

Fotovoltaik Bir Panelin Matlab@Simulink ile Modellenmesi ve Dış Ortam Koşullarındaki Davranışının İncelenmesi

İlyas ALADAĞ¹ ORCID 0000-0003-1897-4332
Bülent YANIKTEPE^{*2} ORCID 0000-0001-8958-4687

¹Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kadırlı Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Osmaniye

²Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Osmaniye

Geliş tarihi: 22.02.2022

Kabul tarihi: 30.06.2022

Atıf şekli/ How to cite: ALADAĞ, İ., YANIKTEPE, B., (2022). Fotovoltaik Bir Panelin Matlab@Simulink ile Modellenmesi ve Dış Ortam Koşullarındaki Davranışının İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(2), 471-481.

Öz

Temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi sera gazı emisyonu oluşturmaması, sınırsız kaynak potansiyeli ve kaynak erişilebilirliği gibi olumlu etkileri nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir. Bu nedenle ülkemizde güneş enerjisi santrallerinden elektrik üretimi oldukça yaygındır. Güneş enerjisinden elektrik üretimi, fotovoltaik (FV) hücrelerin güneş ışınımını elektrik enerjisine dönüştürmesi ile gerçekleşmektedir. Bu çalışmada Matlab@Simulink yazılımında modellenen monokristal (c-Si) yapıdaki bir FV panelin laboratuvar ve dış ortam koşullarındaki davranışları karşılaştırılmıştır. Daha sonra Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Fakültesi çatısına kurulan sistem ile dış ortam koşullarında bulunan FV panelin performans sonuçları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre model ve deneysel sistemin birbirleriyle uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, FV modelleme, Matlab@Simulink, Dış ortam koşulları

Modeling of Photovoltaic Panel with Matlab@Simulink and Investigation of Behaviour in Outdoor Conditions

Abstract

Solar energy, which is one of the clean and renewable energy sources, is frequently preferred due to its positive effects such as not generating greenhouse gas emissions, unlimited resource potential and resource accessibility. Therefore, electricity generation from solar power plants is quite common in our country. The generation of electricity from solar energy occurs by converting solar radiation into electrical energy from photovoltaic (PV) cells. In this study, the behavior of a monocrystalline (c-Si) PV panel modeled in the Matlab@Simulink software under laboratory and outdoor conditions was compared. Then, the performance results of the system installed on the roof of Osmaniye Korkut Ata University

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Bülent YANIKTEPE, byaniktepe@osmaniye.edu.tr

Engineering Faculty and the PV panel in outdoor conditions were examined. According to the results, it was observed that the model and the experimental system were compatible with each other.

Keywords: Solar energy, PV modelling, Matlab@Simulink, Outdoor conditions

1. GİRİŞ

Enerji, ülkelerin ekonomik kalkınma planlarında önemli bir yere sahiptir. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerdeki nüfus artışı, gelişen tarım ve sanayi sektörleri gibi etkenlerden dolayı enerjiye olan talep her geçen gün artmaktadır. Uzun yıllardan beri temel enerji kaynağı olarak fosil yakıtlar kabul görmektedir. Ancak fosil yakıtların kaynak potansiyellerinin azalması, çevreye sera gazı emisyonu yayması ve tükenbilir yapılarından dolayı alternatif enerji kaynaklarına yönelim artmaktadır [1,2]. Bu nedenle ülkemizde de temiz ve ucuz enerji arayışı devam etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları çevre dostu olması, sürdürülebilir ve tükenmez yapısından dolayı ülkelerin enerji politikalarında sıklıkla tercih edilmektedir. Ancak yüksek kurulum maliyeti, malzeme ve bakım işlemleri gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi ülkemizdeki mevcut potansiyeli nedeniyle son yıllarda tercih edilmektedir. Bu potansiyel FV sistemler kullanılarak elektrik üretimine katkı sağlamaktadır. FV sistemler güç santralleri olarak kullanılmalarının yanı sıra uydu sistemleri, elektrikli araçlar gibi alanlarda da sıklıkla kullanılmaktadır. FV güç santrallerinin kurulumundan önce planlanan bölge ve alanlar için ön fizibilite çalışması yapılarak kurulacak sistem hakkında karakteristik özellikler araştırılmaktadır. FV sistemlerin enerji çıktılarını belirlemede iki önemli parametre bulunmaktadır. Bunlar güneş ışınımı ve hücre sıcaklığıdır. FV hücrelerin performansları veri sayfalarında standart test koşulları (STC, güneş ışınımı 1000 W/m^2 , sıcaklık $25 \text{ }^\circ\text{C}$) için verilmektedir. Ancak FV panellerin gerçek ortam koşullarındaki performansları hakkında bilgi sahibi olunması son derece önemlidir. Bu amaçla FV sistemlerin model sonuçlarının yanı sıra gerçek ortam koşullarında gösterdiği performans sonuçları da dikkatle incelenmektedir.

