



**T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FOTOVOLTAİK DİZİLERİN MODELLENMESİ VE
SİMÜLASYONU**

Mete NACAR

DANIŞMAN

Doç. Dr. Aysel ERSOY YILMAZ

II. DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Emre ÖZER

Anabilim Dalı Adı


Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

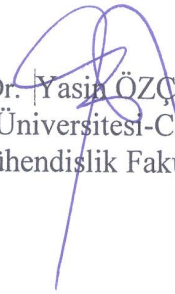
İSTANBUL-2018

Bu çalışma 18.12.2018 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
Elektrik-Elektronik Mühendisliğı Anabilim Dalı, Elektrik-Elektronik Mühendisliğı Programı
Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ


Doç. Dr. Aysel ERSOY YILMAZ
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Nihat KABAOĞLU
İstanbul Medeniyet Üniversitesi
Mühendislik ve Doęa Bilimleri Fakültesi


Doç. Dr. Yasın ÖZÇELEP
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca ilminden faydalandığım, insanı ve ahlaki değerleri ile örnek edindiğim, değerli yardım ve katkılarıyla zaman mefhumu gözetmeksizin beni yönlendiren ve sonuca ulaşmadaki azim ve kararlılığımı artıran, tecrübelerinden yararlanırken göstermiş oldukları nezaket, hoşgörü ve sabırdan dolayı değerli hocalarım, Doç.Dr. Aysel ERSOY YILMAZ 'a ve Dr.Öğr. Üyesi Emre ÖZER 'e teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve bana her anlamda destek olan babam Mehmet NACAR ve annem Aynur NACAR 'a teşekkür ederim. Ayrıca, çalışmalarımın en başından beri yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen yol arkadaşım Vildan YILMAZ 'a çok teşekkür ederim.

Aralık 2018

Mete NACAR

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

| | |
|---|-----------|
| ÖNSÖZ | iv |
| İÇİNDEKİLER..... | v |
| ŞEKİL LİSTESİ | vii |
| TABLO LİSTESİ..... | viii |
| SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ | ix |
| ÖZET | xi |
| SUMMARY | xiii |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. GENEL KISIMLAR..... | 3 |
| 2.1. FOTOVOLTAİK HÜCRE MODELİ | 5 |
| 2.2. FOTOVOLTAİK DİZİ MODELİ..... | 9 |
| 2.3. MODEL PARAMETRELERİNİN BULUNMASI | 12 |
| 2.4. PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU | 16 |
| 2.5. PARAMETRELERİN İŞİNİM VE SICAKLIK BAĞIMLILIĞI..... | 18 |
| 2.5.1. Model 1..... | 18 |
| 2.5.2. Model 2..... | 19 |
| 2.5.3. Model 3..... | 20 |
| 3. MALZEME VE YÖNTEM..... | 22 |
| 3.1. PERFORMANS KRİTERİ | 22 |
| 3.2. DENEYSEL VERİLER | 22 |
| 3.3. MODEL PARAMETRELERİNİN PSO İLE BULUNMASI..... | 23 |
| 3.4. ÖNERİLEN MODEL | 25 |
| 4. BULGULAR..... | 26 |
| 4.1. PSO İLE BULUNAN TEK DİYOT MODEL PARAMETRELERİ..... | 26 |
| 4.2. SİMÜLASYON SONUÇLARI | 27 |
| 4.2.1. Sıcaklık ile Elektriksel Karakteristiklerin Değişimi | 27 |
| 4.2.2. Işınım ile Elektriksel Karakteristiklerin Değişimi..... | 28 |
| 4.3. MODEL DOĞRULUĞU | 30 |
| 5. TARTIŞMA VE SONUÇ | 32 |
| KAYNAKLAR..... | 34 |

| | |
|---|-----------|
| EKLER | 38 |
| EK 1: Kyocera KC200GT deneysel verileri [55]. | 38 |
| EK 2: PSO için matlab kodu. | 43 |
| EK 3: Model 1 için matlab kodu. | 44 |
| EK 4: Model 2 için matlab kodu. | 45 |
| EK 5: Model 3 için matlab kodu. | 46 |
| EK 6: Önerilen model için matlab kodu. | 46 |
| ÖZGEÇMİŞ | 48 |



ŞEKİL LİSTESİ

| | Sayfa No |
|--|----------|
| Şekil 2.1: Global fotovoltaik kapasite [3]..... | 4 |
| Şekil 2.2: Fotovoltaik hücre, panel, dizgi ve dizi. | 4 |
| Şekil 2.3: Tek diyotlu fotovoltaik hücre modeli..... | 5 |
| Şekil 2.4: Bir fotovoltaik panel ve hücre yapılanması [11]..... | 8 |
| Şekil 2.5: Bir fotovoltaik panelin I-V ve P-V eğrisi..... | 9 |
| Şekil 2.6: Bir fotovoltaik dizinin panel yapılanması. | 10 |
| Şekil 2.7: N_s tane seri bağlı panelin oluşturduğu dizginin eş değer devresi. | 11 |
| Şekil 2.8: N_p tane paralel bağlı dizginin oluşturduğu dizinin eş değer devresi. | 11 |
| Şekil 2.9: Parçacık sürü optimizasyonu akış diyagramı. | 17 |
| Şekil 3.1: PSO akış diyagramı..... | 24 |
| Şekil 3.2: Fotovoltaik panellerin seri direncinin sıcaklığa bağımlılığı [56]..... | 25 |
| Şekil 4.1: Sıcaklık değişiminde I-V ve P-V eğrilerin model 1 ile elde edilmesi. | 27 |
| Şekil 4.2: Sıcaklık değişiminde I-V ve P-V eğrilerin model 2 ile elde edilmesi. | 27 |
| Şekil 4.3: Sıcaklık değişiminde I-V ve P-V eğrilerin model 3 ile elde edilmesi. | 28 |
| Şekil 4.4: Sıcaklık değişiminde I-V ve P-V eğrilerin önerilen model ile elde edilmesi. | 28 |
| Şekil 4.5: Işınım değişiminde I-V ve P-V eğrilerin model 1 ile elde edilmesi. | 29 |
| Şekil 4.6: Işınım değişiminde I-V ve P-V eğrilerin model 2 ile elde edilmesi. | 29 |
| Şekil 4.7: Işınım değişiminde I-V ve P-V eğrilerin model 3 ile elde edilmesi. | 29 |
| Şekil 4.8: Işınım değişiminde I-V ve P-V eğrilerin önerilen model ile elde edilmesi..... | 30 |

TABLO LİSTESİ

| | Sayfa No |
|--|-----------------|
| Tablo 2.1: Fotovoltaik dizi modeli parametreleri ile hücre modeli parametreleri arasındaki ilişki..... | 10 |
| Tablo 4.1: Model parametrelerinin alt ve üst sınır değerleri. | 26 |
| Tablo 4.2: Kyocera KC200GT paneli veri sayfası değerleri. | 26 |
| Tablo 4.3: Kyocera KC200GT paneli tek diyot model parametreleri. | 26 |
| Tablo 4.4: KC200GT paneli için modellerin farklı sıcaklıklarda hata değerlerinin karşılaştırılması..... | 30 |
| Tablo 4.5: KC200GT paneli için modellerin farklı ışınımlarda hata değerlerinin karşılaştırılması..... | 31 |

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

| Simgeler | Açıklama |
|------------------------|---|
| °C | : Santigrat Derece (sıcaklık birimi) |
| A | : Amper |
| DDM | : Çift Diyotlu Model (Double Diode Model) |
| GW | : GigaWatt (1000 MW) |
| J | : Joule (iş ve enerji) |
| J/K | : Joule/Kelvin (ısı kapasitesi) |
| K | : Kelvin (sıcaklık birimi) |
| K | : Boltzman sabiti |
| MW | : MegaWatt (1 milyon Watt) |
| SDM | : Tek Diyotlu Model (Single Diode Model) |
| Sun | : kW/m ² |
| V | : Volt |
| W | : Watt (güç birimi) |
| W/m² | : Birim alana düşen güç (ışınım şiddeti) |
| Ω | : Ohm (direnç birimi) |

| Kısaltmalar | Açıklama |
|--------------------|--|
| ABC | : Yapay Arı Kolonisi Algoritması (Artificial Bee Colony) |
| AM | : Atmosferin güneş ışığını geçirme oranı (Air Mass) |
| ASTM | : Amerikan Test ve Malzeme Kurumu (American Society for Testing and Materials) |
| CS | : Guguk Kuşu Arama Algoritması (Cuckoo Search) |
| DC | : Doğru Akım (Direct Current) |
| DE | : Diferansiyel Evrim Algoritması (Differential Evolution) |
| GA | : Genetik Algoritması (Genetic Algorithms) |
| HS | : Harmoni Arama Algoritması (Harmony Search) |
| I | : Akım (Current Intensity) |
| IAE | : Tekil Mutlak Hatalar (Individual Absolute Errors) |
| IEC | : Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission) |
| I-V | : Akım-Gerilim (Current - Voltage) |
| PS | : Dizgi Arama Algoritması (Pattern Search) |
| PSO | : Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization) |
| PV | : Fotovoltaik (photovoltaic) |
| SA | : Benzetilmiş Tavlama Algoritması (Simulated Annealing) |
| STK | : Standart Test Koşulları |
| TS | : Tabu Arama Algoritması (Tabu Search) |
| V | : Gerilim (Voltage) |

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FOTOVOLTAİK DİZİLERİN MODELLENMESİ VE SİMÜLASYONU

Mete NACAR

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Aysel ERSOY YILMAZ

II. Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Emre ÖZER

Günümüzde enerji güvenliği, küresel iklim değişikliği ve fosil yakıtların hızla tükenmesi, çevre dostu ve sürdürülebilir temiz enerji teknolojisi olan güneş enerjisi sistemlerine ilgiyi artırmıştır. Güneş enerjisi teknolojileri ile ilgili araştırma konuları arasında özellikle fotovoltaik enerji üretimi tahmini, çevirici seçimi ve tasarımı, maksimum güç noktası takip sistemleri ve sistem kontrolü ile ilgili konular güncelliğini korumaktadır.

Fotovoltaik sistemlerin modellenmesi, güneş enerjisi üretim tesislerinde, değişen çevresel koşullar altında, enerji üretim tahmini ve verim analizi yapılabilmesi için hayati bir öneme sahiptir. Bir fotovoltaik model, değişen sıcaklık ve ışınım şartlarında fotovoltaik panelin akım ve güç değişimini gerilime göre matematiksel olarak ifade eder. Literatürde tek diyotlu ve çift diyotlu devre modelleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Doğruluk ve karmaşıklık göz önüne alındığında, bu çalışmada tek diyotlu model kullanılmıştır.

