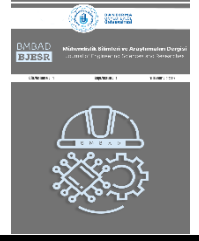




BMBAD  
BJESR

Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi  
Journal of Engineering Sciences and Researches



## Fotovoltaik Panelin Tek Diyotlu Modellenmesi

### Single Diode Modeling of Photovoltaic Panel

Evren İŞEN<sup>a</sup>  Ömer KOÇHAN<sup>b</sup> 

<sup>a</sup>Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bandırma/Balıkesir, Türkiye

<sup>b</sup>Türkiye Petrolleri, Lüleburgaz, Kırklareli, Türkiye

<sup>a</sup>eisen@bandirma.edu.tr, <sup>b</sup>omerkochan@gmail.com

Araştırma Makalesi/Research Article

#### ARTICLE INFO

##### Article history

Received : 15 October 2019

Accepted: 18 November 2019

##### Keywords:

Photovoltaic Panel,  
Photovoltaic Cell, Solar  
Energy

#### ABSTRACT

In this study, the modeling of photovoltaic panels used in the generation of electricity from solar energy, which is a widely used alternative energy source, is realized. The model of photovoltaic panel and array was obtained by using single diode modeling of photovoltaic cells forming a photovoltaic panel. Firstly, single-diode modeling of photovoltaic cell is performed. In this model, by using the number of cells used on the panel, the model of the panel and the series / parallel connection of the panels were obtained and the model of the photovoltaic array constituting the energy source in the system was obtained. In this study, photovoltaic array that consists of six 1Soltech 1STH-215-P model panel was modeled. The model has two parallel arms with three series connected panels. The electrical working curves of the obtained model at different temperature and radiation values were obtained. It was seen that very close results were obtained with each model. The results show that the presented model can be used in preliminary studies such as energy calculation and general system simulation in photovoltaic system design.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

#### MAKALE BİLGİSİ

##### Makale Tarihleri

Gönderim : 15 Ekim 2019

Kabul : 18 Kasım 2019

##### Anahtar Kelimeler:

Fotovoltaik Panel,  
Fotovoltaik Hücre, Güneş  
enerjisi

#### ÖZET

Bu çalışmada, günümüzde yaygın olarak kullanılan alternatif enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinden elektrik üretiminde kullanılan fotovoltaik panellerin modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Bir fotovoltaik paneli oluşturan fotovoltaik hücrelerin tek diyotlu modeli kullanılarak fotovoltaik panel ve dizinin modeli elde edilmiştir. İlk olarak fotovoltaik hücrenin tek diyotlu modellenmesi yapılmıştır. Bu modelde panel üzerinde kullanılan hücre sayısı değeri kullanılarak panel modeli ve panellerin seri/paralel bağlanması ile sistemdeki enerji kaynağını oluşturan fotovoltaik dizinin modeli elde edilmiştir. Çalışmada toplam altı adet 1Soltech 1STH-215-P model panelin bulunduğu dizi modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Modelde üç adet seri bağlı panel olan iki paralel kol bulunmaktadır. Sunulan modelin farklı sıcaklık ve ışınım değerlerinde elektriksel çalışma eğrileri elde edilmiştir. İki farklı modelden üretilen çalışma karakteristikleri incelendiğinde birbirleri ile oldukça yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlar sunulan modelin fotovoltaik sistem tasarımında enerji hesabı, genel sistem simülasyonu gibi ön çalışmalarda kullanılabilir olduğunu göstermiştir.

© 2020 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

## 1. GİRİŞ

Çevresel etkiler ve fosil yakıtların hızlı bir şekilde tükenmesinden dolayı güneş enerjisinin elektrik enerjisi üretiminde kullanımı hızla artmaktadır. Bu noktada güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmede fotovoltaik (FV) hücreler kullanılmaktadır. Temiz enerji olması bakımından kullanımının yaygınlaşması yanında fotovoltaik hücrelerin verimleri halen düşüktür [1]. Bu hücreler seri ve paralel bağlanarak fotovoltaik paneller üretilmektedir. Böylece hücrelere göre daha yüksek gerilim ve akım değerlerinde DC enerji kaynakları elde edilmektedir. FV paneller uzay uygulamaları, evsel uygulamalar ve enerji santralleri gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

FV hücrelerin ışınım, sıcaklık ve diğer çevresel etkilere bağlı olarak verebileceği maksimum güç miktarı değişmektedir. Bu etkenlerin değerlerine bağlı olarak hücrelerin üretebileceği gerilim, akım ve güç değerleri değişmekte olup şartlara göre çalışma karakteristikleri ortaya çıkmaktadır. Bu karakteristiklerin belirlenebilmesi için hücrelerin modellenmesi gerekmektedir [2]. Hücre modellemesinde genel olarak tek diyotlu ve çift diyotlu modeller kullanılmaktadır [3].