Son yıllarda hem ülkemizde hem de diğer birçok ülkede güneş enerjisine olan ilgi ve çalışmalar artmaktadır. Literatürde ise FV sistemlerin modellenmesi ve dış ortam koşullarındaki karakteristiklerinin incelenmesi üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Kichou ve arkadaşları üç farklı FV panel teknolojilerinin dış ortam koşullarındaki davranışlarını inceleyerek performanslarını karşılaştırmışlardır. Çalışmanın gerçekleştirildiği bölge nemli bir karasal iklim yapısına sahiptir. Elde edilen sonuçlar ise mevsimsel olarak değerlendirilmiştir. Kış aylarında c-Si ve çoklu-kristal (mc-Si) yapıya sahip FV paneller daha iyi performans gösterirken yaz aylarında ise ince film (CdTe) FV hücre yapısına sahip paneller daha iyi performans sergilemiştir [3]. Elibol ve arkadaşları Düzce, Türkiye iklim koşullarında c-Si, mc-Si ve amorf silikon (a-Si) yapıdaki panellerin verimliliklerini bir yıllık süre boyunca analiz etmişlerdir. Elde edilen sonuçlar neticesinde panellerin performans oranları sırasıyla %73, %81 ve %91 olarak bulunmuştur ve bu sonuçların literatürdeki çalışmalarla uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca yaptıkları istatistiksel analiz ile $1 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık artışında a-Si ve mc-Si panellerindeki verimliliğin arttığı m-Si panellerdeki verimliliğin ise azaldığı gözlemlenmiştir [4]. Polo ve arkadaşları FV dizilerin performanslarının analizinde önemli bir giriş parametresi olan ışınım ölçümü üzerine detaylı bir araştırma yapmışlardır. Çalışmada termopil piranometreler ve kalibre edilmiş kristal silikon ışınım ölçer güneş pilleri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda küçük güçlü çatı üstü sistemlerde kullanılan kalibre edilmiş kristal silikon ışınım ölçerlerin daha yüksek doğrulukta sonuçlar verdiği belirtilmiştir [5]. Cañete ve arkadaşları Güney İspanya'nın meteorolojik koşulları için dört farklı FV panel teknolojisinin enerji performanslarını incelemişlerdir. FV paneller üç adet ince film ve bir adet polikristal yapıdadır. Çalışmada panellerin akım-gerilim (I-V) eğrileri elde edilerek performans karşılaştırmaları yapılmıştır. Sonuç olarak incelenen bölge için ince

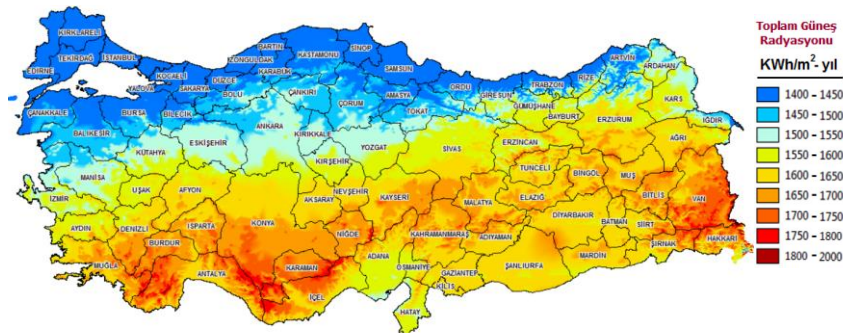
film panel performanslarının daha iyi olduğu gözlemlenmiştir [6]. Üstün ve arkadaşları Fukushima, Japonya iklim koşullarında bulunan FV sistemlerin performansını iki yıllık bir gözleme dayalı olarak değerlendirmişlerdir. Farklı türlerdeki teknolojilerin detaylı karşılaştırması yapılmıştır ve tipik bir güneş enerjisi santrali (GES) için enerji maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde tipik bir GES'in 20 yıllık ömrü göz önüne alındığında, FV teknolojisi seçiminin maliyetleri %55'e kadar azaltabileceği gösterilmiştir [7]. Aboagye ve arkadaşları Gana'nın farklı konumlarında kurulu olan c-Si, mc-Si ve a-Si yapıdaki üç farklı FV panel türünün dış ortam koşullarındaki davranışını inceleyerek panellerin yıllar içerisindeki bozulma indeksini elde etmişlerdir. Çalışma sonucunda üretici veri sayfasında yaklaşık 25 yıl kullanım ömrü biçilen FV panellerin daha kısa kullanım ömürlerine sahip olduğu sonucuna varmışlardır [8]. Gaglia ve arkadaşları FV panellerin veri sayfalarında verilmiş olan verimlilik değerleri ile dış ortam koşullarında gösterdiği verimlilik değerlerini karşılaştırmak üzere Atina, Yunanistan iklim koşulları için bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma farklı iklim koşulları göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir ve dış ortam koşulları sonuçlarının laboratuvar STC koşullarına göre verimlilik açısından %18 daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır [9].

Bu çalışmada c-Si yapıdaki bir FV panelin STC ve dış ortam koşullarındaki davranışlarını karşılaştırmak amaçlanmıştır. İlk olarak FV panelin matematiksel modeli oluşturulmuştur ve

Matlab@Simulink programında panel modellenmiştir. Sonrasında dış ortam etkilerini gözlemlemek amacıyla Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binası çatısına deneysel sistem kurulumu gerçekleştirilmiştir. Deneysel sistemde bulunan sıcaklık ve güneş ışınımı sensörlerinden elde edilen veriler model çalışmasında giriş değişkenleri olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde model ve deneysel verilerin uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca yağmur, bulutluluk ve sıcaklık gibi dış ortam koşullarının FV panelin enerji üretiminde doğrudan etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

