilmektedir (Ayserim ve Ay, 2019). Tablo 2’de sistemin çalışma geriliminin eğimine göre konumu verilmiştir.

**Tablo 2.** Artan iletkenlik yöntemiyle maksimum güç noktasının bulunması

Eğim	Sistemin Çalışma Gerilimi
$dP/dV=0$	Maksimum Güç Noktasında
$dP/dV>0$	Maksimum Güç Noktasının Solunda
$dP/dV<0$	Maksimum Güç Noktasının Sağında

İletkenlik eğim denklemi eşitlik (1)'e göre düzenlenirse Tablo 3 elde edilir.

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \cong I + V \frac{\Delta I}{\Delta V} \quad (1)$$

**Tablo 3.** Tablo 2'nin eşitlik (1)'e göre düzenlenmiş hali

Eğim	Sistemin Çalışma Gerilimi
$\Delta I/\Delta V = -I/V$	Maksimum Güç Noktasında
$\Delta I/\Delta V > -I/V$	Maksimum Güç Noktasının Solunda
$\Delta I/\Delta V < -I/V$	Maksimum Güç Noktasının Sağında

Artan iletkenlik yöntemi, değiştir ve gözle yöntemiyle benzerlik göstermektedir. Fakat maksimum güç noktasının eğim üzerinden bulunması ani atmosfer değişikliğinde ve düşük radyasyon değerlerinde P&O yöntemine göre daha iyi sonuç vermektedir. Adım aralığına bağlı olarak maksimum güç noktası etrafında salınımlar oluşmaktadır. Adım aralığının büyük olması takip hızını arttırmasına karşın sistem verimliliğini olumsuz etkilemektedir. Karmaşık bir kontrol devresine gereksinim duyması da diğer dezavantajdır (Reisi ve ark., 2013; Deveci ve Kasnakoğlu, 2014). Bu çalışmada oluşturulan MPPT yapısı artan iletkenlik yöntemi kullanılarak oluşturulmuştur.

### **Enerji Yönetimi**

İlerleyen teknoloji ve artan nüfusla enerji talepleri artmaktadır. Taleplerin karşılanabilmesi amacıyla birçok enerji üretim sistemleri kurulmuştur. Oluşturulan bu sistemlerin olabildiğince fazla enerji üretmesi enerji verimliliği açısından yeterli değildir. Enerji üretimi dışında dağıtımının ve kullanımının da verimli bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Kaynakların ve enerjinin verimli kullanılmasına yönelik yapılan çalışmaların hepsi enerji yönetimini kapsamaktadır. Enerji yönetim sistemleri; üretimden, kaliteden ve güvenlikten ödün vermeyen çalışmalardır. Amaç, yapılabilecek çalışmalar ve önlemlerle enerji tasarrufu sağlamak ve üretim maliyetlerini en aza indirmektir (Olatomiwa ve ark., 2016).

Sistem verimliliği için sadece üretimin optimum düzeyde olması yeterli değildir. Optimum üretimin yanında enerji kullanımında da verimli olması gerekmektedir. Üretilen enerjinin olabilecek durumlara karşı verimli bir şekilde yönlendirilmesiyle verimlilik artmaktadır. Enerji yönetim algoritmaları sayesinde kullanıcıların talepleri göz önünde bulundurularak o an olabilecek en optimum çözümün sistemde uygulanması sağlanır (Capehart ve ark., 2016).

Artan iklim değişikliği ve küresel ısınmadan dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmıştır. Sadece üretim tesislerinde değil konut tipi yapılarda da bu tür sistemlerin yaygınlaşması git gide artmaktadır. Özellikle birçok yenilenebilir sistemin bir arada kullanıldığı hibrit sistemler sayesinde her an talepler karşılanmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklı sistemlerde yapılan enerji yönetimiyle üretim kaynaklarının hibrit bağlanarak üretilen enerjiyi yüke aktarmak veya artan enerjinin ihtiyaç halinde kullanılabilmesi için depolama birimlerinde depolanması sağlanmaktadır. Depolama biriminin dolu olması halinde artan enerjinin farklı bir birim tarafından kullanması amacıyla yönlendirilmektedir. Ayrıca ana üretim kaynağının ve depolama biriminin talep için yeterli gelmediği durumlarda hibrit sistemdeki diğer kaynaklardan talebin karşılanmasına olanak sağlamaktadır. Böylece enerjinin verimli üretimi ve kullanımının yanı sıra enerji sürekliliğini de sağlamış olmaktadır (Leitão ve ark., 2020).