Deneysel olarak ölçülen akım-gerilim verilerinin doğru bir şekilde izlenmesi için tahmin modelinde, parametre tahmin problemi bir optimizasyon problemine dönüşmüştür. Literatürde yapılan son çalışmalarda sezgisel algoritmaların bu optimizasyonun çözümünde sıkça kullanıldığı görülmektedir.

Bu tez çalışmasında, deneysel olarak ölçülmüş akım-gerilim verileri kullanılarak standart test koşullarında tek diyotlu model parametrelerini tahmin etmek için parçacık sürü optimizasyonu kullanılmıştır. Değişen ışınım ve sıcaklık şartlarında panelin davranışını tahmin etmek için yeni bir yöntem önerilmiştir. Bu önerilen yöntemin performansını değerlendirmek için literatürde yaygın olarak kullanılan üç farklı yöntemle karşılaştırılmıştır. Ölçülen akım değerleri ile model akım değeri arasında tanımlanan karesel ortalama hata ile modelin doğruluğu gösterilmiştir. Simülasyon sonuçları, önerilen yöntemin fotovoltaik panelin akım-gerilim eğrisini yüksek hassasiyetle tahmin edebildiğini göstermektedir.

Aralık 2018, 62 sayfa.

Anahtar kelimeler: Fotovoltaik, PV Modelleme, Tek Diyotlu Model, Parçacık Sürü Optimizasyonu



SUMMARY

M.Sc. THESIS

MODELING AND SIMULATION OF PHOTOVOLTAIC ARRAYS

Mete NACAR

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Electrical and Electronic Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Aysel ERSOY YILMAZ

Co-Supervisor : Assist. Prof. Dr. Emre ÖZER

Today, energy security, global climate change and rapid depletion of fossil fuels have increased interest in solar energy systems, which are environmentally friendly and sustainable clean energy technology. Among the research topics related to solar energy technologies, especially related to photovoltaic energy production estimation, converter topology selection and design, maximum power point tracking systems and system control are kept up to date.

The modeling of photovoltaic systems is of vital importance in the production of solar energy, under the changing environmental conditions, for the estimation of energy production and efficiency analysis. A photovoltaic model mathematically expresses the change of current of the photovoltaic module in terms of temperature and radiation. In the literature, single diode and double diode circuit models are widely used. Considering the accuracy and complexity, single diode model was used in this study.

In the prediction model to accurately monitor the experimentally measured current-voltage data, the parameter estimation problem has become an optimization problem. In recent studies, it is seen that heuristic algorithms are frequently used in solving this optimization.

In this thesis, particle swarm optimization was used to estimate single-diode model parameters under standard test conditions using experimentally measured current-voltage data. A new method has been proposed to estimate the behavior of the panel in changing radiation and temperature conditions. The proposed model was compared with three different methods commonly used in the literature to evaluate the performance of the proposed method. The accuracy of the proposed model is shown by the root mean square error between the measured current values and the model current value. The simulation results show that the proposed method can predict the current-voltage curve of the photovoltaic panel with high precision.

December 2018, 62. pages.

Keywords: Photovoltaic, PV Modeling, Single Diode Model, Particle Swarm Optimization



1. GİRİŞ

Günümüzde, güneş enerjisi üretim tesislerinde işletme problemlerine, çevresel etkilere ve şebeke kararlılığı ile ilgili sorunlara rağmen, fotovoltaik uygulamalara artan ilgi, bu alandaki çalışmalara hız kazandırmıştır. Özellikle fotovoltaik enerji üretimi tahmini, çevirici seçimi ve tasarımı, maksimum güç noktası takip sistemleri ve sistem kontrolü ile ilgili konular güncelliğini korumaktadır[1], [2], [3].

Fotovoltaik (PV) güç sisteminin temiz ve tükenmez doğası nedeniyle önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı haline gelmesi öngörülmektedir. Büyük ölçekli fotovoltaik güç sistemleri, uzun vadede önemli faydaları ve hükümetler tarafından sürdürülebilir yeşil enerjinin teşvik edilmesi için sağlanan diğer girişimler nedeniyle birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ancak, fotovoltaik panellerin yüksek yatırım maliyeti nedeniyle mevcut güneş enerjisinin optimal kullanımı sağlanmalıdır. Bu, kurulumdan önce tasarlanan fotovoltaik sistemlerin kesin ve güvenilir bir simülasyonunu gerektirmektedir.

Simülasyonun doğruluğunu etkileyen en önemli bileşen fotovoltaik hücre modelidir. Fotovoltaik hücrenin modellenmesi, akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) karakteristik eğrilerinin ve çeşitli çevresel koşullar altında gerçek hücrenin davranışının tahmin edilmesini içerir. Elektrik devre modeli yaygın olarak kullanılmaktadır. Birçok elektrik modeli çeşitli araştırmacılar tarafından önerilmiştir; en basit temel model, tek diyot devre modelidir [1].

Bir diyota paralel olarak bir bağımsız akım kaynağı, bir seri bir de paralel dirençten oluşur. Doğruluğu ve sadeliği nedeniyle, fotovoltaik sistem simülasyonunda yaygın olarak kullanılır. Hesaplanması gereken beş parametre içerir [1].

Günümüzün geniş bilgi işlem gücü sayesinde doğruluğu daha yüksek fotovoltaik modeller önerilmiştir. Önemli bir örnek, iki-diyot modelidir. İkinci diyodun dahil edilmesi parametreleri beşten yediye çıkarır. Asıl zorluk, bu yedi parametrenin makul bir sürede tahmin edilmesidir [2].

Bir fotovoltaik panelin I-V eğrisinin, panelin iç özelliklerine, ışınım ve sıcaklık gibi çevresel etkilere bağlı olduğu açıktır. Bu nedenle, bir fotovoltaik model parametrelerinin çıkarılması, parametrelerin hesaba katılması gereken çevresel koşullara bağlı olduğunu göstermektedir.

Literatürde düzgün ışınım altında, model parametrelerinin tahmini için önerilen yöntemler, analitik, iteratif ve sezgisel yöntemler olarak üç sınıfa ayrılabilir.

Bu tez çalışmasında, tek diyot model parametrelerini standart test koşullarında bulunması için sezgisel yöntemlerden biri olan parçacık sürü optimizasyon (PSO) yöntemi kullanılmıştır. Farklı sıcaklık ve ışınım değerleri için panelin davranışını modellemek için yeni bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem literatürde yaygın olarak kullanılan üç farklı yöntemle karşılaştırılmıştır.

Tezin giriş bölümünde çalışmanın amacı, literatürdeki yeri ve önerilen yöntem tanıtılmıştır. İkinci bölümde kullanılan tek diyotlu fotovoltaik hücre modeli tanıtılmış, bu hücre modeli kullanılarak dizi modelinin nasıl elde edileceği anlatılmıştır. Yine bu bölümde model parametrelerinin çıkarılması için kullanılan parçacık sürü optimizasyon yöntemi anlatılmıştır. Model parametrelerinin değişen sıcaklık ve ışınım değerleri altında davranışı literatürde yaygın olarak kullanılan yöntemler ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Üçüncü bölümde, model parametrelerinin PSO yöntemi ile bulunması ve yöntemin performansını değerlendirmek için karesel ortalama hata kriteri anlatılmıştır. Değişen çevresel koşullar altında panelin davranışını modelleyen yeni bir yöntemin ayrıntıları verilmiştir. Dördüncü bölümde, önerilen modelin benzetim sonuçları ve performans indeksleri verilmiştir. Tartışma ve sonuç bölümünde ise önerilen yeni yöntemin literatürdeki yeri ve diğer yöntemlerle karşılaştırılması verilmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

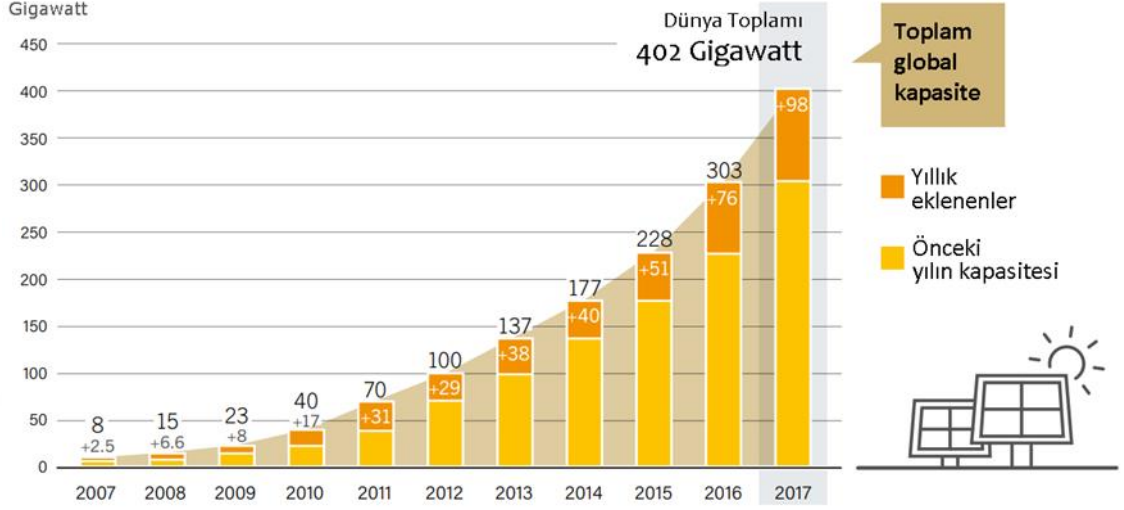
Fosil yakıt rezervlerinin tüketimi ve konvansiyonel enerji kaynaklarından kaynaklanan çevre kirliliği; küresel ölçekteki temiz enerji sorunlarını, iklim değişikliğini ve sürdürülebilir gelişmeleri ele almak adına yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmayı bir gereksinim haline getirmiştir. Fotovoltaik sistemler gibi bu alternatif enerji üretim sistemleri günümüzde dünya çapında birçok ülke ve devlet tarafından desteklenmektedir [3].

Gelişen teknolojiler içerisinde fotovoltaik enerji sistemleri en çok gelecek vadedenler arasında yerini almıştır. Öyle ki, 2000-2013 yılları arasında dünyada kurulan fotovoltaik sistemlerinin yıllık ortalama artışı %44'ün üzerine çıkmıştır. Başka bir deyişle, 2010 yılından sonra dünyadaki fotovoltaik enerji kaynaklarındaki kapasite artışı, 2010 yılı öncesindeki geçmiş 40 yıllık kapasitenin üzerinde bir rakama gelmiştir [4].