2. TÜRKİYE VE OSMANİYE'NİN GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYELİ

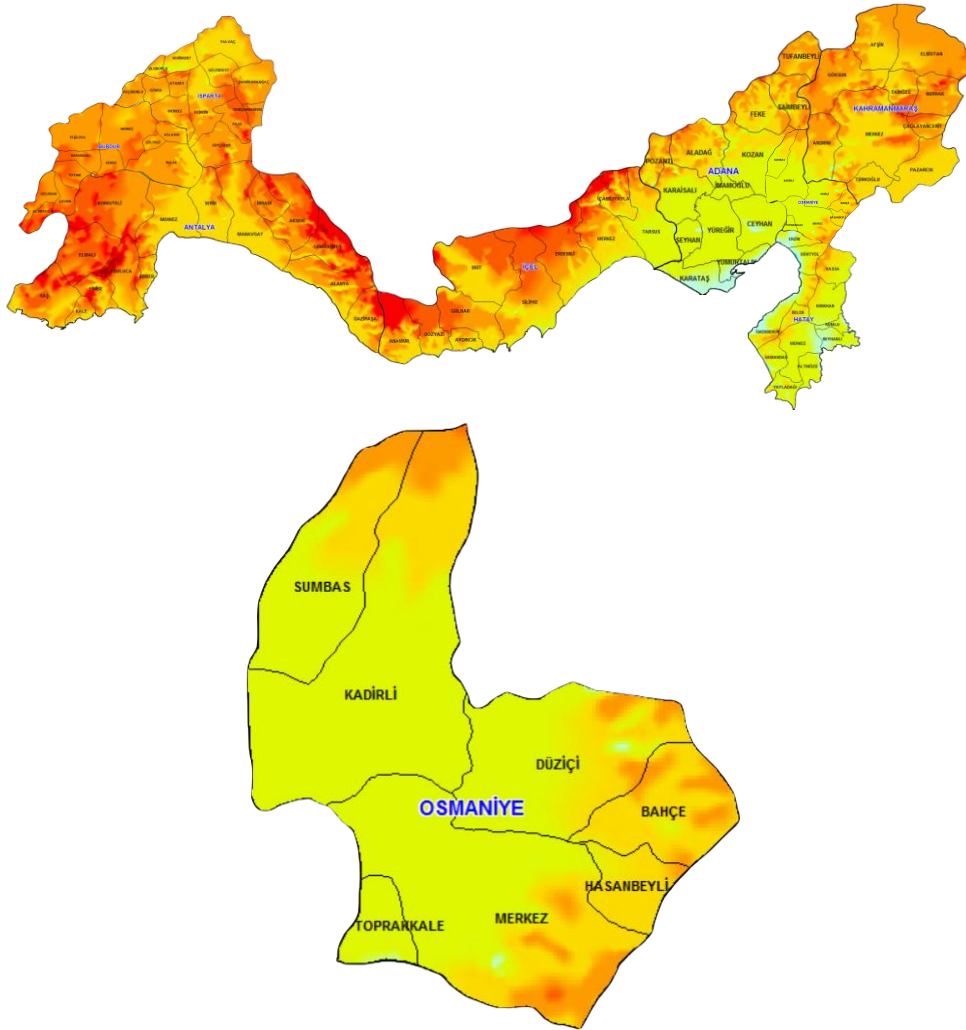
Türkiye'de 2010 yılında, uluslararası platformda kanıtlanmış bir model olan "ESRI Güneş Radyasyon Modeli" kullanılarak farklı noktalar ve bölgeler hakkında güneş kaynak bilgileri temeline dayanan bir Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) oluşturulmuştur. Bu harita ortalama olarak ± 10 hata payına sahiptir ve elde edilen bilgiler Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'nün 1985-2006 yılları arasındaki 22 yıllık saatlik güneş ölçüm verileri ile doğrulanarak kalibre edilmiştir. GEPA'ya göre yıllık toplam güneşlenme süresi 2741,07 saat, ortalama günlük toplam güneşlenme süresi 7,5 saat, ortalama yıllık toplam ışınım şiddeti $1527,46 \text{ kWh/m}^2$, ortalama günlük toplam ışınım şiddeti ise $4,18 \text{ kWh/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Şekil 1'de Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası verilmiştir [10].



Şekil 1. Türkiye'nin GEPA görünümü [10]

Şekil 1'deki GEPA görünümü incelenecek olursa ülkemizin Kuzey bölgelerinden Güney bölgelerine doğru gidildikçe güneş enerjisi potansiyelinin arttığı görülmektedir. Karadeniz bölgesi, Marmara Bölgesi ve Ege Bölgesinin kuzey kesimleri yağmurlu gün sayısı ve coğrafi konumlarından dolayı en az seviyede güneşlenme ve güneş ışınımı şiddetine sahip olan bölgelerdir. Akdeniz, İç Anadolu, Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu ve

Ege Bölgesinin güney kesimleri ise yüksek seviyede güneşlenmeye ve güneş ışınımı şiddetine sahiptir. Bu güneş ışınımı atlası göz önünde bulundurularak güneş enerjisinden elektrik üretimine dair yatırıma elverişli bölgeler hakkında ön fikir edinilebilir. Şekil 2'de Akdeniz Bölgesine ve Osmaniye iline ait GEPA görünümü bulunmaktadır.



Şekil 2. Akdeniz bölgesi ve Osmaniye'nin GEPA görünümü [10]

Şekil 2 incelendiğinde Akdeniz bölgesi ve Osmaniye'nin önemli bir güneş ışınım şiddeti potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. Şehrin

özellikle Kuzey, Doğu ve Güney kısımlarında ışınım şiddeti artmaktadır. GEPA'ya göre şehrin, yıllık olarak ortalama toplam ışınım şiddeti 4,26

kWh/m²-gün, güneşlenme süresi ise 8,1 saattir. Bu değerler göz önüne alındığında Osmaniye hem ortalama ışınım şiddeti hem de güneşlenme süresi bakımından Türkiye ortalamasının üzerinde değerlere sahiptir. Ayrıca Osmaniye topoğrafik olarak GES kurulumu için yatırıma oldukça uygun bir yapıya sahiptir. Yatırıma uygun alanlara sahip olması nedeniyle Osmaniye'nin farklı alanlarında birçok GES bulunmaktadır. Ayrıca Osmaniye ili güneş enerjisinin yanı sıra diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanarak Türkiye'nin kurulu gücüne katkı sağlamaktadır. Çizelge 1'de Osmaniye'nin kaynak türlerine göre kurulu güçleri ve bu güçlerin yüzdelik oranları verilmiştir.