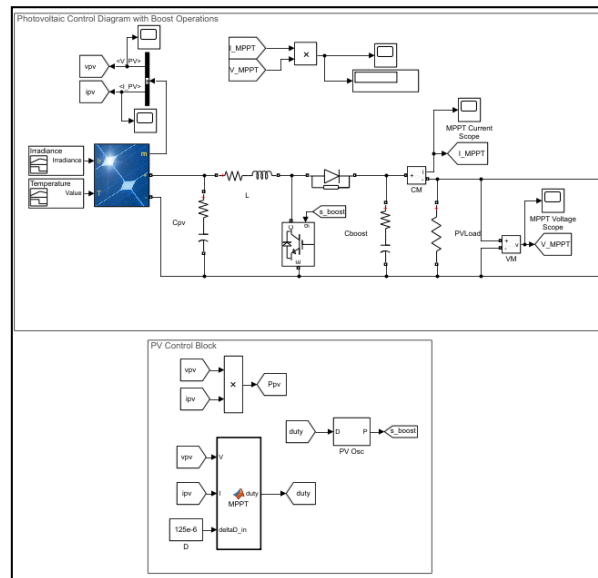
### Sistemin Modellenmesi

Yenilenebilir enerji sistemlerinden PV panel ve yakıt hücresi ile beslenen, enerji depolama birimi olarak batarya kullanan, gerektiğinde ihtiyaç fazlası enerjiyi şebekeye aktarabilen ve enerji yönetim sistemine sahip konut tipi enerji üretim sistemi tasarlanmıştır.

Sistem, MATLAB/Simulink üzerinde modellenmiştir ve oluşturulan modelin genel yapısı Şekil 5'te verilmiştir. Sabit sıcaklık (25 °C), değişken ışınım değerlerinde sistemin çalışmasıyla MPPT kullanımı sonucunda sisteme aktarılan güç değerindeki değişimin ve enerjinin enerji yönetim algoritmasına bağlı kullanımıyla sistemdeki enerji verimliliğine etkileri incelenmiştir.

### PV ve MPPT Modeli

Şekil 3'te MATLAB/Simulink ortamında tasarlanan sistemin PV sistem modeli verilmiştir.



Şekil 3. PV sistem Simulink modeli

Oluşturulan modelde, ışınım ve sıcaklık değerleri panel için giriş verilerini oluşturmaktadır. Girilen değerler sonucunda panel çıkışında akım ve gerilim çıktıları oluşmuştur. Panelin artı ve eksi kutupları DC/DC dönüştürücünün besleme uçlarına bağlanmıştır. MPPT biriminde, maksimum güç noktasını belirleyecek fonksiyon bulunmaktadır. Panelin çıkış akımı ve gerilimi fonksiyonun girdilerini oluşturmaktadır. Bu veriler panelden alınmaktadır. MPPT biriminde çıktı olarak darbe genişlik modülasyonu (PWM) elde edilir. PWM, DC/DC dönüştürücüde anahtarlama elemanının tetikleme ucuna bağlanarak DC/DC dönüştürücünün doluluk oranı ile kontrol edilir. MPPT birimi kullanılmadığı zaman DC/DC dönüştürücüdeki anahtarlama elemanı, PWM generatör tarafından üretilen sabit bir doluluk oranı ile tetiklenir. Tablo 4’te kullanılan panelin elektriksel değerleri verilmiştir (Deveci ve Kasnakoğlu, 2014).

**Tablo 4.** Panel parametre değerleri

Parametre	Değer
Kısa Devre Akımı (A)	7,84
Açık Devre Gerilimi (V)	36,3
Maksimum Güçte Akım (A)	7,35
Maksimum Güçte Gerilim (V)	29

Yükseltici tip DC/DC dönüştürücünün çıkış gerilimi eşitlik (2)’de verildiği gibi (Hashim ve ark., 2018);

$$V_c = \left( \frac{1}{1-D} \right) V_g \quad (2)$$

hesaplanır. D, doluluk-boşluk oranıdır. Sistemde kullanılan endüktans ve kapasitans değerlerinin belirlenmesi için ortalama akımın endüktansa bağlı ifadesi eşitlik (3)’te, ortalama gerilimin kapasitansa bağlı ifadesi ise eşitlik (4)’te verilmiştir.

$$\Delta I_L = \frac{V_c(1-D)D}{Lf_s} \quad (3)$$

$$\Delta V_c = \frac{V_c D}{RCf_s} \quad (4)$$

Eşitlik (3) ve (4) birleştirilerek kapasitans ve endüktans arasındaki ilişki eşitlik (5)’teki gibi bulunur. Tablo 5’te tasarlanan yükseltici tip dönüştürücünün devre elemanlarının parametre değerleri verilmiştir.

$$\Delta V_c = \frac{\Delta I_L L}{RC(1-D)} \quad (5)$$



**Tablo 5.** Yükseltici tip dönüştürücünün devre elemanlarının parametre değerleri

Elemanlar	Değer
C <sub>pv</sub>	0,1 mΩ - 100 μF
L	0,1 Ω - 5 mH
C <sub>boost</sub>	0,1 mΩ - 3300 μF
PVLoad	6 Ω

#### *Enerji Yönetim Algoritması*

Enerji yönetim algoritması, üretilen enerjinin o an için sistemlerin durumuna göre enerjinin verimli bir şekilde yönlendirilmesini sağlamaktadır. Enerjinin yönlendirilmesi sistemdeki anahtarların konumlarının değiştirilmesiyle sağlanmıştır.