2017 yılı ise fotovoltaik enerji sistemleri açısından Şekil 2.1'de de görüleceği gibi bir dönüm noktası olarak göze çarpmaktadır. Dünya genelinde fosil yakıtlar ve nükleer güç alanları dahil olmak üzere enerji üretim teknolojileri arasında en çok kapasite artışının yapıldığı alan fotovoltaik enerji sistemleri olmuştur. 2017 yılında, fotovoltaik sistemler Çin, Hindistan, Japonya ve Amerika Birleşik Devletleri gibi başlıca pazarların da yeni güç kapasitesinin gözde kaynağı olarak öne çıkmıştır. Global ölçekte, yine 2017 yılında, şebeke bağımlı ve şebeke bağımsız olarak 98 GW 'ın üzerinde kapasite artışı yaşanmıştır, bu durum artan toplam kapasitenin yaklaşık üçte bir oranında artması ve kümülatif toplamda kapasite ortalamasının 402 GW 'a erişmesi anlamına gelmektedir, bu da başka bir deyişle saatte ortalama 40 binden fazla fotovoltaik panelin kurulduğu anlamına gelmektedir [3].

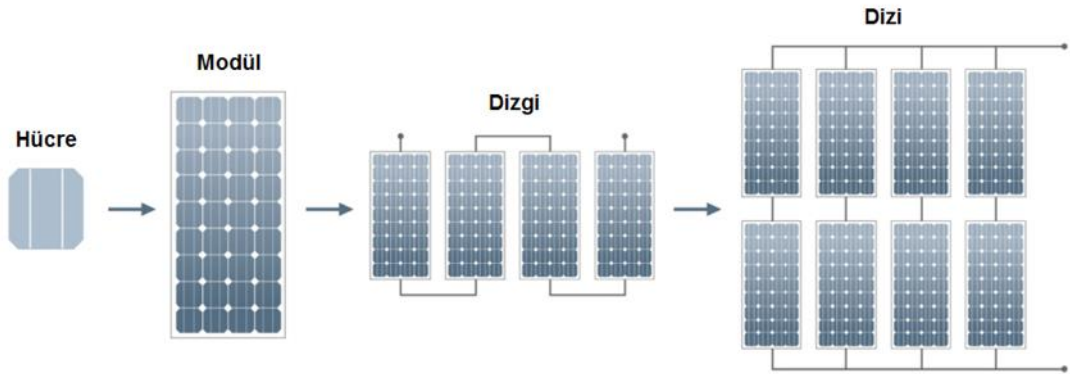
Fotovoltaikler, güneş ışığını direkt olarak elektriğe dönüştüren cihazlarla ilgili bir teknoloji ve araştırma alanıdır. Yarı iletken materyaller kullanılarak yapılan fotovoltaik hücreleri, fotovoltaik teknolojisinin basit yapı bloğunu oluşturmaktadır. Bir dizi fotovoltaik hücrenin elektriksel olarak birbirine bağlanmasıyla fotovoltaik panel denilen tek bir destek iskelet yapısına bindirilmektedir. Bir fotovoltaik dizinin oluşturulması için birkaç panel birbirine bağlanabilmektedir. Fotovoltaik paneller ve diziler doğru akım (DC) elektriği üretirler ve istenilen gerilim (V) - akım (I) kombinasyonlarının üretilmesi için elektriksel devre düzenlemelerinde seri ve paralel olarak bağlanabilirler [5]. Aşağıda Şekil 2.2'de fotovoltaik

hücre, hücrelerin seri bağlanmasıyla elde edilen panel, seri bağlı panellerden oluşan dizgi ve paralel bağlı dizgilerden oluşan fotovoltaik dizi yapısı verilmiştir.



Şekil 2.1: Global fotovoltaik kapasite[3].

Bir fotovoltaik hücrenin modellenmesi, çeşitli çevresel koşullar altında gerçek bir hücrenin davranışını tahmin etmek ve I-V ve P-V karakteristik eğrilerini oluşturmak için gereklidir. Ortak yaklaşım, bir diyota paralel bağlı bir akım kaynağına dayanan elektrik eşdeğer devresini kullanmaktır. Tek bir hücrenin veya çeşitli ışınım ve sıcaklık koşullarında bütün fotovoltaik sisteminin simülasyonu için birçok model önerilmiştir [2], [6], [7]. Fotovoltaik sistemleri üzerindeki gölgeleme etkisini incelemek için farklı modeller de kullanılmıştır [1], [8], [9]. Literatürde fotovoltaik hücre modeli için en yaygın kullanılan iki eşdeğer devre modeli; tek diyotlu ve çift diyotlu devre modelidir.

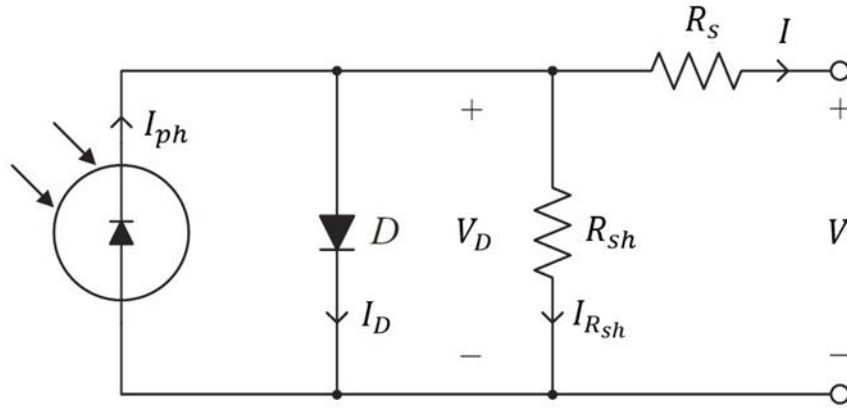


Şekil 2.2: Fotovoltaik hücre, panel, dizgi ve dizi.

2.1. FOTOVOLTAİK HÜCRE MODELİ

Fotovoltaik hücrelerin I-V ve P-V eğrileri, panellerin veya dizilerin elektriksel karakteristiklerini göstermek için yaygın olarak kullanılır. Fotovoltaik panellerin bilgisayar benzetimi, değişen çevre şartlarında ve yük değişimlerinde, fotovoltaik güç sisteminin davranışını modellemek için önemli bir araçtır. Işınım ve sıcaklık değişimleri altında fotovoltaik panelin çıkış gücünü tahmin etmek için literatürde çeşitli modelleme yaklaşımları sunulmuştur.

Kristal tabanlı fotovoltaik hücreleri temsil eden model genellikle eşdeğer devrelerden oluşur. Literatürde yaygın olarak kullanılan tek diyotlu fotovoltaik hücre modeli Şekil 2.3'de verilmiştir [10].



Şekil 2.3: Tek diyotlu fotovoltaik hücre modeli.

Burada,

V = Fotovoltaik hücre gerilimi [V]

I = Fotovoltaik hücre akımı [A]

I_{ph} = Fotoakım [A]

I_D = Diyot akımı [A]

V_D = Diyot gerilimi [V]

I_{Rsh} = Paralel direnç akımı [A]

R_s = Seri direnci [Ω]

R_{sh} = Paralel direnci [Ω]

göstermektedir.

Hücre modelindeki I_{ph} , fotovoltaik hücreye düşen ışığın oluşturduğu akımı temsil etmektedir. Fotovoltaik hücre bir pn ekleminden oluştuğu için fiziksel davranışı bir diyot ile modellenmiştir. Devredeki I_D diyot akımını, V_D ise diyot gerilimini göstermektedir. I , fotovoltaik hücre çıkış akımını, V hücre çıkış gerilimini göstermektedir. R_s direnci hücrenin yapısal olarak içerdiği malzeme dirençleri ve temas dirençlerinin toplamını ifade eder. R_{sh} direnci ise pn eklemının kaçak akımlarının etkilerini modellemek için kullanılmıştır.

Şekil 2.3’de verilen devre modeli için Kirchoff akımlar kanunu uygulanarak denklem (2.1) elde edilir.

$$I = I_{ph} - I_D - I_{R_{sh}} \quad (2.1)$$

Shockley diyot akımı ifadesi denklem (2.2)’de verilmiştir.

$$I_D = I_s \left(\exp\left(\frac{V_D}{AV_T}\right) - 1 \right) \quad (2.2)$$

Burada,

I_s = Ters doyma akımı [A]

A = Diyot kalite faktörü

V_T = Isıl gerilim [V]

$$V_T = \frac{kT}{q} \quad (2.3)$$

k = Boltzmann sabiti, $k = 1,38065 \cdot 10^{-23}$ [J/K]

T = Mutlak sıcaklık [K]

$q =$ Elektron yükü, $q = 1,602. 10^{-19}$ [C]

olarak tanımlanmıştır.

Şekil 2.3'deki devre modeli için Kirchoff gerilimler kanunu uygulanarak denklem (2.4)'te verilen diyot gerilimi elde edilir.

$$V_D = V + IR_s \quad (2.4)$$

Denklem (2.2) ve denklem (2.4), denklem (2.1)'de yerine yazılarak denklem (2.5) elde edilir.

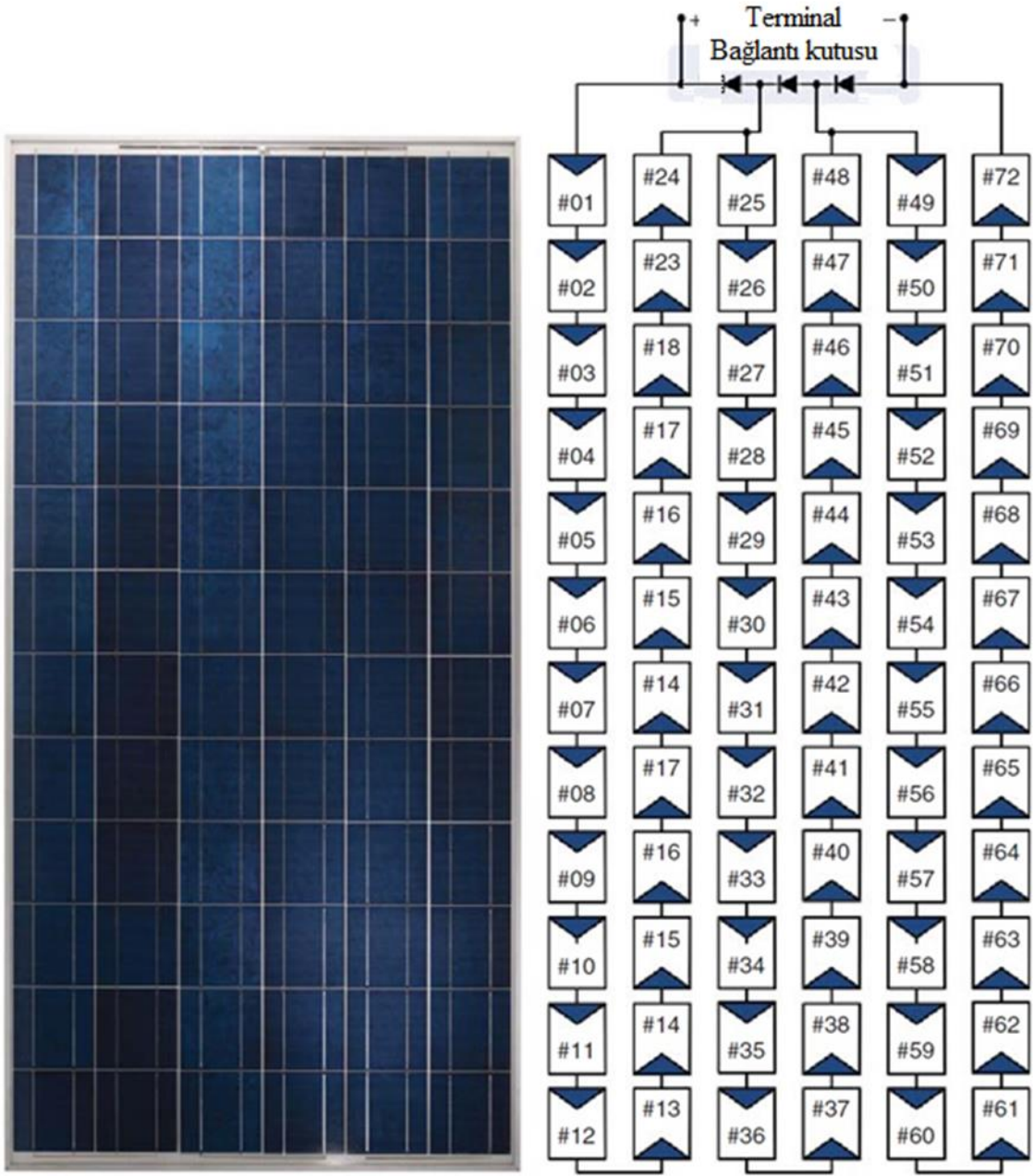
$$I = I_{ph} - I_s \left(\exp \left(\frac{V + IR_s}{AV_T} \right) - 1 \right) - \left(\frac{V + IR_s}{R_{sh}} \right) \quad (2.5)$$