Çizelge 1. Osmaniye ilinin kurulu güç dağılımı [11]

	Kurulu Güç (MW)	Yüzde (%)
Hidroelektrik	815,48	70,00
Rüzgâr	265,3	22,77
Güneş	81,1	6,96
Biyogaz	3,12	0,27
Toplam	1165	100

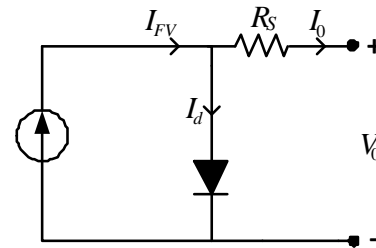
Çizelge 1'de görüldüğü üzere Osmaniye'nin üretim potansiyeli bakımından en yüksek kaynağı 815,48 MW güce sahip olan hidroelektrik enerji santralleridir ve şehrin %70'lik enerji üretim oranını kapsamaktadır. Ardından 265,3 MW kurulu güce sahip olan rüzgar enerji santralleri gelmektedir ve %22,77'lik enerji üretim payına sahiptir. Güneş enerjisi santrallerinde ise 81,1 MW'lık bir kurulu güç mevcuttur ve şehrin %6,96'lık enerji üretim payını karşılamaktadır. Son olarak şehirde 3,12 MW'lık kurulu güce sahip olan bir adet biyogaz enerji üretim santrali bulunmaktadır. Bu santral şehrin hem atıklarının değerlendirmekte hem de enerji üretimine katkı sağlamaktadır. Ürettiği güç değeri ise şehrin %0,27'lik oranını kapsamaktadır [11].

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. FV Panelin Modellenmesi

Bellini ve arkadaşları giriş değişkenleri güneş ışınımı ve hücre sıcaklığı olan çıkış değişkenleri ise akım, gerilim ve güç olan tek diyot devre

modeli temelli bir FV sistem modellemesi gerçekleştirmişlerdir [12]. Bu modelde FV panel akımı, gerilimin bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Bu çalışmada, [12]'de oluşturulan devre modeli referans alınmıştır. Tek diyot devre modelinin elektriksel eşdeğer devre yapısı Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. Basite indirgenmiş tek diyot temelli FV hücrenin elektriksel eşdeğer devre modeli

Şekil 3'te verilen eşdeğer devre modelinin çıkış akımı (I_0) değeri aşağıdaki matematiksel ifade ile bulunabilir (Eşitlik 1).

$$I_0 = I_{sc} \left[1 - K_a \left(e^{\left(\frac{V_0}{K_b V_{oc}} \right)} - 1 \right) \right] \quad (1)$$

Burada,

$$K_a = \left(1 - \frac{I_{mpp}}{I_{sc}} \right) e^{\left(\frac{-V_{mpp}}{K_b V_{oc}} \right)} \quad (2)$$

$$K_b = \frac{\left(\left(\frac{V_{mpp}}{V_{oc}} \right) - 1 \right)}{\ln \left(1 - \left(\frac{I_{mpp}}{I_{sc}} \right) \right)} \quad (3)$$

Eşitlik 2 ve 3'te verilmiş olan K_a ve K_b katsayıları FV panelin veri sayfası değerlerine göre belirlenebilmektedir ve bu katsayılar panel teknolojilerinin türlerine göre farklılık göstermektedir. Bu veri sayfalarından elde edilen parametrelerin ışınım ve/veya sıcaklıkla olan ilişkileri aşağıdaki gibidir [12].

$$I_{sc}(G, T_c) = I_{scs} \frac{G}{G_s} [1 + \alpha(T_c - T_s)] \quad (4)$$

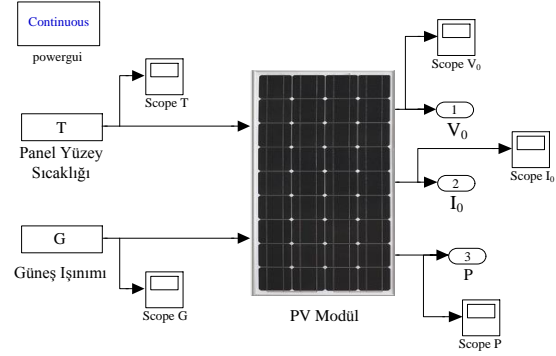
$$I_{mpp}(G, T_c) = I_{mpp} \cdot \frac{G}{G_s} [1 + \alpha(T_c - T_s)] \quad (5)$$