Tasarlanan sistemin talep gücü 560 W'dır. 24 V, 50 Ah'lık batarya sistemi; 1,26 kW, 24 V'luk PEM tipi yakıt hücresi kullanılmıştır. Sistemdeki enerjinin verimli bir şekilde yönlendirilmesi üzerine 5 farklı senaryo düşünülmüştür.

Senaryo 1: Panelin ürettiği güç, sistem tarafından talep edilen güç (yük) değerinden fazladır. Talep, panel tarafından karşılanmaktadır. Artan gücün kullanılması üzerine durum kontrolü yapılır. Batarya doludur. Bu yüzden artan gücün tamamı şebekeye satılır.

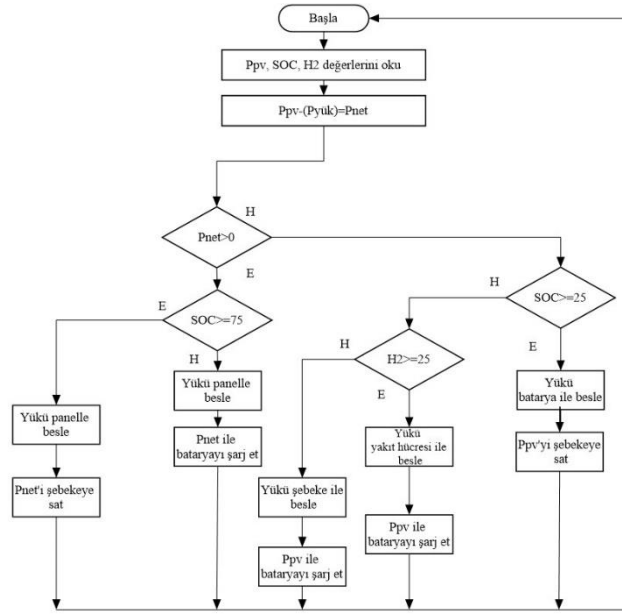
Senaryo 2: Panelin ürettiği güç, talep edilen güç değerinden fazladır. Talep, panel tarafından karşılanmaktadır. Artan gücün kullanılması üzerine durum kontrolü yapılır. Batarya yarı dolu veya boştur. Bu yüzden artan güç, batarya şarjı için kullanılır.

Senaryo 3: Panelin ürettiği güç, talep edilen güç için yeterli değildir. Talebin karşılanabilmesi için durum kontrolü yapılır. Batarya doludur ve talep batarya tarafından karşılanır. Panelin ürettiği güç ise şebekeye satılır.