Denklem (2.5) genellikle tek diyotlu model denklemi olarak adlandırılır ve bir fotovoltaik hücrenin akım-gerilim ilişkisini matematiksel olarak ifade eder [10].

Fotovoltaik hücreler standart test koşullarında (STK: $G = 1000$ W/m², AM 1,5 ve $T = 25$ °C) 1 V'tan daha küçük gerilimlerde üretilmektedir. Bu gerilim çoğu uygulama için yetersizdir. Ticari olarak mevcut olan fotovoltaik paneller, hücrelerin seri bağlanması ile elde edilir. Şekil 2.4'de standart bir fotovoltaik panel ve hücre yapısı verilmiştir. Panel, seri bağlı 72 hücreden oluşmaktadır. Hücreler, alt modüller olarak adlandırılan üç gruba ayrılmıştır. 24 seri hücreden oluşan her bir alt modüle paralel bir bypass diyodu bağlanmıştır. Bypass diyotları, kristal tabanlı fotovoltaik panellere entegre edilen standart bileşenlerdir. Bypass diyotları seri bağlı hücreler arasında uyumsuzluk olması durumunda, sıcak noktaların yıkıcı etkilerini önlemek için kullanılır. Elektrik bağlantısı, genellikle fotovoltaik panelin arkasında bulunan bağlantı kutusunun içinde yapılandırılır.

Bir fotovoltaik panel, seri bağlı n_s hücreden oluşuyorsa, tek diyot model denklemi aşağıda verilmiştir [10].

$$I = I_{ph} - I_s \left(\exp \left(\frac{V + IR_s}{An_s V_T} \right) - 1 \right) - \left(\frac{V + IR_s}{R_{sh}} \right) \quad (2.6)$$



Şekil 2.4: Bir fotovoltaik panel ve hücre yapılanması[11].

Denklem (2.6), $I = f(I, V)$ biçiminde kapalı bir fonksiyondur. Şekil 2.5 'de fotovoltaik panelin I-V eğrisini denklem (2.6) kullanılarak elde etmek için I_{ph} , I_s , A , R_s ve R_{sh} parametrelerinin bilinmesi gerekir. Bu parametreler ticari panel üreticileri tarafından sağlanan veri sayfalarında yer almamaktadır. Veri sayfalarında, STK'da aşağıdaki bilgiler verilmektedir.

$$I_{sc} = \text{Kısa devre akımı [A]}$$

$$V_{oc} = \text{Açık devre gerilimi [V]}$$

V_{mpp} = Maksimum güç noktası gerilimi [V]

I_{mpp} = Maksimum güç noktası akımı [A]

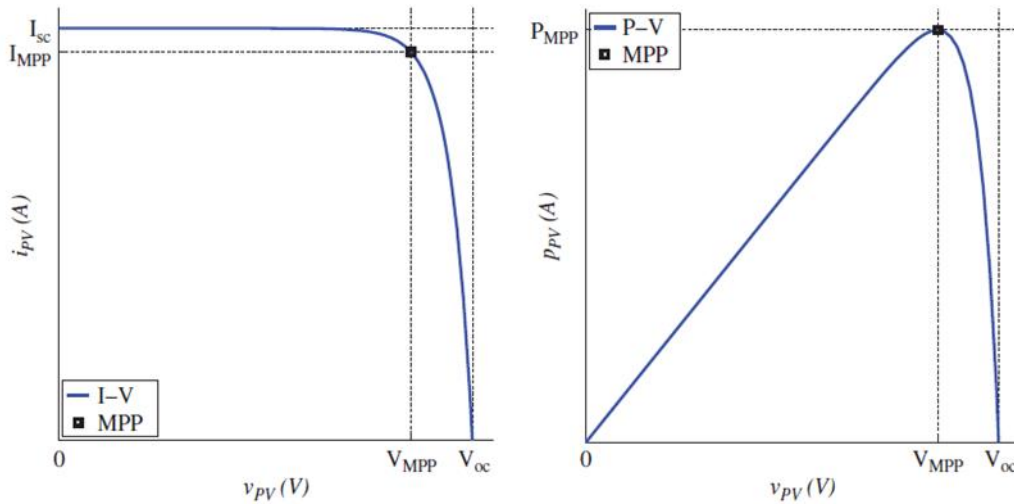
P_{mpp} = Maksimum güç [W]

n_s = Seri bağlı hücre sayısı

K_i = Kısa devre akımı sıcaklık katsayısı [%/°C]

K_v = Açık devre gerilimi sıcaklık katsayısı [%/°C]

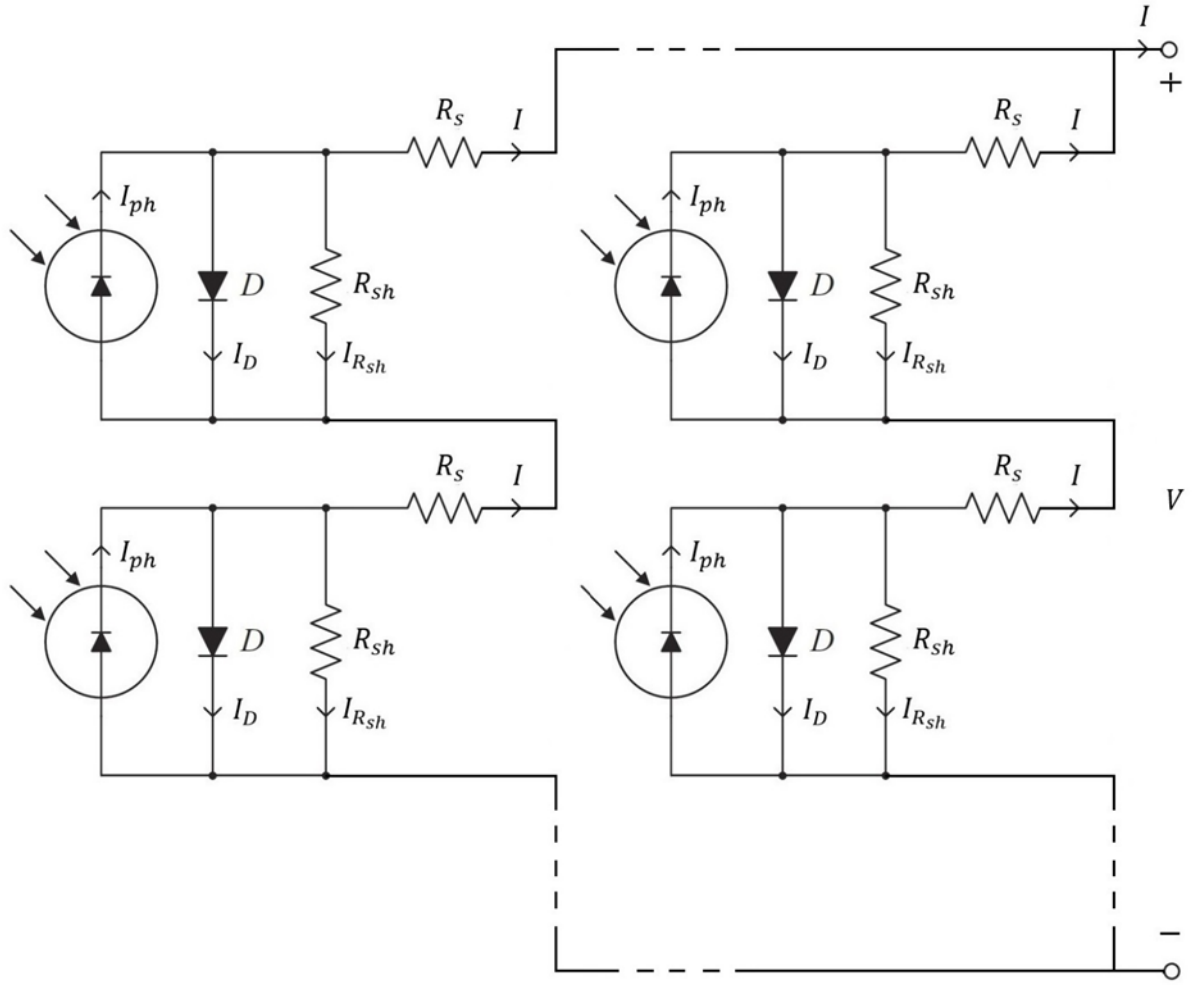
Bu tez çalışmasında, STK'da tek diyotlu hücre modeli parametreleri (I_{ph} , I_s , A , R_s ve R_{sh}) parçacık sürü optimizasyonu yöntemi ile hesaplanmıştır.



Şekil 2.5: Bir fotovoltaik panelin I-V ve P-V eğrisi.