$$V_{oc}(T_c) = V_{oc} + \beta(T_c - T_s) \quad (6)$$

$$V_{mpp}(T_c) = V_{mpp} + \beta(T_c - T_s) \quad (7)$$

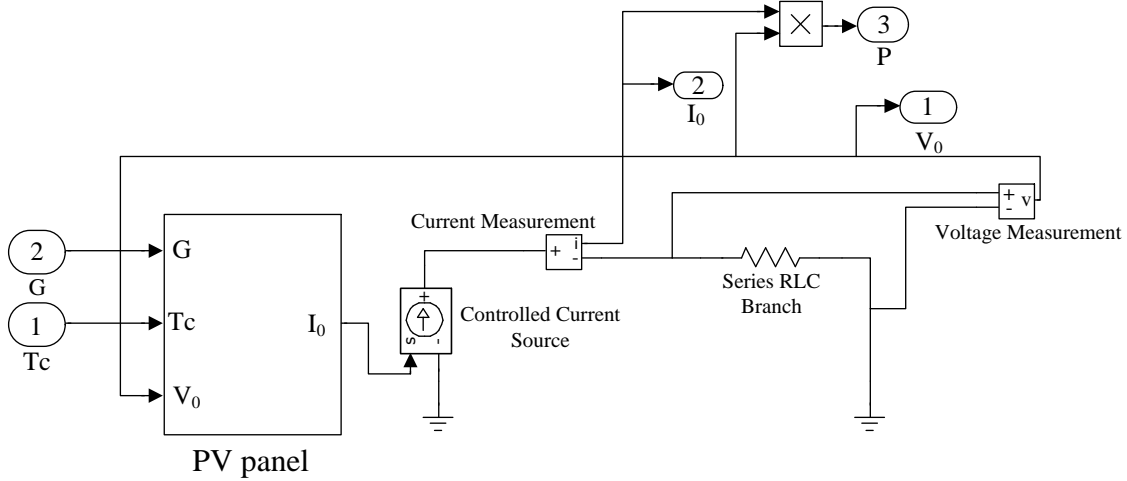
STC için tanımlı olan I_{sc} , I_{mpp} , V_{oc} ve V_{mpp} parametreleri panelin üretici veri sayfalarında bulunmaktadır. Bu parametreler sırasıyla panelin kısa devre akımı, maksimum akımı, açık devre gerilimi ve maksimum gerilim değerleridir. Işınım şiddeti ve hücre sıcaklığı ise sırasıyla G ve T_c değerleridir. Laboratuvar ortamı için referans alınan ışınım şiddeti ve hücre sıcaklığı değerleri sırasıyla $G_{STC}=1000 \text{ W/m}^2$ ve $T_{STC}=25 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Ayrıca FV panelin akım ve geriliminin değişimlerini etkileyen kısa devre akımı sıcaklık katsayısı (α) ve açık devre geriliminin sıcaklık katsayısı (β) da panellerin veri sayfalarında

bulunmaktadır. Oluşturulan FV modelin Matlab@Simulink blok yapısı Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. FV panel modelinin Matlab@Simulink bloğu

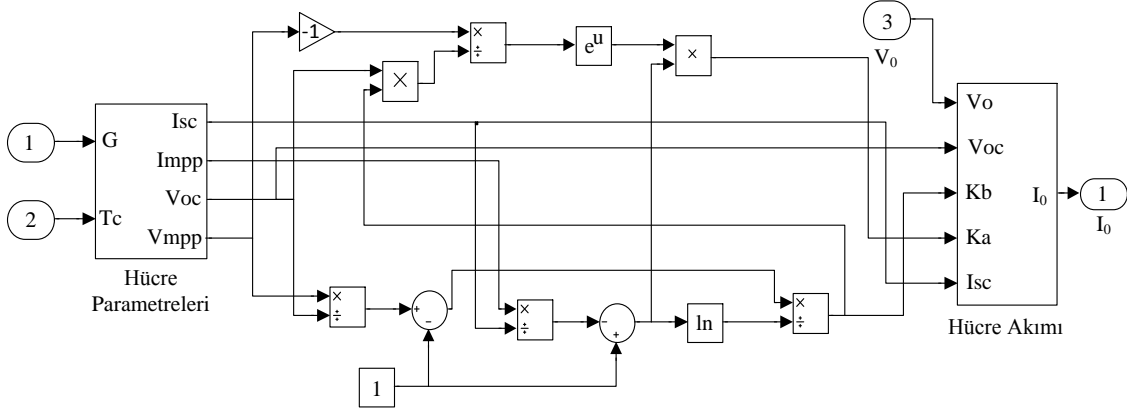
Burada FV modelin giriş ve çıkış parametreleri görülmektedir. Giriş ve çıkış parametrelerinin anlık değişimleri osiloskoplar ile doğrudan gözlemlenebilmektedir. Oluşturulan FV modülün alt blok şeması ise Şekil 5'teki gibidir.



Şekil 5. FV modülün alt model bloğu

Bu alt blokta panelin çıkış akımı ve gerilim değerlerini izleyebilmek amacıyla bir elektriksel direnç yükü bağlanmıştır ve bu yük direnci

üzerinden modelin akım, gerilim ve güç değerleri ölçülmüştür. Son olarak FV panel bloğunun bir alt blok şeması Şekil 6'da verilmiştir.



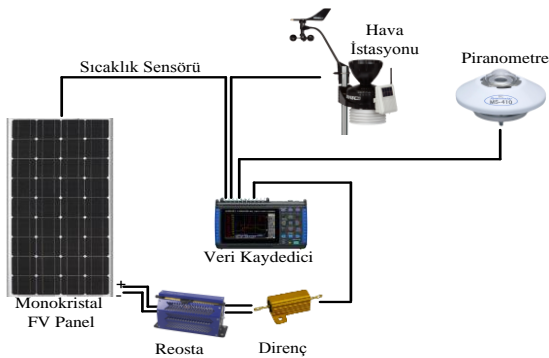
Şekil 6. FV panelin alt model bloğu

Bu blok şemasında (4-7) arasındaki eşitlikler kullanılarak hücre parametreleri bloğu elde edilmiştir. Bu blokta FV panelin veri sayfası değerlerinden faydalanılmaktadır, daha sonra ise (1-3) arasındaki eşitlikler kullanılarak FV hücre çıkış akımı elde edilmektedir.

3.2. Deneysel Sistem Kurulumu

Deneysel sistem, 37.00° Kuzey enlemi 36.2° Doğu boylamındaki Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi (OKÜ) Karacaoğlan Yerleşkesi Mühendislik Fakültesi binasının çatı katına kurulmuştur. FV panelin dış ortam koşullarındaki ışınım, dış ortam sıcaklığı, panel sıcaklığı gibi atmosferik giriş değişkenleri ve akım, gerilim, güç gibi elektriksel çıkış parametrelerini ölçmek amacıyla Şekil 7'deki şematik sistem tasarlanmıştır.