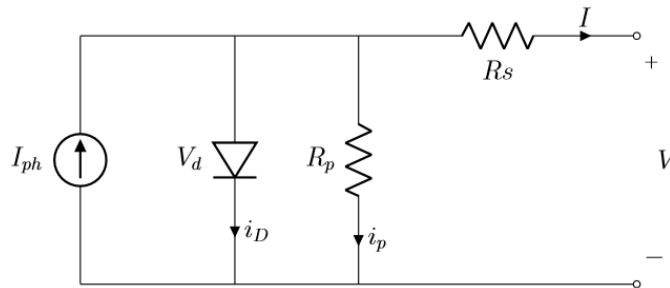
FV hücrelerin elektriksel çıkışlarının ortam şartlarına bağlı olarak değişmesinden dolayı hücrelerden maksimum verim alabilmek için maksimum güç noktası takibi (MPPT) kontrol yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir. Değişir ve gözle (P&O), artımsal iletkenlik (INC) gibi farklı MPPT kontrol yöntemleri kullanılmaktadır [4], [5]. MPPT yöntemlerinin geliştirilerek çevresel etkilere daha dayanıklı yöntemlerin elde edilmesini sağlamak için fotovoltaik paneller için yapılan modeller üzerinde MPPT yöntemleri test edilebilmektedir. Bu nedenle FV hücre modellemesi önem arz etmektedir. Yine FV bir sistemin kurulum öncesi sistem tasarımında bulunan konumda güneşten üretilebilecek elektrik enerjisi miktarının hesaplanmasında da ortamın ışınım ve sıcaklık gibi verileri bu modellerde kullanılabilir. Modelleme üzerine literatürde çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Basitleştirilmiş tek diyot modelleme yapılarak bir fotovoltaik panel modeli oluşturulmuş ve P&O yöntemi ile kontrol edilen yükseltici dönüştürücü kullanılarak panel modeli simülasyon ortamında test edilmiştir. Basitleştirmede paralel direnç  $R_{sh}$  devre modelinde kullanılmamıştır. Gerçekleştirilen uygulama devresi ile simülasyon sonuçlarının eşdeğerliği ortaya konmuştur [6].

Tek diyotlu  $R_{sh}$  ve  $R_s$  dirençlerinin kullanıldığı model ile 3.6kW gücünde fotovoltaik dizinin güç eğrileri elde edilmiştir [7]. Tek diyotlu modele göre karmaşıklığı artan ancak daha doğru sonuç veren iki-diyotlu modellemede çevre şartlarına bağlı olarak değişim gösteren panel parametrelerinin tahmini üzerine analitik eşitlik ve nümerik optimizasyon içeren teknikler öne sürülmüştür. Elde edilen sonuçlar laboratuvar sonuçları ile doğrulanmıştır [8]. Tek diyotlu ve iki diyotlu modelleme yöntemi ile yapılan panel modellerinin sonuçları karşılaştırılarak birbirlerine üstünlükleri ortaya konmuştur. Tek diyotlu yöntem basit ve daha hızlı çözüm sunarken iki diyotlu yöntem daha karmaşık olmakla birlikte daha doğru sonuç vermektedir [9]. Diyot sayısı, seri ve paralel direnç kullanımı gibi farklılıklar içeren çeşitli fotovoltaik hücre modellerinin matematiksel ifadeleri, devre şematikleri verilmiş ve tek diyotlu model ile panel modellemesi yapılmıştır [10].

Bu çalışmada Simulink/MATLAB ortamında 1Soltech 1STH-215-P model FV panel tek diyotlu FV hücre modeli ile modellenmiştir. Panelin akım, gerilim ve güce bağlı çalışma karakteristik eğrileri elde edilmiştir. Detaylı olarak sunulan modelden elde edilen sonuçlar ile Simulink/MATLAB programında bulunan model sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Elde edilen sonuçlardan görülmektedir ki sunulan tek diyotlu model sistem tasarımı sırasında enerji hesabı ve boyutlandırma için kullanılabilir.

## 2. FOTOVOLTAİK HÜCRE

FV hücre bir akım kaynağı gibi davranmaktadır ve ürettiği akım ( $I_{ph}$ ) aldığı ışınım ile orantılıdır [11]. Fotovoltaik hücre ışık enerjisi ile uyarılmadığı zaman standart bir diyot gibi davranmaktadır [12]. İdeal durumlar düşünüldüğünde bir solar hücrenin eşdeğer devresi diyot ve ona paralel bir akım kaynağı ile kurulabilmektedir. Ancak gerçek durumları karşılaması için seri ve paralel bir direnç eşdeğer devreye eklenmektedir. Seri direnç ( $R_s$ ) hücre bağlantılarından, p-n eklemesinin derinliğinden ve materyallerin saf olmamasından kaynaklanan direnci karşılamaktadır.  $R_p$  direnci ise p-n bağlantısının sızıntı akımından kaynaklanan bir dirençtir ve malzeme kalitesi ile doğrudan ilgilidir [13]. Şekil 1'de FV hücrenin tek diyotlu eşdeğer devre modeli görülmektedir.



Şekil 1. Fotovoltaik hücrenin eşdeğer devresi

Şekil 1 ile gösterilen eşdeğer devrede hücrenin üreteceği  $I$  çıkış akımı hesabı için aşağıdaki eşitlik (1) kurulabilir.

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

Burada  $I_{ph}$  ışık akımı olarak geçer ve hücrenin ışıktan elektrik enerjisi üretme kapasitesi ile ilgilidir. Söz konusu akım ışınım ile doğru orantılıdır ve eşitlik (2) ile bulunabilir. Bu eşitlikte  $G_{nom}$  standart test koşulları (STC) içinde kabul edilen ışınım değeridir ve bu değer  $1000 \text{ W/m}^2$ 'dir.  $G$  değişkeni ise anlık ışınım değeridir.  $I_{ph}(G_{nom})$  yine standart test koşulları altındaki ışık akımı değeridir.

$$I_{ph} = \frac{G}{G_{nom}} I_{ph}(G_{nom}) \quad (2)$$

Standart test koşullarındaki ışık akımı ifadesi kısa devre akımı ( $I_{sc}$ ),  $K_i$  sıcaklık katsayısı ve sıcaklık farkı ( $\Delta T$ ) cinsinden modellendiğinde

$$I_{ph} = \frac{G}{G_{nom}} (I_{sc} + K_i \Delta T) \quad (3)$$

eşitliği elde edilmektedir.  $K_i$  katsayısı ışık akımının sıcaklıkla beraber gösterdiği değişimi ifade etmekte kullanılan bir katsayıdır. Bu katsayı her model için farklı bir değer almaktadır ve laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneyler sonucu elde edilmektedir. Bir derecelik değişimin ışık akımında yarattığı etki anlamına gelen bu terim  $A/^\circ\text{C}$  veya  $\%/^\circ\text{C}$  birimleri ile ifade edilmektedir.