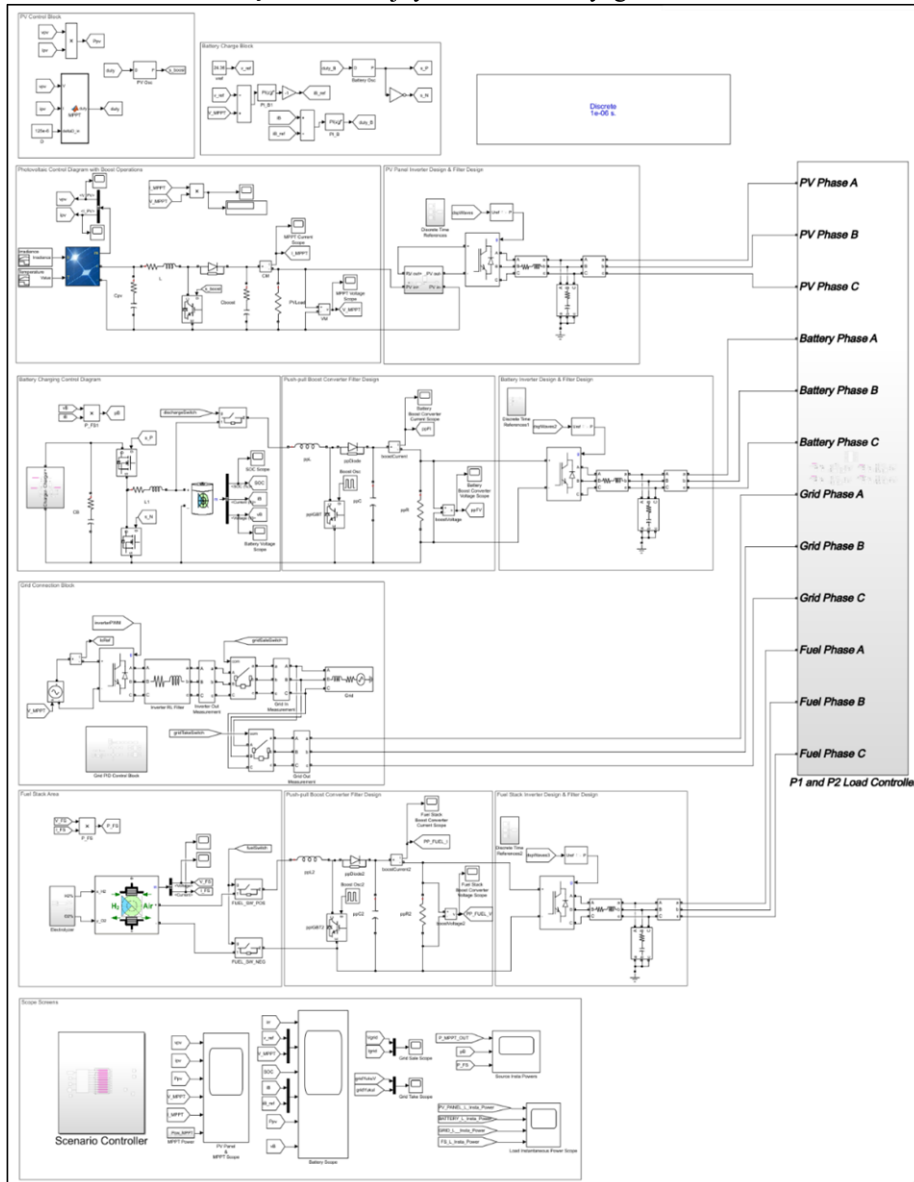
Senaryo 4: Panelin ürettiği güç, talep edilen güç için yeterli değildir. Talebin karşılanabilmesi için durum kontrolü yapılır. Batarya boştur fakat yeterli miktarda hidrojen bulunmaktadır. Talep, yakıt hücresi tarafından karşılanır. Panelin ürettiği güç ise batarya şarjı için kullanılır.

Senaryo 5: Panelin ürettiği güç, talep edilen güç için yeterli değildir. Talebin karşılanabilmesi için durum kontrolü yapılır. Batarya boştur, yakıt hücresinde yeterli hidrojen yoktur. Bu yüzden talep şebeke tarafından karşılanır. Panelin ürettiği güç ise batarya şarjı için kullanılır.

Şekil 4'te senaryoları içeren enerji yönetim algoritmasının blok diyagramı bulunmaktadır.



Şekil 4. Enerji yönetimi blok diyagramı



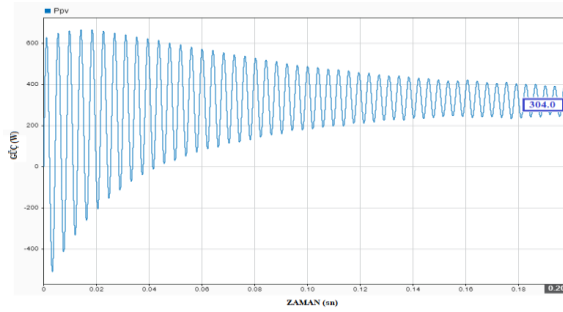
Şekil 5. Oluşturulan modelin genel yapısı

## Benzetim Sonuçları

İlk olarak sistem, MPPT etkisinin gözlemlenebilmesi için 25 °C sıcaklıkta 600 W/m<sup>2</sup> ve 650 W/m<sup>2</sup> ışınım değerlerinde çalıştırılarak güç değerleri ölçülmüştür. Sonrasında enerjinin kullanımına dair senaryolar işletilerek kaynakların yük üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir.

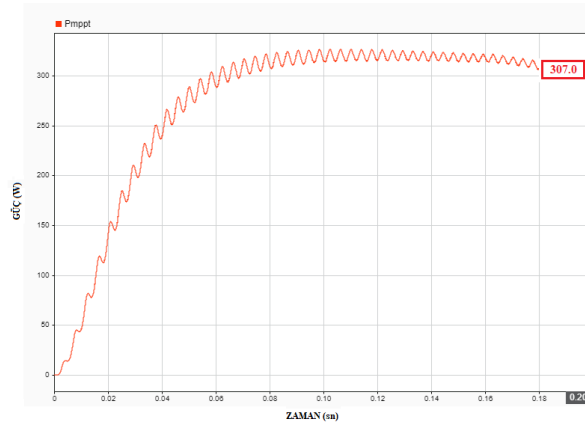
### MPPT Etkisi

Şekil 6'da MPPT etkisi olmadan 600 W/m<sup>2</sup> ışınımında sistemin çalıştırılması sonucunda zamana bağlı elde edilen güç değişimi verilmiştir.