Deneysel sistemde kullanılan ekipmanlar sırasıyla, 90 W'lık maksimum güce sahip bir c-Si FV panel, panelin yüzey sıcaklığını ölçmek için PT100 ($\pm 0,3^{\circ}\text{C}$) sıcaklık sensörü, güneş ışınımını ölçmek için MS-410 piranometre ($10\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$ hassasiyete sahip), ortam sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), rüzgâr hızı (m/s) ve bağıl nem (%) gibi iklimsel parametreleri ölçmek için Davis Vantage Pro hava istasyonu ve elektriksel yükler olan reosta ve dirençten oluşmaktadır. Elde edilen tüm veriler 10 dakikalık aralıklarla Hioki LR8432 (10 kanallı) veri kaydedici tarafından kaydedilmiştir. Veriler Türkiye standart saati ile 07:00-19:00 arasındaki saatlik ortalama değerler kullanılarak kaydedilmiştir. Ayrıca FV panelin Matlab@Simulink modelinde ve deneysel sistemde kullanılan c-Si FV panelin veri sayfası değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 7. Deneysel sistemin şematik gösterimi

Çizelge 2. FV panelin katalog değerleri (GH90M36)

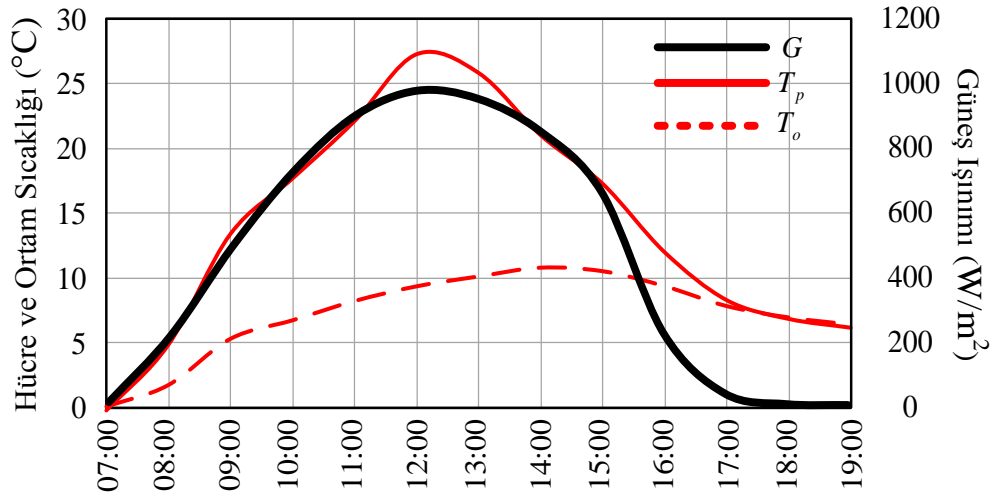
Elektriksel Parametreler (1000W/m ² , 25 °C)	
Maksimum Güç- P _{mpp} (W)	90
Maksimum Gerilim- V _{mpp} (V)	18
Maksimum Akım- I _{mpp} (A)	5,1
Kısa Devre Akımı- I _{sc} (A)	5,45
Açık Devre Gerilimi (V)	20,9
Kısa Devre Akımı Sıcaklık Katsayısı (1/K)	0,0006
Açık Devre Gerilimi Sıcaklık Katsayısı (1/K)	-0,0037

Çizelge 2’de verilen değerler tüm FV panel üreticilerinin veri sayfalarında mevcuttur. Ancak kısa devre akımı sıcaklık katsayısı ve açık devre gerilim sıcaklık katsayısının birimleri üreticilere göre değişiklik gösterebilmektedir. Bazı üreticilerin veri sayfalarında bu değerler santigrat derece ($^{\circ}\text{C}$) bazılarında ise Kelvin (K) olarak verilmektedir. Bu farklılığa panelin modeli oluşturulurken dikkat edilmelidir. Deneysel sistemin kurulduğu yer, [13]’deki çalışmanın gerçekleştirildiği bölgeye yakındır ve bu çalışmada FV panel için optimum eğim açısı olarak 35° güney yönü olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle deneysel sistem kurulumu sırasında FV panel belirtilen çalışmadaki değerler göz önüne alınarak konumlandırılmıştır. FV panelin gerilim değeri reosta üzerinden doğrudan veri kaydedicisine bağlanarak ölçülmüştür. Akım değeri ise reostaya

göre oldukça düşük bir direnç değerine sahip olan yük üzerinden alınmıştır.

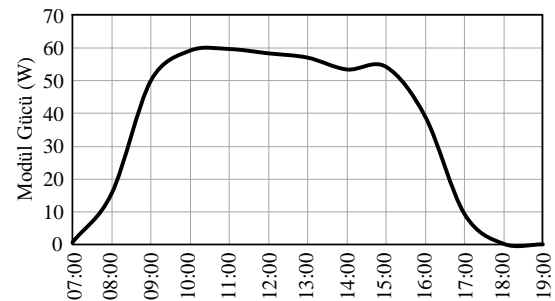
4. BULGULAR

Deneysel düzenden alınan ölçüm sonuçları 15.02.2017 ile 05.03.2017 tarihleri aralığındadır. Bu tarih aralıklarında güneş ışınımı, panel ve ortam sıcaklığı gibi iklimsel parametrelerin yanı sıra panelin çıkış akımı, gerilimi ve gücü gibi elektriksel parametrelerinin davranışları da detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışma süresi boyunca saatlik olarak elde edilen ortalama ortam sıcaklığı (T_o), güneş ışınımı şiddeti (G) ve panelin yüzey sıcaklıklarının değişimi (T_p) Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. Güneş ışınımı, panel ve ortam sıcaklığının bir günlük değişimi