Eşitlik (1)'de geçen  $I_D$  diyot akımıdır ve eşitlik (4)'te verilen diyot uç denkleminde hesaplanmaktadır.

$$I_D = I_0 \left[ \exp \left( \frac{qV_d}{nkT_c} \right) - 1 \right] \quad (4)$$

Burada  $I_0$  karanlık akım ya da sızıntı akımını ve  $V_d$  ifadesi paralel diyot üzerindeki gerilim düşümünü,  $T_c$  sıcaklığı,  $q$  elektron yükünü ve  $k$  ise Boltzman sabitini ifade etmektedir. Panel çıkışındaki çevrede devre denklemini yazıldığında

$$V_d = V + IR_s \quad (5)$$

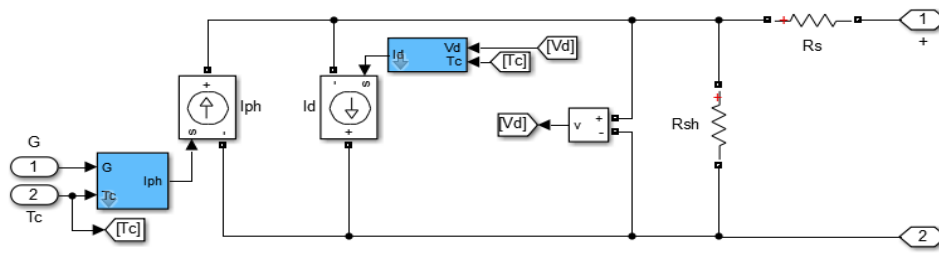
eşitliği elde edilmektedir. Eşitlik (2), (4) ve (5) eşitlik (1)'de yerine yazıldığında eşitlik (6) elde edilmektedir. Bu denklemden  $n$  idealite faktörü olup panelin malzeme seçimi ile ilişkilidir ve diyotun gerçekte ideal diyot karakterine uygunluğu ile bağlantılıdır. İdeal durumlar için bu değer 1 alınır.

$$I = \frac{G}{G_{nom}} I_{ph}(G_{nom}) - I_0 \left[ \exp \left( \frac{q(V+IR_s)}{nkT_c} \right) - 1 \right] - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (6)$$

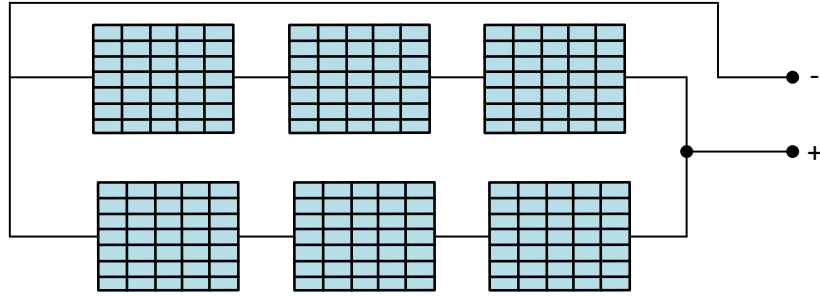
### 3. FOTOVOLTAİK PANEL DİZİSİNİN MODELLENMESİ

Fotovoltaik sistemlerin temel taşı olan yapı hücreler elde edilemek istenen gerilim değerine bağlı olarak birbirleri ile seri bağlanırlar ve FV paneli meydana getirirler. Bu panellerin gerekli akım ve gerilim değerine bağlı olarak seri ve/veya paralel bağlanması ile de FV diziler meydana gelmektedir. Bu diziler sistemin sahip olduğu akım, gerilim ve güç değerini belirlemektedir. Bu nedenle panel modellemesinde seri hücre sayısı ve dizi modellemesinde seri ve/veya paralel panel sayısı dikkate alınmalıdır.

Şekil 2'de söz konusu fotovoltaik panel dizi modeli görülmektedir. Bu model bir hücre modeli ile aynı olmakla birlikte seri/paralel hücreler ve panellerin sayıları matematiksel ifadeler içerisinde yer almakta olup diyot akımı ve ışık akımını değiştirmektedir. Aynı şekilde seri ve paralel bağlı direnç değerlerinde de bu etki yer almaktadır. Modellemesi yapılarak çalışma karakteristikleri çıkarılan fotovoltaik dizinin bağlantı şeması Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 2. FV dizi modeli

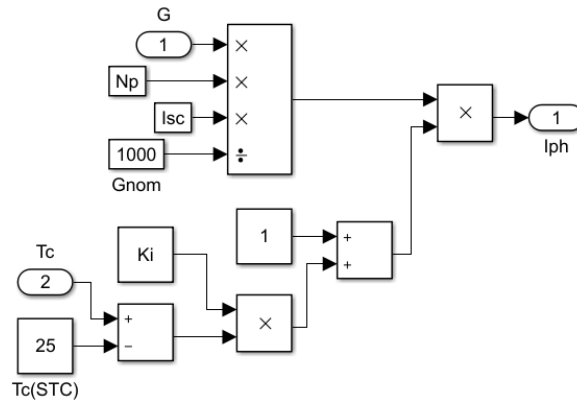


Şekil 3. FV dizi bağlantı şeması

### 3.1. Işık Akımının Modellenmesi

Fotovoltaik sistemlerde hücrelerin birleştirilmesi ile paneller ve panellerin birleştirilmesi ile diziler meydana gelmektedir. Genel uygulama olarak paneller seri bağlı hücrelerden diziler ise seri ve/veya paralel bağlı panellerden oluşur. Bu bağlantı tiplerinin dizi modellenmesinde yer alması gerekmektedir.  $N_p$  paralel kol sayısını ifade etmek üzere eşitlik (3) kullanılarak eşitlik (7) elde edilmektedir ve bu eşitlik model olarak Şekil 4'te görülmektedir. Eğer paralel bağlantı yoksa bu eşitlikte  $N_p$  değeri 1 olarak kullanılır. Bu eşitlikte  $K_i$  ifadesi  $A / ^\circ C$  birimi ile kullanılmaktadır. Ürün kataloglarında  $\% / ^\circ C$  değeri verildiğinden dolayı Şekil 4'te kullanılan model buna uygun tasarlanmıştır.