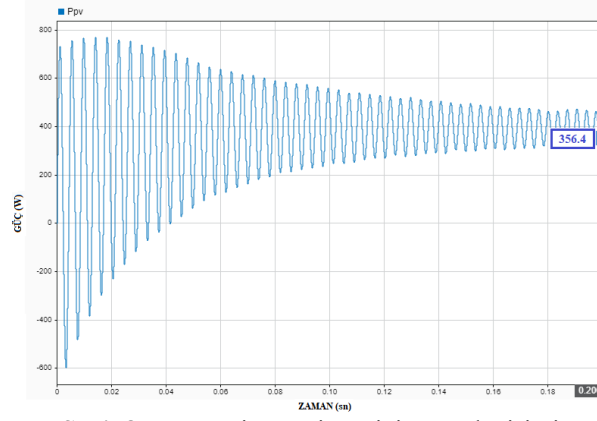
Şekil 6. MPPT'siz PV sisteminin güç değişimi

Şekil 7'de MPPT etkisi varken 600 W/m<sup>2</sup> ışınımında sistemin çalıştırılması sonucunda zamana bağlı elde edilen güç değişimi verilmiştir.

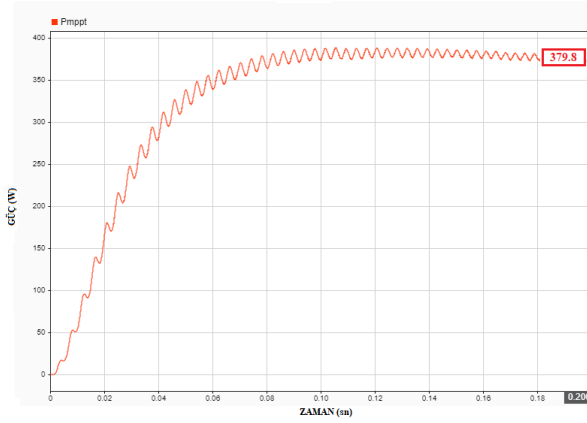


Şekil 7. MPPT'li PV sisteminin güç değişimi

Elde edilen veriler incelendiğinde 600 W/m<sup>2</sup> ışınım değerinde 0,2 anında MPPT etkisi yok iken 304 W, MPPT etkisi var iken 307 W güç ölçülmüştür. Aynı işlemler 650 W/m<sup>2</sup> ışınım değeri için uygulandığında Şekil 8'de MPPT etkisi olmadan, Şekil 9'da MPPT etkisiyle çalıştırılması sonucunda zamana bağlı elde edilen güç değişimleri verilmiştir.



Şekil 8. MPPT'siz PV sisteminin güç değişimi



Şekil 9. MPPT'li PV sisteminin güç değişimi

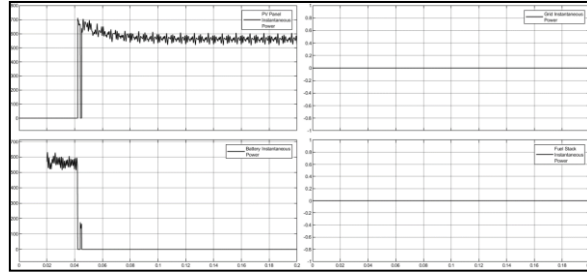
Elde edilen veriler incelendiğinde  $650 \text{ W/m}^2$  ışınım değerinde 0,2 anında MPPT etkisi yok iken 356,4 W, MPPT etkisi var iken 379,8 W güç ölçülmüştür.

Sonuçlar incelendiğinde  $50 \text{ W/m}^2$ 'lik ışınım miktarı artışında her iki durumdaki çıkış güçleri arasındaki farka baktığımızda  $600 \text{ W/m}^2$  ışınım durumunda 3 W,  $650 \text{ W/m}^2$  ışınım durumunda ise 23,4 W'lık bir fark bulunmaktadır. MPPT kullanıldığında ışınım miktarı arttıkça verimde, MPPT kullanılmayan duruma göre artış görülmektedir.

MPPT yapısının bu tarz üretim sistemlerinde kullanılması talep edilen gücün karşılanması açısından önem arz etmektedir. MPPT kontrol yapısı, panelin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayarak sistemin verimliliğinin artmasını sağlamaktadır. MPPT kullanımıyla panelin daha verimli şekilde kullanılmasını sağlamak daha az panel kullanımıyla maliyetin de düşürülebileceği görülmektedir.

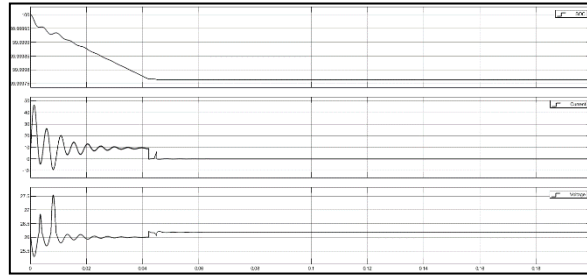
#### *Enerji Yönetimi Algoritması*

Sistemde Senaryo 1'in işletilmesiyle kaynakların yük üzerindeki etkisine bakıldığında 560 W'lık talebin panel tarafından karşılandığı Şekil 10'da görülmektedir.