2.2. FOTOVOLTAİK DİZİ MODELİ

Fotovoltaik dizi modeli, tek bir hücrenin I-V karakteristiğine dayanmaktadır. Işınım ve sıcaklık değerlerinin her bir hücre için aynı olduğu varsayımı yapılarak ve seri/paralel panel sayısı dikkate alınarak, bir PV dizi tek diyotlu model ile temsil edilebilir. Şekil 2.6'da $N_s \times N_p$ boyutlarında bir dizinin panel yapılanması verilmiştir. N_s , bir satırdaki seri bağlı panel sayısını, N_p ise bir sütundaki paralel bağlı panel sayısını göstermektedir [12]. Dizi modeli parametreleri ile panel modeli parametreleri arasındaki ilişki Tablo 2.1'de verilmiştir [10].

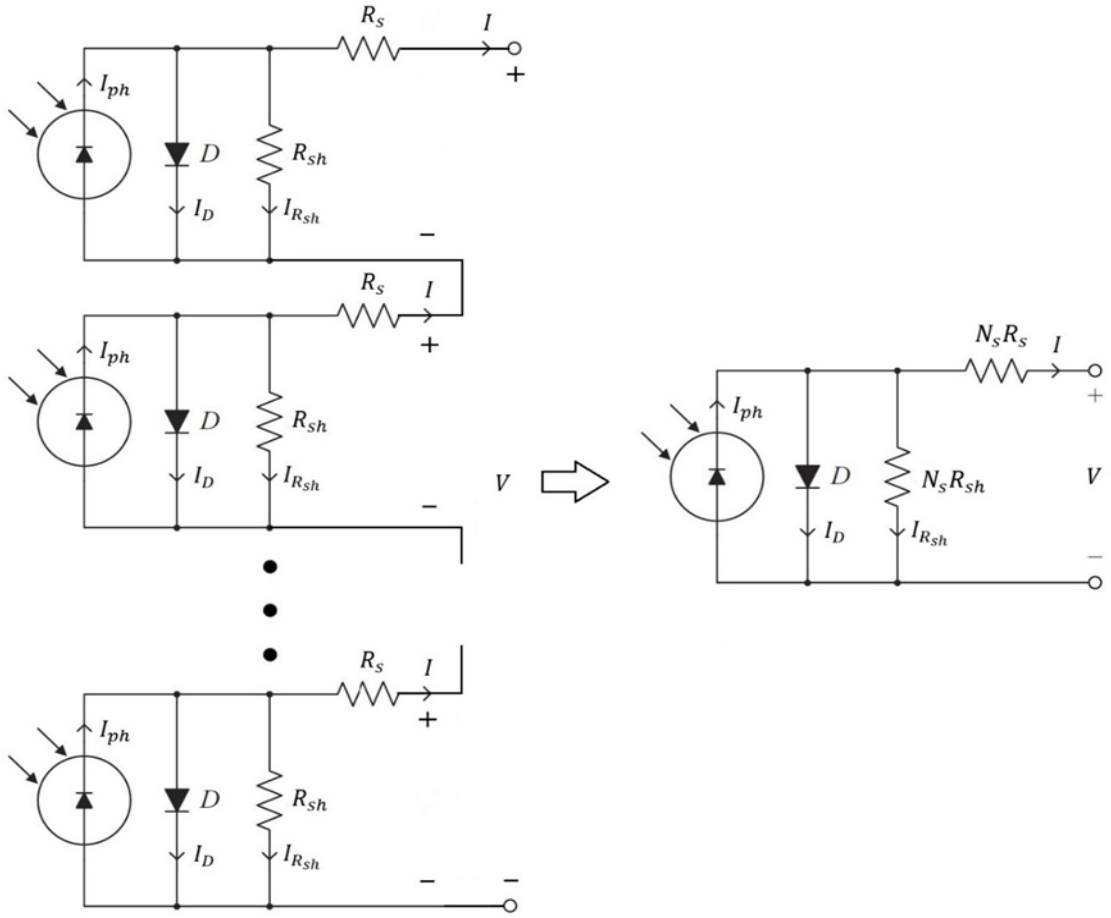


Şekil 2.6: Bir fotovoltaik dizinin panel yapılanması.

Tablo 2.1: Fotovoltaik dizi modeli parametreleri ile hücre modeli parametreleri arasındaki ilişki.

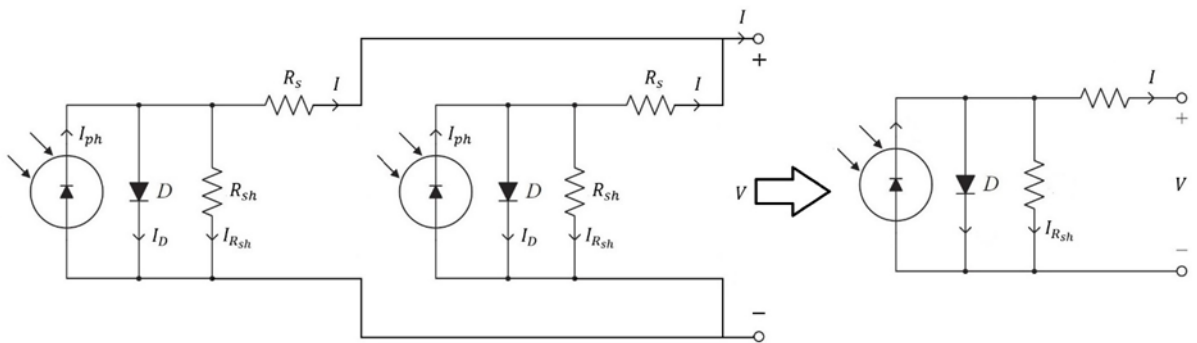
| Dizi modeli parametreleri | Panel modeli parametreleri |
|---------------------------|----------------------------|
| I_{ph} | $I_{ph} \times N_p$ |
| I_0 | $I_0 \times N_p$ |
| A | A |
| R_s | $R_s \times N_s / N_p$ |
| R_{sh} | $R_{sh} \times N_s / N_p$ |

Aşağıdaki şekilde N_s tane seri bağlı panelin oluşturduğu bir fotovoltaik dizinin eş değer devresi verilmiştir. Fotoakım, ters doyma akımı ve diyot kalite faktörü aynı kalırken, seri ve paralel dirençler, seri bağlı panel sayısına bağlı olarak toplanmıştır.



Şekil 2.7: N_s tane seri bağlı panelin oluşturduğu dizginin eş değer devresi.

Benzer şekilde, N_p tane paralel bağlı panelin oluşturduğu bir fotovoltaik dizinin eş değer devresi aşağıdaki şekilde verilmiştir. Eş değer modelde diyot kalite faktörü aynı kalırken, fotoakım ve ters doyma akımı toplanmıştır. Seri ve paralel eş değer dirençler, paralel bağlı panelin sayısına bölünmüştür.



Şekil 2.8: N_p tane paralel bağlı dizginin oluşturduğu dizinin eş değer devresi.

2.3. MODEL PARAMETRELERİNİN BULUNMASI

Fotovoltaik sistemlerin modellenmesi, güneş enerjisi üretim tesislerinde, değişen çevresel koşullar altında, enerji üretim tahmini ve verim analizi yapabilmek için şarttır. Bir fotovoltaik model, değişen sıcaklık ve ışınım şartlarında fotovoltaik panelin akım ve güç değişimini gerilime göre matematiksel olarak ifade eder.

Batzelis ve ark. [13], Lambert W fonksiyonu kullanarak gerilimi akıma göre ifade eden başka bir karakteristik sunmuşlardır. Bu yöntem, hesaplamaları basitleştirmek için bazı terimlerin ihmal edilmesini gerektirir. Bu da sonucun doğruluğunu olumsuz etkilemektedir.

Literatürde, tek diyotlu ve çift diyotlu model yaygın olarak kullanılmaktadır [14], [15]. Bal ve ark. [16] ve Suthar ve ark. [17] tek diyot modelinin farklı versiyonlarını bir fotovoltaik panel için iki diyotlu model ile karşılaştırmıştır.

Farklı teknikler kullanılarak fotovoltaik karakteristiklerinin modellenmesi için birçok çalışma yapılmıştır. Suskis ve ark. [18]–[24] deneysel veriler kullanarak modeller geliştirmiştir. Model için gerekli olan tüm parametrelerin değerlendirilmesinde kullanılan karakteristik eğrisinin üretilmesi için farklı koşullar altında çıkış gerilim ve akımını ölçmek için belirli bir panel kullanarak bir deney düzeneği tasarlanmıştır.

Andrei ve ark. [25] modelleme parametrelerini bulmak için eğri uydurma tekniğini kullanmıştır. Bu yöntemle daha pratik bir sonuç elde edilmesine rağmen, bu tür bir yaklaşım, o panele özgü bir model üretme sınırlamasına sahiptir. Daha kapsamlı bir çözüm için verilen veri sayfası parametreleri ile herhangi bir panele uygulanabilen daha genel bir modelleme tekniği gereklidir.

Daha iyi bir yaklaşım, fotovoltaik panellerin farklı çalışma modlarına, yani açık devre çalışması, kısa devre çalışması ve maksimum güç noktası [26]–[30] temel alınarak tüm bilinmeyen parametreler için denklemler formüle etmektir. Bununla birlikte, bu denklem doğrusal olmadığından açık çözümleri bulmak zordur [31].

Bu denklemlerin çözümünde sayısal yöntemler [32] olarak adlandırılan iteratif yöntemler kullanılmıştır. Chatterjee ve ark. [26] Gauss yineleme yöntemini kullanırken, Sera ve ark. [33]

denklem sistemini çözmek için Newton-Raphson yöntemini kullanmış, Jun ve Kay-Soon [29], [34] parçacık sürü optimizasyonunu kullanmışlardır.

Blas ve ark. [32] bir analitik yöntem önermişlerdir. Yöntem, hesaplamayı basitleştirmek için parametrelerden birini tahmin etme esasına dayanır. Ancak tahmin doğru olmadığı takdirde hatalar ortaya çıkabilir.

Villalva ve ark. [35] diyot kalite faktörünün bir değerini kabul eder ve diğer parametreleri hesaplama esasına dayalı bir yöntem sunmuşlardır. Chatterjee ve ark. [26] ve Mahmoud ve ark. [27] sadece dört parametrenin bilinmediği $I_{ph} = I_{sc}$ varsayımını yapmışlardır.

Buna ek olarak, Mahmoud ve ark. [27], denklemlerden diğer dört parametrenin değerlendirilmesi için kullanılan şönt direncini tahmin etmenin bir yolu tanımlamıştır. Bu yöntem tahminin olabildiğince doğru olmasını gerektirir; aksi halde beklenen değerlerden çok uzakta değerler elde edilebilir.