$$I_{ph} = N_p \frac{G}{G_{nom}} (I_{sc} + K_i \Delta T) \quad (7)$$



Şekil 4. Işık akımı modeli

### 3.2. Diyot Akımının Modellenmesi

Diyot akımının hesaplanması için eşitlik (8) kullanılmaktadır. Bu denklemde  $I_0$  sızıntı akımı,  $V_d$  diyot üzerindeki gerilim düşümünü temsil etmektedir. Bu eşitliğin simülasyon modeli Şekil 5'te verilmiştir.

$$I_D = I_0 \left[ \exp\left(\frac{qV_d}{nkT_c N_{ms} N_s}\right) - 1 \right] \quad (8)$$

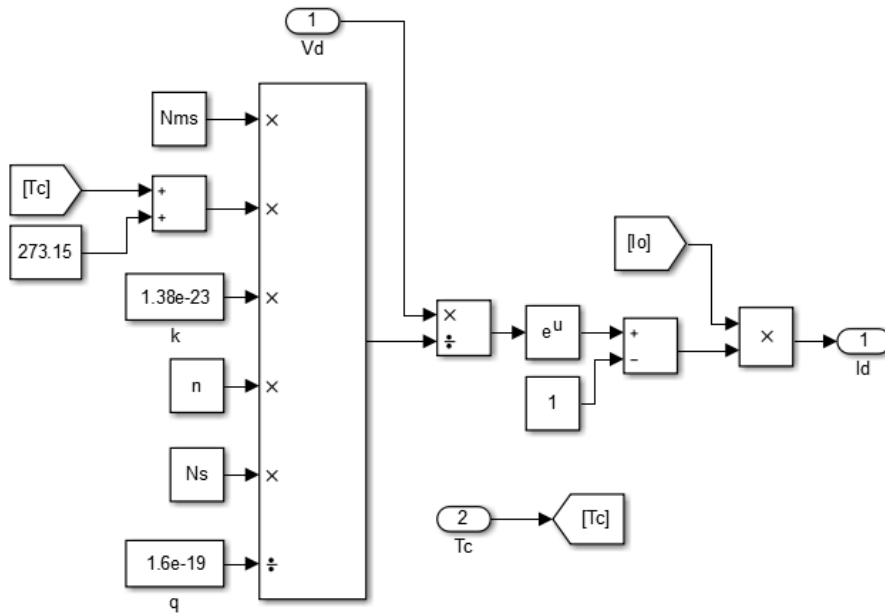
Bu eşitlikte  $N_{ms}$  bir paneldeki seri hücre sayısını,  $N_s$  bir dizide bir koldaki seri bağlı panel sayısını ifade etmektedir. FV panelin yarı iletken karakteristiğinden kaynaklı olan diyot akımının modellenmesinde iki yol izlenebilir. Bu yollar sızıntı akımı  $I_0$  akımının bulunma şekli ile ortaya çıkmaktadır. Bir diyot için sızıntı akımı eşitlik (9) ve eşitlik (10) ile hesaplanabilmektedir.

$$I_0 = I_{0n} \left(\frac{T}{T_{nom}}\right)^3 \exp\left[\frac{qE_g}{nk} \left(\frac{1}{T_{nom}} - \frac{1}{T}\right)\right] \quad (9)$$

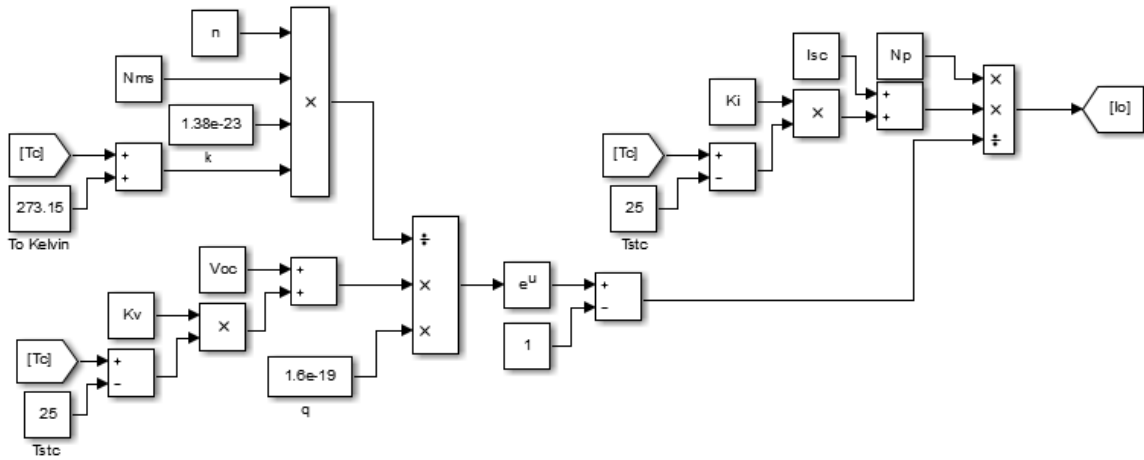
Burada Ion sızıntı akımının Tnom sıcaklık değerinde aldığı değerdir.