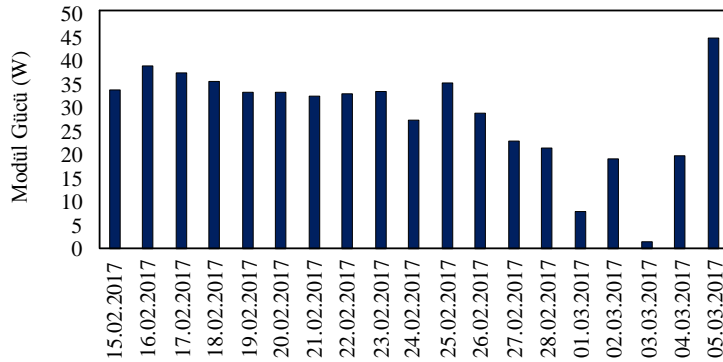
Şekil 8 incelenecek olursa ortam sıcaklığı gün içerisinde en yüksek 10°C civarına çıkmakta iken hücre sıcaklığı güneş ışınımının dolaylı etkisiyle 27°C 'ye kadar ulaşmaktadır. Işınım miktarı ise güneşin en tepede olduğu saat olan 12:00-13:00 arasında en yüksek değeri aldığı 973 W/m^2 'ye ulaşmaktadır. Ayrıca ışınım eğrisinin güneşin doğuş ve batış zamanlarına göre benzerlik gösterdiği gözlemlenmektedir. Şekil 9’da FV panelin bir günlük ürettiği gücün saatlik ortalama değerlere göre değişimi bulunmaktadır.



Şekil 9. FV panelin gücünün saatlik ortalama olarak değişimi

Şekil 9’da verilmiş olan bir günlük güç üretiminin değişimi incelenecek olursa güneş ışınımına paralel olarak FV panel 10:00-11:00 saatleri arasında maksimum güç üretimini gerçekleştirmiştir ve yaklaşık olarak 60W değerine ulaşmıştır. Bu güç üretimi neredeyse saat 15:00’a kadar devam etmiştir. 15:00’dan sonra ise güneş ışınımı değerinin düşmesi ile birlikte panelin

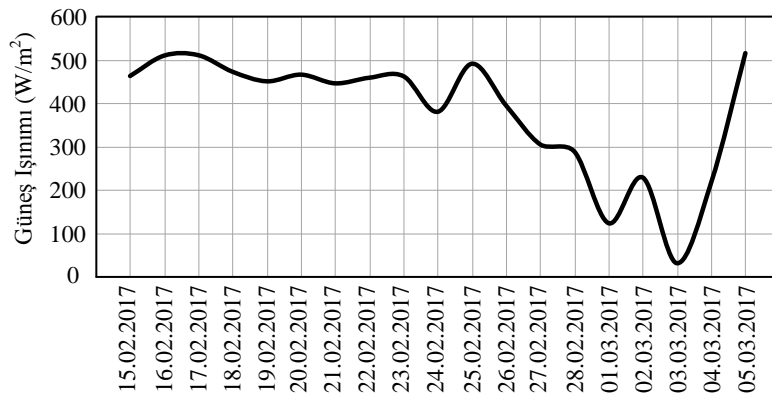
ürettiği gücünde azaldığı gözlemlenmektedir. Ayrıca FV panelin gün içerisinde yaklaşık olarak 50-60 W aralığında bir güç üretimine sahip olduğu görülmektedir. Bu ölçümün gerçekleştiği gün hava açık ve bulutsuzdur. Şekil 10’da FV panelin tüm ölçüm periyodu boyunca günlük olarak ürettiği ortalama güç değerleri verilmiştir.



Şekil 10. FV panelin ölçüm periyodu boyunca ürettiği ortalama güç değerleri

Şekil 10 incelenecek olursa FV panelin günlük ortalama güç üretim değerleri ortalama olarak yaklaşık 30-40 W aralığında değişmektedir. Ayrıca Mart ayının ilk günlerinde panelin ürettiği güç miktarı oldukça azalmıştır. Bunun sebebi havanın

bulutlu olmasıdır ve bu koşullarda güneş ışınımının enerji üretimi için yetersiz kaldığı görülmektedir. Şekil 11’de belirtilen ölçüm aralığı için ışınım miktarının günlük ortalama değerlerinin değişimi görülmektedir.

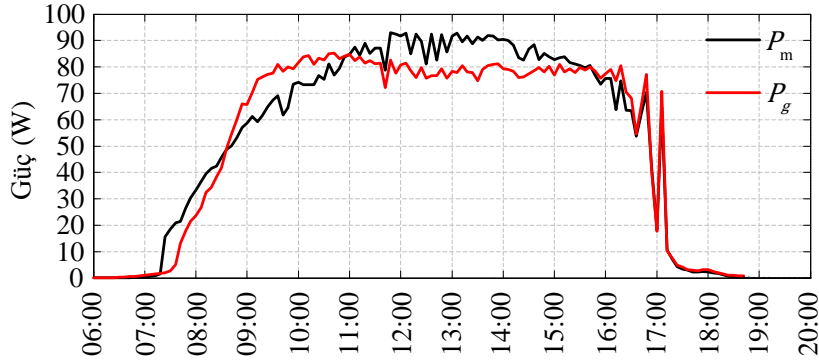


Şekil 11. Ölçüm periyodu boyunca elde edilen ışınım şiddetinin değişimi

Şekil 10 ve Şekil 11 karşılaştırıldığında güneş ışınımı şiddetindeki değişimin panelin enerji kazancı üzerinde doğrudan etkili olduğu görülmektedir. Havanın güneşli ve açık olduğu günlerde ışınım şiddeti 500 W/m² civarlarında iken

havanın kapalı ve yağışlı olduğu günlerde ışınım şiddeti 0-100 W/m² aralığındadır. Bu durumlarda panelin ürettiği model ve gerçek güç değerleri de Şekil 10’da açık bir şekilde görülmektedir. Dış ortam koşullarında gerçekleştirilen ölçüm

sonuçları ile modelin simülasyon ortamında elde edilen sonuçlarının karşılaştırması bir günlük zaman aralığı için saatlik olarak Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. FV modelin ve deneysel sistemin güç üretimi karşılaştırması