Parametreleri bulmak için bir diğer yaklaşım da denklemleri kullanmaktır, ancak tahminler yerine parametrelerden birini, elde edilen akımın karşılık gelen değerleri, maksimum güç noktası gibi her zaman veri sayfalarından bilinen belirli bir koşulla eşleşecek şekilde ayarlanmasıdır. Moballeggh ve Jiang [22], seri direncin değerini sıfırdan başlayarak, hesaplanan değer ile maksimum güç noktası değerleri arasında belirtilen ve kabul edilebilir bir hataya kadar artırırlar. Rahman ve ark. [28] aynı tekniği kullanan bir yöntem önermiştir. Bu yöntem diyot kalite faktörünün değerini 1'den 2'ye kadar değiştiği gerçeğine dayanmaktadır.

Simülasyon modeli için kusursuz ve gerçek gibi model karakteristikleri sunabilmek adına parametre tahmini yapılması gerekmektedir. Bu konuda, I-V karakteristiklerinin, deneysel olarak ölçülen I-V karakteristiklerini yakından izlediği fotovoltaik modeli, en çok istifade edilen parametre tahmin stratejisi olarak benimsenmiştir [37].

Son yıllarda lineer olmayan çoklu biçimli optimizasyon problemlerinin çözümünde sezgisel algoritmalar yaygın olarak kullanılmıştır. Literatürde, fotovoltaik hücrelerin parametre tahmininde birçok benzer yöntem başarıyla uygulanmıştır. Genetik Algoritma [38], Diferansiyel Evrim Algoritması [39], Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması [40], Benzetilmiş Tavlama Algoritması [41], Harmoni Arama Algoritması [42], Yapay Arı Kolonisi

Algoritması [43], Guguk Kuşu Arama Algoritması [44], Dizgi Arama Algoritması [45], vb. uygulanan bu yöntemler arasında bulunmaktadır.

Alrashidi ve ark. [41] fotovoltaik hücre modeli parametre tahmini için benzetilmiş tavlama yöntemini uygulamıştır. Tekil Mutlak Hatalar toplamı deneysel ve hesaplanan akım arasındaki farkın minimize edilmesi için amaç fonksiyon olarak kullanılmıştır. Tek Diyotlu ve Çift Diyotlu Modellerin parametre tahmini için 57mm çapındaki ticari (RTC France) silikon fotovoltaik hücresi 1 güneş (1000 W/m²) altında 33°C de kullanılmıştır. Sonuçlar Benzetilmiş Tavlama Algoritması (SA) yönteminin Dizgi Arama Algoritması ve gradiyent tabanlı yöntemlere üstünlüğünü göstermiştir.

Ye ve ark. [40] Tek Diyotlu ve Çift Diyotlu fotovoltaik modellerinin parametre tahmini için PSO yöntemini uygulamıştır. PSO yönteminin yeterliliğini kontrol etmek için, sentezlenmiş ve deneysel I-V verileri kullanılmıştır. Sonuçlar PSO yönteminin parametre kesinliği ve sayısal verimlilik bakımından genetik algoritması yönteminden daha üstün geldiğini doğrulamıştır.

Sadati ve ark. [46] PSO yöntemini benzetilmiş tavlama yöntemiyle hibritleştirilmişlerdir ve hibrit algoritmaların fonksiyonlarını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan kıyaslama fonksiyonu kavramını uygulamışlardır. Sonuçlar bu yöntemin konvansiyonel PSO yöntemiyle karşılaştırıldığında umut verici olduğunu göstermiştir.

Fang ve ark. [47] dağıtım şebekesinin yeniden şekillendirme problemi için PSO ve Tabu Arama Algoritması ile oluşturulan hibrid bir algoritma tanımlamıştır, bu algoritma erken yakınsamayı önleyerek hızlı ölçüm hızı ve yeteneğini ispatlamıştır.

Harrag ve Messalti [48] ters doyma akımı, seri direnç, paralel direnç ve idealite faktörü gibi elektriksel parametrelerin çıkarılması için PSO yaklaşımını önermişlerdir. PSO algoritması deneysel ve teorik karakteristikler arasındaki kuadratik hataların kısa bir süre içerisinde çok iyi bir doğrulukla global minimum çözümlere ulaşma olasılığını artırmak amaçlı optimizasyonu için bir araç olarak kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları, sezgisel yaklaşımın doğruluğunun fotovoltaik panel modellemesinde etkili olduğunu göstermiştir.

Kumar ve ark. [49] PSO yöntemini kullanarak fotovoltaik hücre parametrelerinin global çözümlerini geleneksel PSO yönteminden daha hızlı elde etme olasılığını artıran ve her bir iterasyondaki geçmiş verileri koruyan MATLAB temelli kendi PSO algoritmalarını

geliştirmişlerdir. Sonuçlar, deneysel verileri PSO simülasyonundan alınan kopolimer bazlı fotovoltaik hücrelerinin, fotovoltaik parametrelerinde gözlenen değişimin açıklamasında kullanılmıştır.

Qin ve Kimball [50], tek diyotlu devre modelinin parametrelerini çıkarmak için PSO yaklaşımını sunmuşlardır. Diyot idealite faktörü değerleri, seri direç ve şönt direnç PSO tekniği kullanılarak tahmin edilmiştir.

Sandrolini ve ark. [51], fotovoltaik panellerin çift diyotlu model parametrelerinin çıkarılmasında sayısal bir prosedür tanımlamışlardır. PSO algoritması bir fotovoltaik panelin hesaplanan I-V karakteristiklerinin, deneysel verilerle uygun hale getirilmesinde kullanılmıştır. Yapılan çok sayıda simülasyon için tekrarlı çözüm bulunamadığından, fotovoltaik panel parametrelerine bir sezgi kazandırmak için küme analiziyle istatistik kombinasyonu kullanılmıştır.

Vandana ve ark. [52], Çift Diyotlu model bazı endüstriyel fotovoltaik hücre örneklerinin parametrelerinin tahmininde PSO algoritmasını kullanmıştır. Çift diyotlu fotovoltaik hücre modelinin parametreleri fotoakım, diyot ters doyma akımı, seri direnç, şönt direnç ve diyot idealite faktörüdür. Bu parametrelerin kesin tahmini tüm fotovoltaik sistemin doğru modelleme ve performans analizi için esas teşkil etmektedir. Kuşların toplanması veya balıkların eğitimindeki sosyal davranıştan esinlenerek bulunan PSO, bir nüfus bazlı stokastik optimizasyon tekniğidir ve elde edilen sonuçlar tekrarlanabilir değildir.

Jiang ve ark. [53] fotovoltaik panellerin eşdeğer devre parametrelerinin çıkarılmasında PSO yaklaşımını sunmuşlardır. Bu çalışmada güneş radyasyonu ve çevre sıcaklıkları değişimi altında başarılı parametre doğruluğu elde edilmiştir.

Literatür araştırmasından da görüleceği üzere, son yıllarda fotovoltaik hücrelerin parametrelerinin çıkarılması için PSO yaklaşımı dikkat çekmeye başlamıştır. Fotovoltaik dizilerin modellendiği ve simülasyonunun yapıldığı bu tez çalışmasında, deneysel bir I-V eğrisi kullanılarak fotovoltaik panel parametrelerinin tahmini için PSO tekniğinden faydalanılmıştır.

Yukarıda tarif edilen tüm çalışmalar parametrelerin bilinen bir koşulda, yani STK'da değerlendirilir. STK, veri sayfası parametrelerinin genel olarak belirtildiği 25 °C sıcaklık ve 1000 W/m² [20] ye eşit bir ışınım olarak tanımlanır.

Ayrıca, STK dışındaki koşullarda direnç değerlerinin değişmediğini ve hesaplanan parametrelerin yalnızca fotoakımı ve ters doyma akımı olduğunu varsayarlar. Bu parametreler sıcaklık ve radyasyona bağlıdır [28] ve bu nedenle birkaç farklı yolla ifade edilirler.

Bu tez çalışmasında fotovoltaiik panellerin modellenmesinde, doğruluk ve karmaşıklık göz önüne alındığında, bir seri direnç ve bir diyot ile bir akım kaynağı arasında paralel bir dirençten oluşan tek diyotlu bir modelin kullanılması uygum görülmüştür. Bu tek diyot devre modeli parametrelerinin bulunması için PSO yönteminden yararlanılmıştır.

2.4. PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU

Parçacık Sürü Optimizasyonu, sürü halinde hareket eden balıklar ve böceklerden esinlenerek Kenedy ve Eberhart tarafından geliştirilmiş bir optimizasyon yöntemidir [54]. Temel olarak sürü zekâsına dayanan bir algoritmadır. Sürü halinde hareket eden hayvanların yiyecek ve güvenlik gibi durumlarda, çoğu zaman rasgele sergiledikleri hareketlerin, amaçlarına daha kolay ulaşmalarını sağladığı görülmüştür. PSO bireyler arasındaki sosyal bilgi paylaşımını esas alır. Arama işlemi genetik algoritmalarda olduğu gibi jenerasyon sayısınca yapılır. Her bireye parçacık denir ve parçacıklardan oluşan popülasyona da sürü denir. Her bir parçacık kendi pozisyonunu, bir önceki tecrübesinden yararlanarak sürüdeki en iyi pozisyona doğru ayarlar. PSO, temel olarak sürüde bulunan bireylerin pozisyonunun, sürünün en iyi pozisyona sahip olan bireyine yaklaştırılmasına dayanır. Bu yaklaşma hızı rasgele gelişen durumdur ve çoğu zaman sürü içinde bulunan bireyler yeni hareketlerinde bir önceki konumdan daha iyi konuma gelirler ve bu süreç hedefe ulaşmaya kadar devam eder. PSO, güç ve voltaj kontrolü, motor parametrelerini belirleme, fotovoltaiik hücrelerin parametre tahmini gibi bir çok optimizasyon problemlerinde başarı ile kullanılmıştır [54]. Şekil 2.9'da PSO yönteminin akış diyagramı gösterilmiştir.