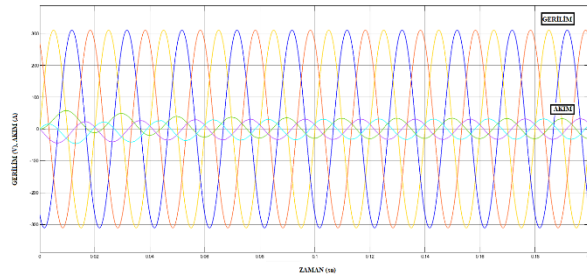
Şekil 10. Kaynakların 1. senaryoya göre yük üzerindeki etkisi

Artan gücün kullanımı için durum kontrolü yapıldığında bataryanın dolu olduğu Şekil 11’de görülmektedir.



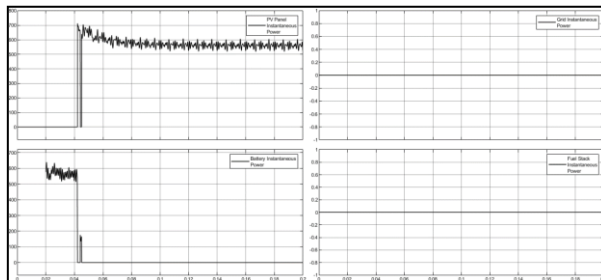
Şekil 11. Senaryo 1 için bataryanın anlık SOC, akım ve gerilim ölçümleri

Artan güç bataryada da kullanılmadığı için Şekil 12’de gösterildiği gibi şebekeye satılmıştır.



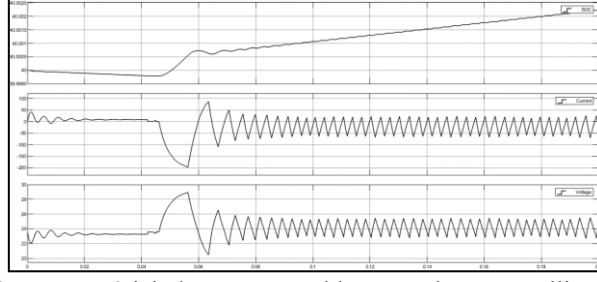
Şekil 12. Şebekeye satış

Sistemde Senaryo 2’nin işletilmesiyle kaynakların yük üzerindeki etkisine bakıldığında 560 W’lık talebin panel tarafından karşılandığı Şekil 13’te görülmektedir.



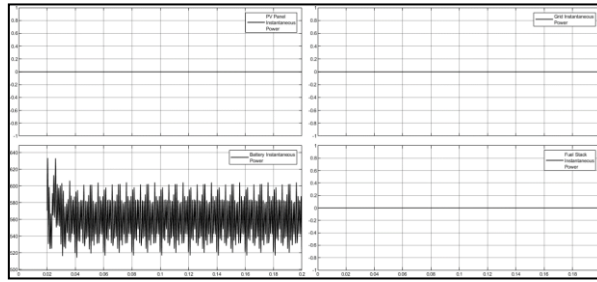
Şekil 13. Kaynakların 2. senaryoya göre yük üzerindeki etkisi

Durum kontrolü yapıldığında batarya boş olduğu için artan gücün batarya şarjında kullanıldığı Şekil 14’te görülmektedir.



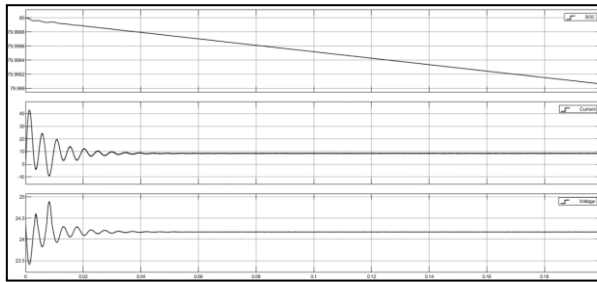
Şekil 14. Senaryo 2 için bataryanın anlık SOC, akım ve gerilim ölçümleri

Sistemde Senaryo 3'ün işletilmesiyle kaynakların yük üzerindeki etkisine bakıldığında panelin ürettiği güç yeterli gelmediği ve batarya dolu olduğu için 560 W'lık talebin batarya tarafından karşılandığı Şekil 15'te görülmektedir.