Şekil 12 incelenecek olursa model sonucunda elde edilen eğri (P_m) ile dış ortam koşullarında elde edilen eğrinin (P_g) uyumlu olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum modelin doğruluğunu kanıtlamaktadır. Ayrıca modelin giriş parametreleri olan güneş ışınımı ve hücre sıcaklığı değerleri gerçek ortam koşullarındaki sensörlerden elde edilmiştir. Bu durumda model ve deneysel düzenek sonuçları arasında meydana gelen farkın nedeni deneysel sistemde gerçekleşen kayıplar olarak gösterilebilir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada Osmaniye ili iklim koşullarında bulunan c-Si yapıdaki bir FV panelin elektriksel performansını incelemek amacıyla panel öncelikli olarak Matlab@Simulink ortamında modellenmiştir. Daha sonra dış ortam etkilerini gözlemlenmek amacıyla deneysel devre düzeniği kurularak FV panelin karakteristik davranışları gözlemlenmiştir. FV panel yüzeyine düşen güneş ışınımı, hücre sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve FV panelin ürettiği akım, gerilim ve güç değerleri 19 gün boyunca ölçülmüştür. Model sonuçları ile dış ortam performans sonuçları karşılaştırılmıştır. Model ve deneysel sistemden elde edilen güç değerlerinin uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Ancak deneysel sistemden elde edilen güç değerlerinin model sonuçlarına göre nispeten daha az bir seviyede olduğu sonucuna varılmıştır.

Meydana gelen bu farklılığın sebebi deneysel sistemde meydana gelen kayıplar ve kurulumda dikkate alınan bazı kabullerden kaynaklı olabilir. Ayrıca FV panelin yerleştirildiği eğim açısı deneysel sistemin kurulu olduğu bölge için doğrudan belirlenerek bu farklılık en az seviyeye getirilebilir.

6. TEŞEKKÜR

Bu Çalışma O.K.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir. Proje No: OKÜBAP-2016-PT3-009

Ayrıca bu çalışmanın bir bölümü, 24-26 Kasım 2021 tarihlerinde çevrimiçi olarak gerçekleştirilen International Conference on Engineering, Natural and Applied Sciences (ICENAS’21) konferansında özet bildiri olarak sunulmuştur.

7. KAYNAKLAR

1. Yaniktepe, B., Kara, O., Ozalp, C., 2017. The Global Solar Radiation Estimation and Analysis of Solar Energy: Case Study for Osmaniye. Turkey, International Journal of Green Energy, 14, 765–773.
2. Akpolat, A.N., Dursun, E., Kuzucuoğlu, A.E., Yang, Y., Blaabjerg, F., Baba, A.F., 2019. Performance Analysis of a Grid-Connected Rooftop Solar Photovoltaic System.

- Electronics, 8(8), 905.
3. Kichou, S., Wolf, P., Silvestre, S., Chouder, A., 2018. Analysis of the Behaviour of Cadmium Telluride and Crystalline Silicon Photovoltaic Modules Deployed Outdoor under Humid Continental Climate Conditions. *Solar Energy*, 171, 681–691.
 4. Elibol, E., Özmen, Ö.T., Tutkun, N., Köysal, O., 2017. Outdoor Performance Analysis of Different PV Panel Types. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 651–66.
 5. Polo, J., Fernandez-Neira, W.G., Alonso-García, M.C., 2017. On the Use of Reference Modules as Irradiance Sensor for Monitoring and Modelling Rooftop PV Systems. *Renewable Energy*, 106, 186–191.
 6. Cañete, C., Carretero, J., Sidrach-de-Cardona, M., 2014. Energy Performance of Different Photovoltaic Module Technologies under Outdoor Conditions. *Energy*, 65, 295–302.
 7. Ustun, T.S., Nakamura, Y., Hashimoto, J., Otani, K., 2019. Performance Analysis of PV Panels based on Different Technologies After Two Years of Outdoor Exposure in Fukushima. *Japan, Renewable Energy*, 136, 159–178.
 8. Aboagye, B., Gyamfi, S., Ofosu, E.A., Djordevic, S., 2021. Degradation Analysis of Installed Solar Photovoltaic (PV) Modules under Outdoor Conditions in Ghana. *Energy Reports*, 7, 6921-6931.
 9. Gaglia, A. G., Lykoudis, S., Argiriou, A. A., Balaras, C. A., Dialynas, E., 2017. Energy Efficiency of PV Panels under Real Outdoor Conditions—an Experimental Assessment in Athens. *Greece, Renewable Energy*, 101, 236-243.
 10. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes>, Son erişim tarihi 17.01.2022
 11. <https://www.enerjiatlası.com/gunes-enerjisi-haritasi/osmaniye>, Son erişim tarihi 17.01.2022
 12. Bellini, A., Bifaretti, S., Iacovone, V., Cornaro, C., 2009. Simplified Model of a Photovoltaic Module. *Applied Electronics International Conference*, 47–52.
 13. Celik, A.N., Acikgoz, N., 2007. Modelling and Experimental Verification of the Operating Current of Mono-crystalline Photovoltaic Modules using Four- and Five-parameter Models. *Applied Energy*, 84, 1–15.