Algoritma temel olarak aşağıdaki basamaklardan oluşur;

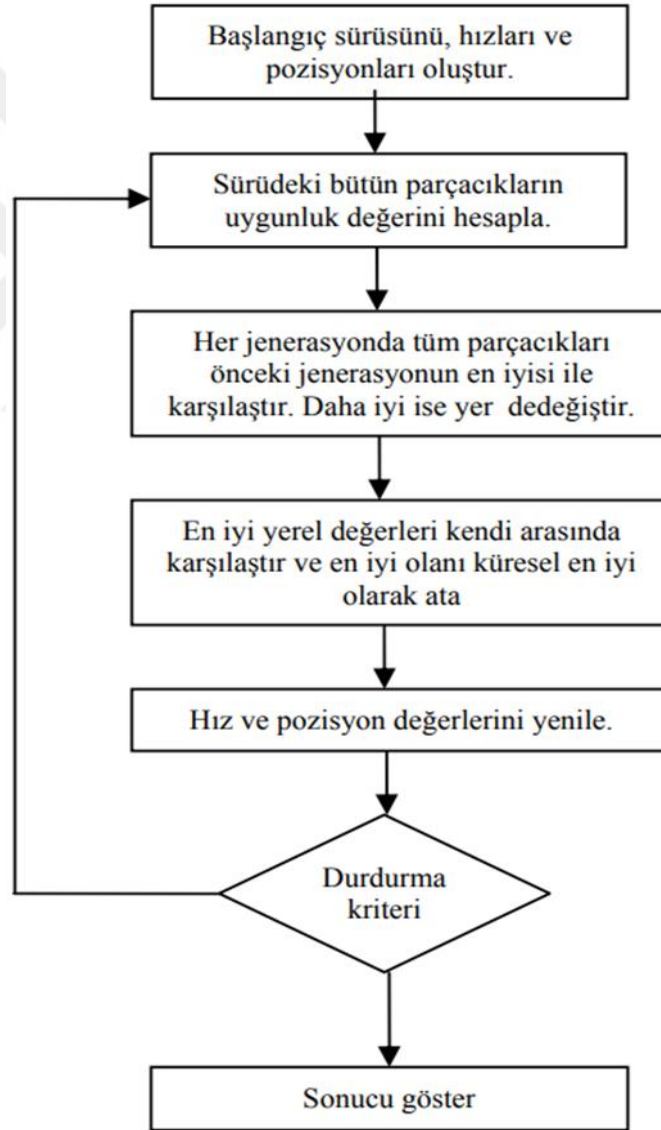
1. Rasgele üretilen başlangıç pozisyonları ve hızları ile başlangıç sürüsü oluşturulur.
2. Sürü içerisindeki tüm parçacıkların uygunluk değerleri hesaplanır.
3. Her bir parçacık için mevcut jenerasyondan yerel en iyi (pbest) bulunur. Sürü içerisinde en iyilerin sayısı parçacık sayısı kadardır.
4. Mevcut jenerasyondaki yerel eniyiler içerisinde küresel en iyi (gbest) seçilir.
5. Pozisyon ve hızlar aşağıdaki gibi yenilenir.

$$v_i^{k+1} = \omega v_i^k + c_1 r_1 (P_{b,i} - x_i) + c_2 r_2 (G_{b,i} - x_i) \quad (2.7)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \quad (2.8)$$

Burada X_{id} pozisyon ve V_{id} hız değerlerini verirken, $rand_1$ ve $rand_2$ değerleri rasgele üretilmiş sayılardır. W atalet ağırlık değeri ve C_1, C_2 ölçeklendirme faktörleridir.

6. Durdurma kriteri sağlanıncaya kadar 2, 3, 4, 5 adımları tekrar edilir.



Şekil 2.9: Parçacık sürü optimizasyonu akış diyagramı.

2.5. PARAMETRELERİN IŞINIM VE SICAKLIK BAĞIMLILIĞI

Fotovoltaik panellerin veri sayfalarında STK'da I-V eğrisi verilir. Bazı ticari ürünlerde birkaç ışınım ve sıcaklık değeri içinde bu eğrilerin verildiği bilinmektedir. Fotovoltaik panellerin değişen ışınım ve sıcaklık değerlerinde elektriksel karakteristiğini elde etmek için çeşitli modeller önerilmiştir. Bu bölümde yaygın olarak kullanılan modeller tanıtılmıştır.

2.5.1. Model 1

Bu modelde, bir fotovoltaik panelin STK'da I-V eğrisi elde edildikten sonra ışınım ve sıcaklığın etkilerini modellemek için R_s , R_{sh} ve A 'nın ışınım ve sıcaklıktan bağımsız olduğu varsayılmıştır. Bu yaklaşım I_{ph} ve I_s için geçerli değildir. Sıcaklık ve ışınımın I_{ph} ve I_s üzerindeki etkileri süperpozisyon ilkesinin uygulanmasıyla elde edilmiştir [33].

Açık devre gerilimi V_{oc} ve kısa devre akımı I_{sc} 'nin sıcaklık ile değişimi denklem (2.9) ve denklem (2.10) ile belirtilmiştir. Burada T_{STC} , STK'daki sıcaklığı (25°C veya 298K) göstermektedir.

$$V_{oc}(T) = V_{oc} + K_v(T - T_{STC}) \quad (2.9)$$

$$I_{sc}(T) = I_{sc} \left[1 + \frac{K_i}{100} (T - T_{STC}) \right] \quad (2.10)$$

I_{ph} ve I_s 'in sıcaklık ile değişimi aşağıdaki gibidir.

$$I_s(T) = \left[I_{sc}(T) - \left(\frac{V_{oc}(T) - I_{sc}(T)R_s}{R_{sh}} \right) \right] \exp \left(- \frac{V_{oc}(T)}{An_s V_T} \right) \quad (2.11)$$

$$I_{ph}(T) = I_s(T) \exp \left(\frac{V_{oc}(T)}{An_s V_T} \right) + \frac{V_{oc}(T)}{R_{sh}} \quad (2.12)$$

I_{sc} 'nin ışınım ile değişimi denklem (2.13)'de gösterilmiştir.

$$I_{sc}(G, T) = I_{sc}(T) \frac{G}{G_{STC}} \quad (2.13)$$

Burada G_{STC} , STK'daki ışınlamı (1000 W/m^2) göstermektedir.

V_{oc} 'nin ışınlamaya bağımlılığını bulmak için, I_{ph} 'nin ışınlam ile doğru orantılı olduğu varsayılmıştır.

$$I_{ph}^* = I_{ph}(T) \frac{G}{G_{STC}} \quad (2.14)$$

$$V_{oc}(G, T) = \ln \left[\frac{I_{ph}^* R_{sh} - V_{oc}(G, T)}{I_{sc}(T) R_{sh}} \right] An_s V_T \quad (2.15)$$

Denklem (2.15) transendental olduğu için iteratif bir yöntemle çözülebilir.

Denklem (2.13) ve (2.15) kullanılarak I_{ph} ve I_s 'nin ışınlam ve sıcaklıkla değişimi aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$I_s(G, T) = \left[I_{sc}(G, T) - \left(\frac{V_{oc}(G, T) - I_{sc}(G, T) R_s}{R_{sh}} \right) \right] \exp \left(- \frac{V_{oc}(G, T)}{An_s V_T} \right) \quad (2.16)$$

$$I_{ph}(G, T) = I_s(G, T) \exp \left(\frac{V_{oc}(G, T)}{An_s V_T} \right) + \frac{V_{oc}(G, T)}{R_{sh}} \quad (2.17)$$

Fotovoltaik panelin ışınlam ve sıcaklığa bağlı tek diyotlu model denklemi aşağıda verilmiştir.

$$I = I_{ph}(G, T) - I_s(G, T) \left[\exp \left(\frac{V + IR_s}{An_s V_T} \right) - 1 \right] - \left(\frac{V + IR_s}{R_{sh}} \right) \quad (2.18)$$

2.5.2. Model 2

Model 2'de R_{sh} direncinin çok büyük olduğu ve $I_{ph} = I_{sc}$ varsayımı yapılarak diyot ters doyma akımı aşağıdaki gibi elde edilir [35].

$$I_s = \frac{I_{sc}}{\exp\left(\frac{V_{oc}}{n_s V_T}\right) - 1} \quad (2.19)$$

I_{sc} ve V_{oc} 'nin sıcaklığa bağımlılığı Model 1'deki gibi olduğu varsayılarak gibi ters doyma akımı tekrar yazılarak aşağıdaki denklem elde edilir.

$$I_s = \frac{I_{sc} + K_i \Delta T}{\exp\left(\frac{V_{oc} + K_v \Delta T}{n_s V_T}\right) - 1} \quad (2.20)$$

Fotoakımın sıcaklığa ve ışınımına bağımlılığı aşağıdaki denklem ile verilmiştir.

$$I_{ph} = (I_{ph,n} + K_i \Delta T) \frac{G}{G_n} \quad (2.21)$$

2.5.3. Model 3

Model 3'te fotoakımın sıcaklıkla ve ışınım ile değişimi aşağıdaki ifade ile verilmiştir [27].

$$I_{ph} = (I_{ph,n} + K_i \Delta T) \frac{G}{G_n} \quad (2.22)$$

R_{sh} direncinin çok büyük olduğu varsayımı yapılarak diyot ters doyma akımı aşağıdaki gibi elde edilir.

$$I_s = \frac{I_{ph}}{\exp\left(\frac{V_{oc}}{An_s V_T}\right) - 1} \quad (2.23)$$

Bu denklem kullanılarak V_{oc} aşağıdaki gibi elde edilir.

$$V_{oc} = An_s V_T \ln\left(\frac{I_{ph,n}}{I_{s,n}} + 1\right) \quad (2.24)$$

Açık devre gerilimi V_{oc} 'nin sıcaklık ile değişimi aşağıda verilmiştir.

$$V_{oc}(G, T_n) - V_{oc}(G, T) = |K_v| \Delta T \quad (2.25)$$

Burada $V_{oc}(G, T_n)$, belirli bir ışınım değeri için STK'daki, $V_{oc}(G, T)$ ise çalışma sıcaklığındaki açık devre gerilimini göstermektedir. $|K_v|$, V_{oc} 'nin sıcaklık katsayısının mutlak değerini ifade eder. ΔT ise STK'daki sıcaklık ile çalışma sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkını göstermektedir ve $\Delta T = T - T_n$ ile hesaplanır.

$$\frac{An_s k}{q} \left[T_n \ln \left(\frac{(I_{ph,n}) \frac{G}{G_n}}{I_{s,n}} + 1 \right) - T \ln \left(\frac{(I_{ph,n} + K_i \Delta T) \frac{G}{G_n}}{I_s} + 1 \right) \right] = |K_v| \Delta T \quad (2.26)$$

$$I_s = \frac{\exp \left(\frac{|K_v| \Delta T q}{An_s k} \right) (I_{ph,n} + K_i \Delta T) \frac{G}{G_n}}{\left(\frac{(I_{ph,n}) \frac{G}{G_n}}{I_{s,n}} + 1 \right)^{\frac{T_n}{T}} - \exp \left(\frac{|K_v| \Delta T q}{An_s k} \right)} \quad (2.27)$$

Yukarıdaki denklem ters doyuma akımının (I_s), ışınımının ve hücre sıcaklığı değişiminin bir fonksiyonu olduğu göstermektedir. Meteorolojik koşulların geri kalan parametreler üzerindeki etkisi ihmal edilmiştir [27].

3. MALZEME VE YÖNTEM

Son zamanlarda, doğadan ilham alan algoritmaların güçlü optimizasyon araçları olduğu kanıtlanmıştır ve fotovoltaik model parametrelerini tahmin etmek için yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu tez çalışmasında STK'da fotovoltaik model parametrelerinin tahmini için parçacık sürü optimizasyon yöntemi kullanılmıştır.