$$I_0 = \frac{I_{sc} + K_i \Delta T}{\left[ \exp\left(\frac{q(V_{oc} + K_v \Delta T)}{n N_{ms} k T_c}\right) - 1 \right]} \quad (10)$$

Bu denklemde  $I_{sc}$  kısa devre akımıdır. Bu akım panelin uçlarının kısa devre edilmesi ile ortaya çıkan akım değeridir ve kuramsal olarak bir panelin üretebileceği en yüksek akımdır.  $V_{oc}$  ise açık devre gerilimidir. Benzer şekilde panelinin uçlarında açık devre durumunda görülen gerilim değeridir ve yine bir panelin üretebileceği en yüksek gerilimdir.  $K_v$  ise panel geriliminin sıcaklık katsayısıdır. Sıcaklık değişiminin panel geriliminde yapacağı etkiyi ortaya koyar. Birimi  $K_i$  deki gibi  $V/C^\circ$  ya da  $\%/C^\circ$  olan bu değer sıcaklığın paneldeki gerilim düşürücü etkisinden dolayı negatif işaretlidir.  $N_{ms}$  bir FV panelde seri bağlı hücre sayısıdır. Bu nedenle bu bağlantıdan kaynaklı gerilim artmasının etkisi formülde de yer almalıdır. Eşitlik (10) ile hesaplanabilen sızdırmazlı akımının simulink modeli Şekil 6'da görülmektedir.



Şekil 5. Diyot akımı modeli



Şekil 6.  $I_0$  diyot sızıntı akımının modeli

### 3.3. $R_s$ ve $R_p$ Dirençleri

Bir FV panelin teknik kataloğunda  $R_s$  ve  $R_{sh}$  dirençlerinin değerleri bulunmamaktadır.  $R_s$  direncinin olmaması ve  $R_{sh}$  direncinin de sonsuz değerde olması modeli idealleştirmektedir. Ancak gerçek durumlara daha yakın bir model kurmak için bu direnç değerlerinin de hesaba katılması gerekmektedir. Hücrenin çalışma evresinde  $R_s$  panelin gerilim kaynağı gibi çalıştığı evrede  $R_{sh}$  ise panelin akım kaynağı gibi çalıştığı devrede etkindir. Bu dirençler laboratuvar ortamındaki test sonuçlarından ortaya çıkartılabildiği gibi veri sayfasındaki değerler ve eğrilerden de çıkartılabilir. Panellerin test sonuçlarının işlenmesi ile ortaya çıkartılan değerler Matlab-Simulink FV dizisi hazı. bloğunun hafızasında her bir panel için ayrı ayrı olmak üzere yüklü durumdadır. Çalışmada kurulan modelde bu veriler kullanılmıştır.

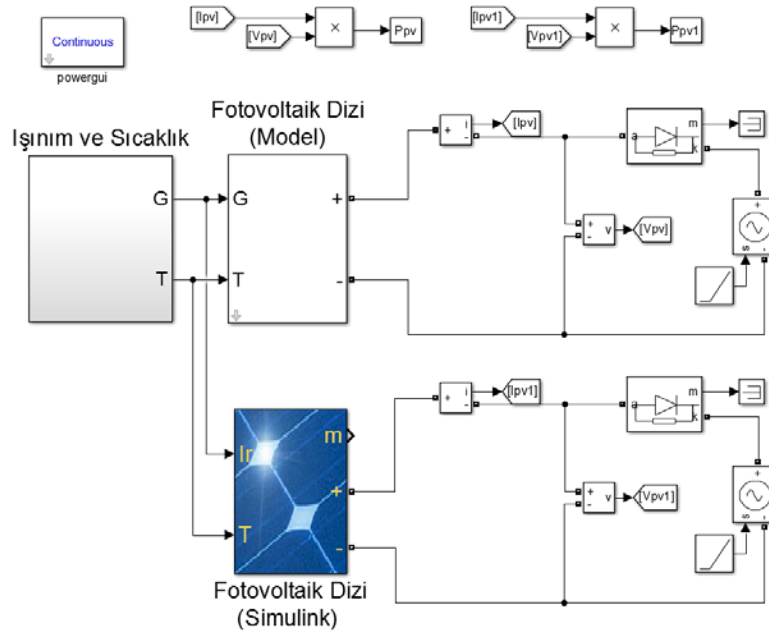
Burada dikkat edilmesi gereken dirençlerin test sonucunda bir panel için bulunduğu bu nedenle dizi kurulumunda panellerin seri ve paralel bağlantıların eşdirençteki etkileri olacaktır. Bu durum göz önüne alındığından dizinin eş dirençleri eşitlik (11) ve eşitlik (12) ile bulunmaktadır.