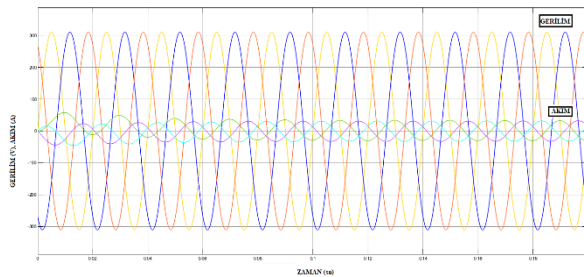
Şekil 15. Kaynakların 3.senaryoya göre yük üzerindeki etkisi

Talep, batarya tarafından karşılandığı için Şekil 16'da batarya deşarj durumu görülmektedir.



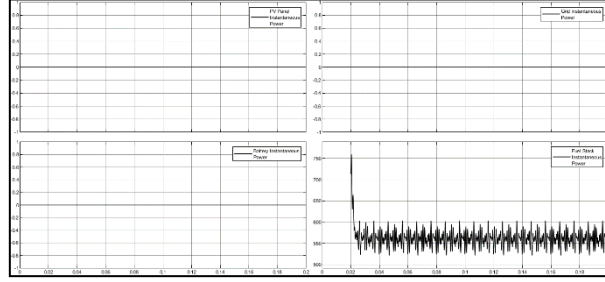
Şekil 16. Senaryo 3 için bataryanın anlık SOC, akım ve gerilim ölçümleri

Panelin ürettiği gücün ise şebekeye satıldığı Şekil 17'de gösterilmiştir.



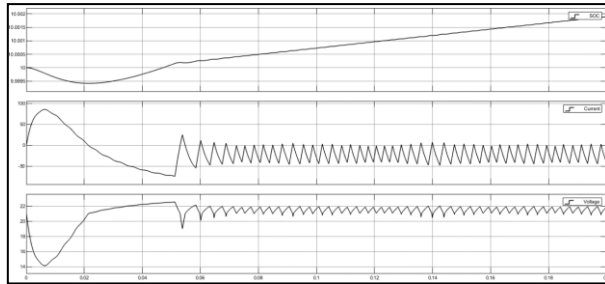
Şekil 17. Şebekeye satış

Sistemde Senaryo 4'ün işletilmesiyle kaynakların yük üzerindeki etkisine bakıldığında panelin ürettiği güç yeterli gelmediği, batarya boş olduğu için 560 W'lık talebin yakıt hücresi tarafından karşılandığı Şekil 18'de görülmektedir.



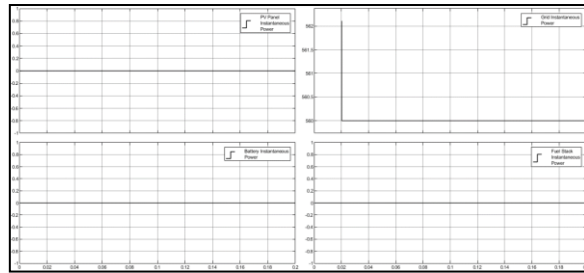
Şekil 18. Kaynakların 4.senaryoya göre yük üzerindeki etkisi

Panelin ürettiği gücün ise batarya şarjında kullanıldığı Şekil 19'da gösterilmiştir.



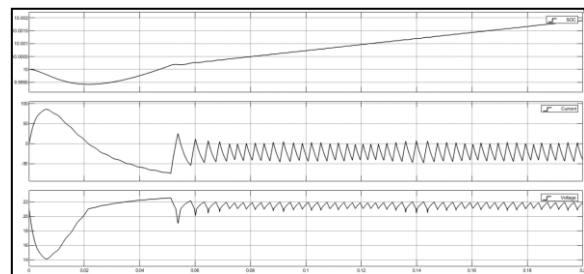
Şekil 19. Senaryo 4 için bataryanın anlık SOC, akım ve gerilim ölçümleri

Sistemde Senaryo 5'in işletilmesiyle kaynakların yük üzerindeki etkisine bakıldığında panelin ürettiği gücün yeterli gelmediği, bataryanın boş olduğu ve hidrojen miktarı yeterli gelmediği için 560 W'lık talebin şebeke tarafından karşılandığı Şekil 20'de gösterilmiştir.



Şekil 20. Kaynakların 5.senaryoya göre yük üzerindeki etkisi

Panelin ürettiği gücün ise batarya şarjında kullanıldığı Şekil 21'de gösterilmiştir.



Şekil 21. Senaryo 5 için bataryanın anlık SOC, akım ve gerilim ölçümleri

Enerji yönetim stratejisi sayesinde senaryolarla belirlenen durumların planlandığı şekilde işletildiği ve bu sayede enerjinin verimli bir şekilde yönlendirilmesiyle kullanıldığı gözlemlenmiştir.