$$R_{s\text{dizi}} = R_s \frac{N_s}{N_p} \quad (11)$$

$$R_{sh\text{dizi}} = R_{sh} \frac{N_s}{N_p} \quad (12)$$

## 4. FOTOVOLTAİK PANEL DİZİSİNİN SİMÜLASYONU

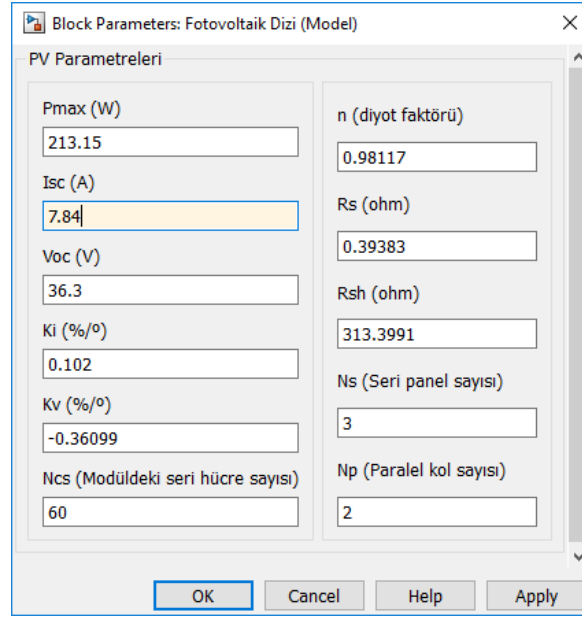
Modellenen panelin karakteristik eğrilerinin elde edilmesi için Şekil 7'deki simülasyon devresi kurulmuştur. Farklı sıcaklık ve ışınım değerleri için doğrusal olarak artan bir gerilim kaynağının yük olarak kullanılması ile panelden çekilen akım değiştirilip  $I-V$  ve  $P-V$  eğrileri elde edilebilmektedir. Kurulan FV dizi modelinin simülasyonunun yapılması için 1Soltech 1STH-215-P model fotovoltaik paneli seçilmiştir.



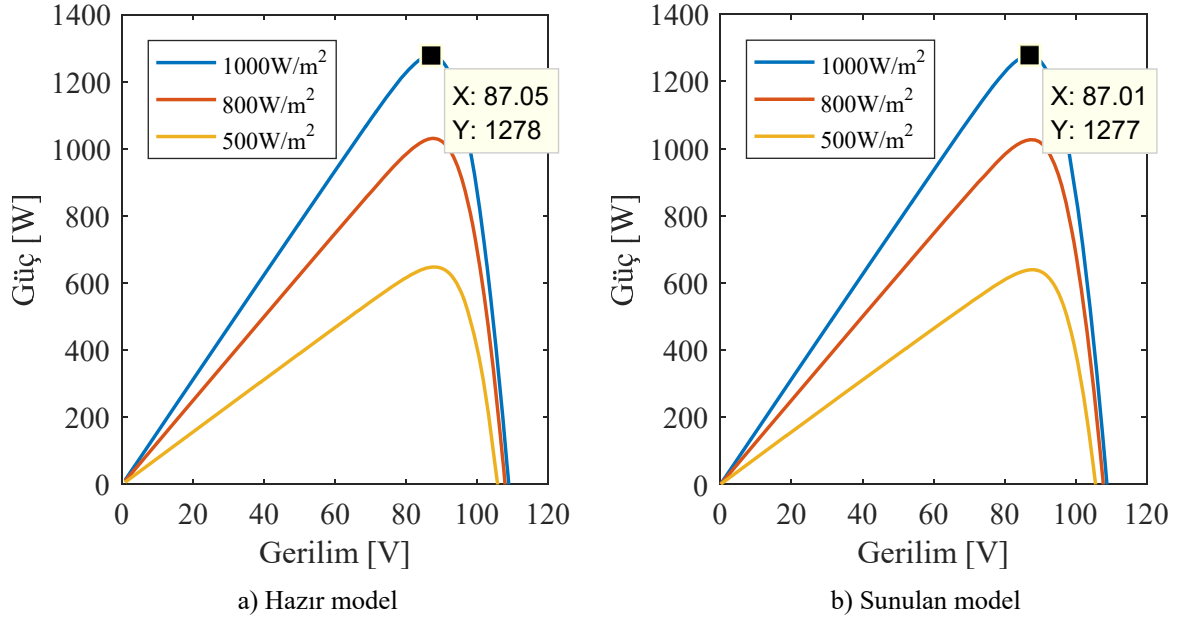
Şekil 7. Panel karakteristik eğrileri için kurulan simülasyon devresi

Simülasyonda panel modellenmesinde kullanılan parametreler Şekil 8'de görülmektedir. Sistemdeki 3 panelin seri bağlandığı 2 paralel kol olan toplam 6 panel bulunmaktadır. Bu bağlantılar ile beraber STC içerisindeki ışınım ve sıcaklık değerleri ile sistemin maksimum gücü  $P_{max}=1279 \text{ W}$  olmaktadır.

Toplam 6 adet panelden oluşan FV sistemin panel gücü ve akımının gerilime bağlı  $25^\circ\text{C}$  sıcaklıkta farklı ışınım değerlerindeki kurulan ve hazır modelin değişimleri Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir. Işınım ile doğru orantılı olarak akım ve güç çıkışının artışı değişimlerden görülebilmektedir.



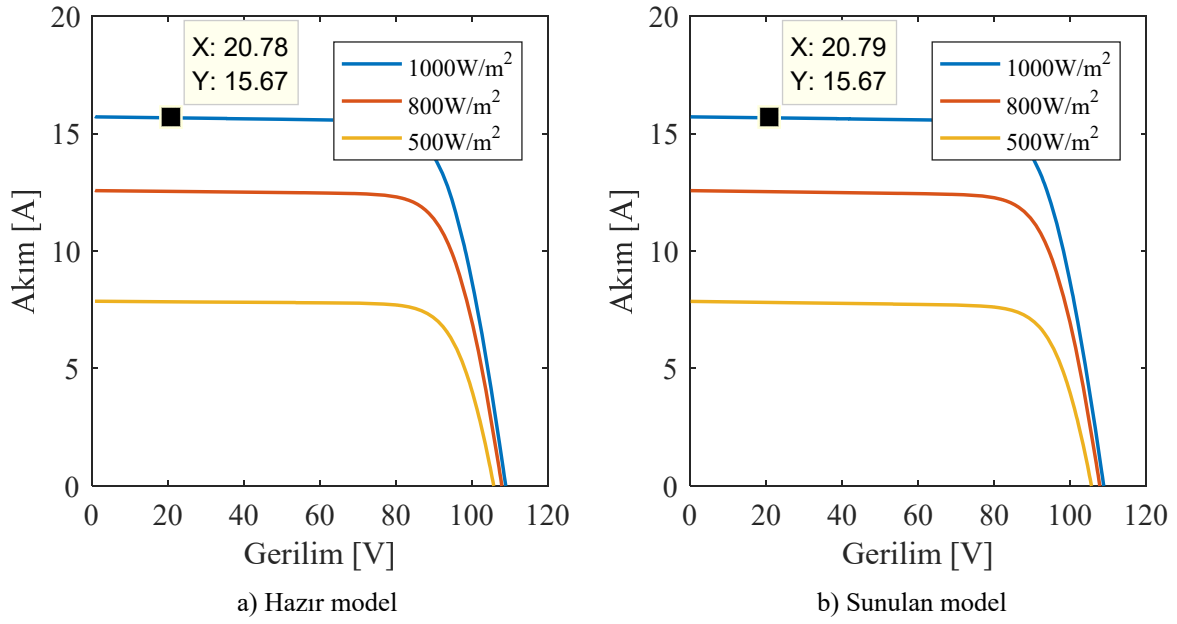
Şekil 8. Fotovoltaik panel dizisi modellemesinde kullanılan parametreler



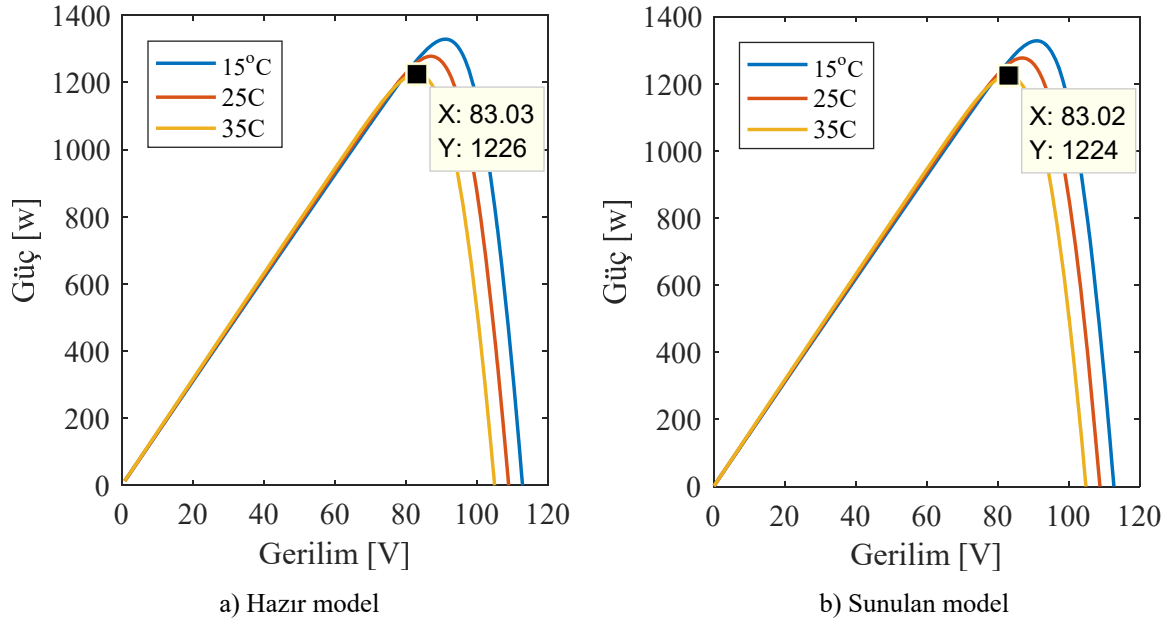
Şekil 9. 25 °C sıcaklıkta V-P eğrileri

Şekil 11 ve Şekil 12’de STC şartlarından olan 1000W/m<sup>2</sup> ışınım değerinde farklı sıcaklıklardaki *V-P* ve *V-I* değişimleri görülmektedir. Sıcaklık artışı panel gücünde ters orantılı etki yaptığından dolayı Şekil 11’de görüldüğü gibi çıkış gücü azalmaktadır. Bunun nedeni Şekil 12’de görülen aynı çıkış gerilimi için artan sıcaklıkla çıkış akımının düşmesidir.

Tablo 1’de farklı sıcaklık ve ışınım değerlerinde sunulan model ve hazır modelden ölçülen maksimum güç değerleri verilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi iki model arasındaki sonuçlar birbirine oldukça yakındır.