### **Sonuç**

Yenilenebilir enerji üretim sistemlerinin kullanımının dışında bu sistemlerden maksimum oranda fayda sağlanabilmesi için sistemlerin olabildiğince verimlerinin artırılması gerekmektedir. Kaynağı güneş olan PV sistemlerde kullanılan MPPT, sistemin enerji verimini etkileyen en önemli unsurlardan biridir. MPPT'de kullanılacak yöntemin de doğru seçilmesi önem arz etmektedir. Bunun yanında sistemde enerji yönetim stratejisinin kullanılması sadece üretilen enerjide değil kullanılacak enerjinin de verimli bir şekilde yönlendirilmesi sağlanmaktadır.

Bu çalışmada MATLAB/Simulink ortamında PV sistem tasarımı yapılmış, sabit sıcaklık ve değişken ışınım değerleriyle çalıştırılarak güç değerleri ölçülmüştür. Panel verimini etkileyen unsurlardan biri olan MPPT kullanımının etkisi incelenmiş ve sistem için belirlenen senaryolar işletilerek enerji yönetimi gözlemlenmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre PV sistemlerde maksimum güç noktası takibi sağlandığında sistemin enerji üretiminde veriminin arttığı ve üretilen enerjinin senaryolara göre yönlendirilmesiyle sadece enerji üretiminde değil kullanımında da verimliliğinin sağlanabileceği gözlemlenmiştir. Bu sayede tasarlanan sistemin maksimum verimle kullanılması, daha az panel ile talep edilen gücü karşılayacağı ve yatırım maliyetlerinin düşürülebileceği, her anlamda enerji verimliliği sağlanabileceği sonuçları ortaya çıkmıştır.

Bu çalışma, devamında yapılacak çalışmalara yön verilmesini, üretilecek gücün günlük verilerle saptanarak enerji yönetimini ve yeni çalışmaların yapılmasını mümkün kılacaktır.

### **Teşekkür**

Bu çalışmayı yapmamızda desteğini esirgemeyen Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümüne teşekkür ederiz.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

### **Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

### **Kaynakça**

Ayserim MA., Ay S. Maksimum güç noktası izleyicisinde kullanılan artan iletkenlik algoritmasının FPGA tabanlı gerçekleştirilmesi. DÜMF Mühendislik Dergisi 2019; 10(1): 113-120.

Capehart BL., Kennedy WJ., Turner WC. Guide to energy management. 5th ed. New York: River Publishers; 2016.



- Chaichan MT., Mohammed BA., Kazem HA. Effect of pollution and cleaning on photovoltaic performance based on experimental study. *International Journal of Scientific and Engineering Research* 2015; 6(4): 594-601.
- Deveci O., Kasnakoglu C. Bir fotovoltaiik sistemden değişken güneş ışınım değerlerinde maksimum güç ve sabit DA gerilim elde edilebilmesine yönelik DA/DA dönüştürücü ve kontrolcü tasarımı. TOK 2014, 11-13 Eylül 2014, sayfa no: 187–193, Kocaeli.
- Hashim N., Salam Z., Johari D., Ismail NFN. DC-DC boost converter design for fast and accurate MPPT algorithms in stand-alone photovoltaic system. *International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS)* 2018; 9(3): 1038-1050.
- Khadidja S., Mountassar M., M'hamed B. Comparative study of incremental conductance and perturb & observe MPPT methods for photovoltaic system. 2017 International Conference on Green Energy Conversion Systems (GECS) 2017, 23-25 March 2017, Tunisia.
- Khatib TT., Mohamed A., Amin N., Sopian K. An efficient maximum power point tracking controller for photovoltaic systems using new boost converter design and improved control algorithm. *WSEAS Transactions on Power Systems* 2010; 5(2): 53-63.
- Leitão J., Gil P., Ribeiro B., Cardoso A. A survey on home energy management. *IEEE Access* 2020; 8(12): 5699-5722.
- Mousazadeh H., Keyhan A., Javadi A., Mobli H. A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2009; 13: 1800-1818.
- Olatomiwa L., Mekhilef S., Ismail MS., Moghavvemi M. Energy management strategies in hybrid renewable energy systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2016; 62: 821-835.
- Özçelik MA. Fotovoltaiik sistemlerde verim ve performansın arttırılmasına yönelik maksimum güç noktası izleyicisi tasarımı. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Kahramanmaraş, Türkiye, 2015.
- Panwar S., Saini RP. Development and simulation of solar photovoltaic model using MATLAB/simulink and its parameter extraction. *International Conference on Computing and Control Engineering (ICCCE)*, 12-13 April 2012, pp: 2-5, India.
- Reisi AR., Moradi HM., Jamasb S. Classification and comparison of maximum power point tracking techniques for photovoltaic system: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2013; 19: 433-443.
- Ullah K., Wang Y., Zaman A., Imtiaz HH., Ahmad SM., Kumar B. Maximum power point technique (MPPT) for PV system based on improved pert and observe (P&O) method with PI controller. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* 2019; 6(12): 813-819.