Şekil 10. 25 °C sıcaklıkta V-I eğrileri

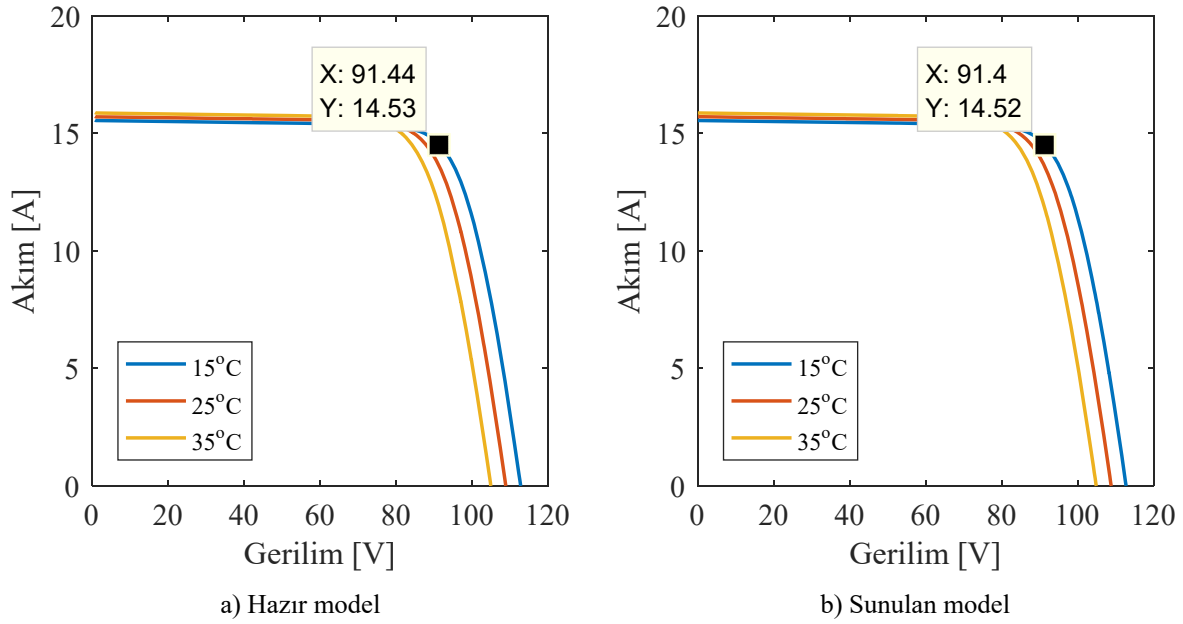


Şekil 11. 1000W/m<sup>2</sup> için V-P eğrileri

Tablo 1. Modellerden elde edilen maksimum güçler

Işınım (W/m <sup>2</sup> )	Sıcaklık (°C)	Maksimum Güç (W) (Hazır Model)	Maksimum Güç (W) (Sunulan Model)
1000	25	1278	1277
800	25	1031	1027
500	25	648	639
1000	15	1329	1328
1000	35	1226	1224



Şekil 12. 1000W/m<sup>2</sup> için V-I eğrileri

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada fotovoltaik hücrelerin tek diyotlu modellemesi yapılarak altı adet panelden oluşan bir fotovoltaik dizinin farklı ışınım ve sıcaklık değerlerinde elektriksel karakteristik eğrileri elde edilmiştir. 1Soltech 1STH-215-P model fotovoltaik panel modellenerek akım, gerilim ve güç eğrileri çıkarılmıştır. Bu eğriler Matlab/Simulink yazılımında bulunan fotovoltaik panel bloğu kullanılarak elde edilen eğriler ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında gerçekleştirilen modelleme kurulacak olan sistemde kullanımı planlanan bir fotovoltaik panelin simülasyonunun yapılmasında kullanılabilir olduğu anlaşılmıştır.

## KAYNAKÇA

- [1] F. A. Omar, G. Gökkuş ve A. A. Kulaksız, “Şebekeden bağımsız FV sistemde maksimum güç noktası takip algoritmalarının değişken hava şartları altında karşılaştırmalı analizi”, Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi, vol. 7, no. 3, pp. 585-594, 2019.
- [2] X. Li, Q. Wang, H. Wen and W. Xiao, “Comprehensive studies on operational principles for maximum power point tracking in photovoltaic systems”, IEEE Access Special Section on Emerging Technologies for Energy Internet, vol. 7, pp. 121407-121420, 2019.
- [3] N. M. A. A. Shannan, N. Z. Yahaya and B. Singh, “Single-diode model and two-diode model of PV modules: a comparison”, 2013 IEEE International Conference on Control system, Computing and Engineering, pp. 210-214, 2013.
- [4] A. K. Podder, N. K. Roy and H. R. Pota, “MPPT methods for solar PV systems: a critical review based on tracking nature”, IET Renewable Power Generation, vol. 13, no. 10, pp. 1615-1632, 2019.
- [5] N. S. Cetin, E. Deniz and K. Basaran, Fotovoltaik uygulamalar için alternatif akım tarafında maksimum güç noktası takibi”, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, vol. 18, no. 2, pp. 495-503, 2018.
- [6] S. Duman, N. Yörükeren ve İ. H. Altaş, “Fotovoltaik enerji sistemlerinin modellenmesi, benzetimi ve uygulaması”, İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, vol. 3, no. 1, pp. 9-23, 2014.
- [7] G. Bayrak ve Mehmet Cebeci, “3.6 kW gücündeki fotovoltaik generatörün matlab simulink ile modellenmesi”, Erciyes University Journal of the Institute of Science and Teknoloji, vol. 28, no. 3, pp. 198-204, 2012.
- [8] F. Bradaschia, M. C. Cavalcanti, A. J. Nascimento, E. A. Silva and G. M. S. Azevedo, “Parameter identification for PV modules based on an environment-dependent double-diode model”, IEEE Journal of Photovoltaics, vol. 9, no. 5, pp. 1388-1397, 2019.
- [9] R. Elgohary, A. A. A. Elela and A. Elkholy, “Electrical characteristic modeling for photovoltaic modules based on single and two diode models”, 2018 Twentieth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), pp. 685-688, 2018.
- [10] A. A. Chauhan and B. S. Prakash, “Considering various equivalent circuits for solar PV array modelling”, 2018 2<sup>nd</sup> International Conference on Power, Energy and Environment: Towards Smart Technology (ICEPE), pp. 1-6, 2018.

- [11] C. Qi and Z. Ming, "Photovoltaic module simulink model for a stand-alone PV system ", 2012 International Conference on Applied Physics and Industrial Engineering, pp. 94-100, 2012.
- [12] H. Bellia, R. Youcef and M. Fatima, "A detailed modeling of photovoltaic module using MATLAB", NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics, vol. 3, no. 1, pp. 53-61, 2014.
- [13] B. A. Aldwihi, M. Salihmuhsin, "Modeling of photovoltaic panels using Matlab/Simulink", Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences, vol. 22, no. 2, pp. 78-87, 2019.