Fotovoltaik model parametrelerinin tahmini genellikle deneysel I-V verisi ile model denklemi ile elde edilen verilerle uyumlu olana kadar model parametrelerini ayarlamak için bir optimizasyon algoritması uygulanır. Optimizasyon yönteminde bir en aza indirgeme problemi, amaç fonksiyonu ise bir hata fonksiyonudur. Seçilen hata fonksiyonu ölçülen değerler ile hesaplanan değerler arasındaki fark olarak tanımlanır.

Bu bölümde performans kriteri ve PSO algoritmasının problem özelinde akış diyagramı çalışması verilmiştir.

3.1. PERFORMANS KRİTERİ

Model parametre tahmini problemi, ölçülen akım ve hesaplanan akım arasındaki farkı en aza indirmek için bir optimizasyon problemine dönüştürülmüştür. En aza indirgeme için karesel ortalama hata (root mean square error, RMSE) amaç fonksiyonu olarak tanımlanmıştır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (I_m - I_c)^2}{N}} \quad (3.1)$$

Burada I_m , ölçülen akımı, I_c , hesaplanan akımı göstermektedir. N ise ölçülen veri noktalarının sayısıdır.

3.2. DENEYSEL VERİLER

Fotovoltaik model parametrelerinin hesaplanması için seçilen yöntem bir sezgisel yöntemdir. Diğer analitik ve iteratif yöntemlerden farklı olarak deneysel veriler kullanılarak model parametrelerinin hesaplanması gerekir. Bu tez çalışmasında kullanılan Kyocera marka, KC200GT model panelin farklı sıcaklık ve ışınım altında ölçülmüş verileri EK-1'de sunulmuştur [55].

3.3. MODEL PARAMETRELERİNİN PSO İLE BULUNMASI

Parçacık sürüsü optimizasyonu, sürü tabanlı sezgisel bir optimizasyon algoritmasıdır. Optimize edilmiş (en aza indirgenmiş) amaç değeri ile çözümü bulmak için tüm arama alanında bir parçacıklar sürüsü (potansiyel çözümler) kullanılır. Parçacıklar, arama alanında rasgele başlatılır. İlk konum ve ilgili amaç değeri kişisel en iyi çözümler, minimum hedef fonksiyon değerine sahip parçacık veya konum ise küresel en iyi olarak saklanır. Her parçacığın konumu ve hızı aşağıdaki denklemlere göre güncellenir:

$$v_i^{k+1} = \omega v_i^k + c_1 r_1 (P_{b,i} - x_i) + c_2 r_2 (G_{b,i} - x_i) \quad (3.2)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \quad (3.3)$$

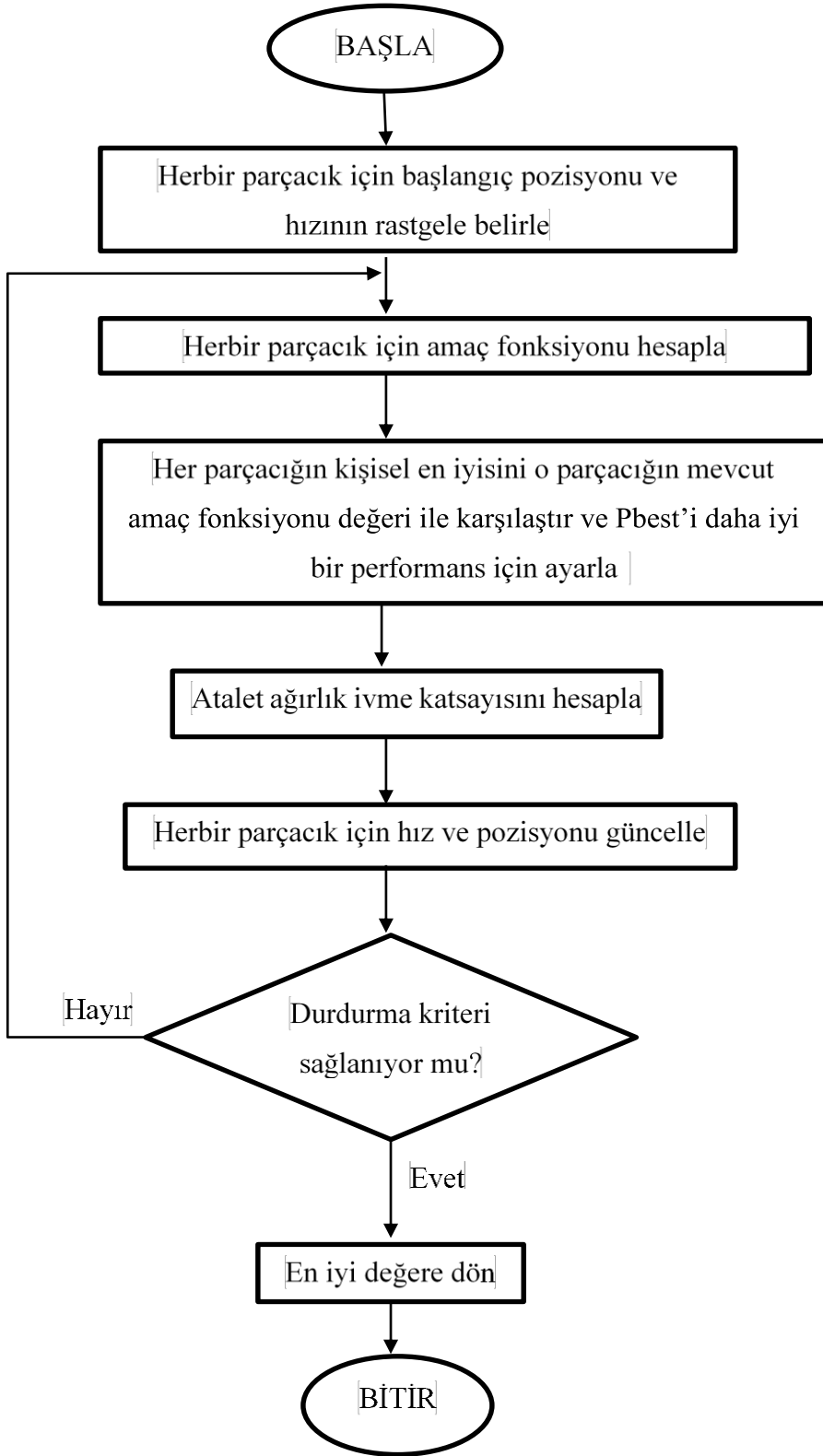
Yukarıdaki denklemlerde, v , i . parçacığının hızını, P_b kişisel en iyi çözümü, G_b küresel en iyi çözümü, x mevcut çözümün pozisyonunu, c_1 ve c_2 , sırasıyla kişisel hızlanma katsayısını ve sosyal ivme katsayısı, ω atalet ağırlığını göstermektedir. r_1 ve r_2 ise (0, 1) aralığında rasgele sayılardır.

Her bir parçacığın hızını ve pozisyonunu değiştirdikten sonra, yeni pozisyonla ilgili amaç fonksiyonu değerlendirilir ve P_b ve G_b aşağıdaki denklemlerde gösterilen basit ilişkiler kullanılarak güncellenir:

$$P_{b,i}^{k+1} = \begin{cases} P_{b,i}^k & \text{eğer } RMSE(x_i^k) \geq RMSE(P_{b,i}^k) \\ x_i^k & \text{eğer } RMSE(x_i^k) < RMSE(P_{b,i}^k) \end{cases} \quad (3.4)$$

$$G_{b,i}^{k+1} = P_{b,i}^k \text{ eğer } \max[MSE(P_{b,i}^k)] \quad (3.5)$$

G_b , durma kriteri yerine getirilene kadar iteratif olarak hesaplanır. Durma kriteri, belirli sayıda yineleme veya önceden tanımlanmış bir hata toleransı olabilir. Bu çalışmada durdurma kriteri iterasyon sayısı seçilmiş ve değeri $k=100$ olarak belirlenmiştir. Şekil 3.1. 'de önerilen PSO yöntemi için akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.1: PSO akış diyagramı.

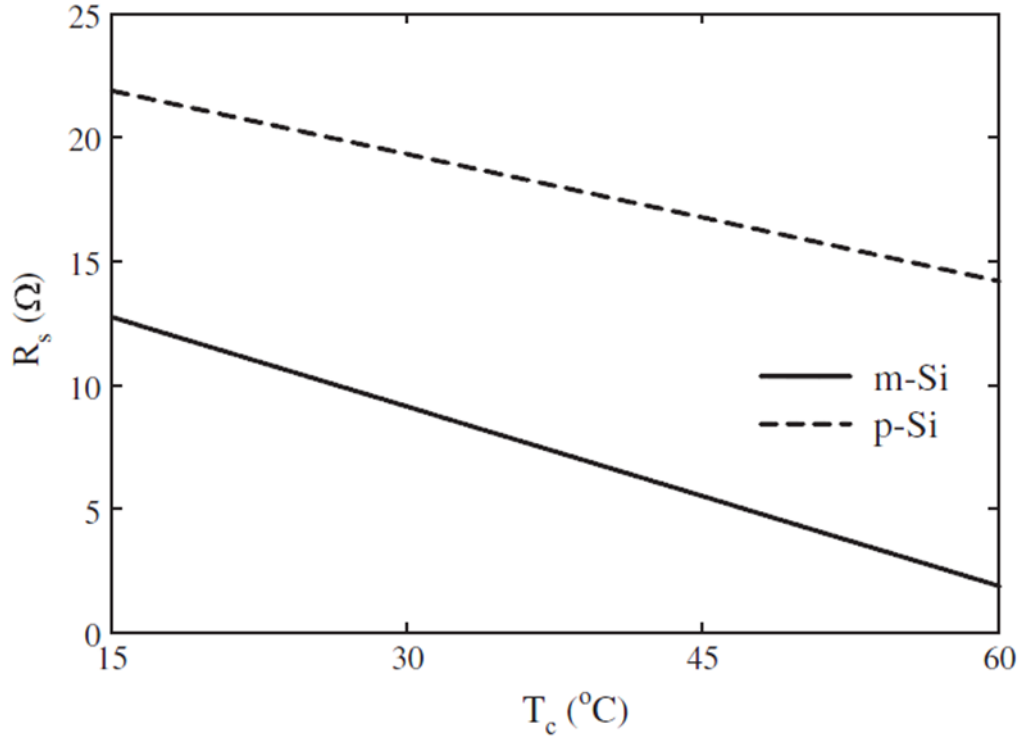
3.4. ÖNERİLEN MODEL

PSO ile hesaplanan model parametreleri STK'da hesaplanmıştır. Önerilen yeni modelde R_s direncinin değişen çevresel koşullar altında sabit kalmadığı, aksine sıcaklık ve ışınımına bağlı olarak değiştiği yapılan çalışmalarla gösterilmiştir.

Cüce ve ark. [56] yaptığı çalışmaya göre R_s direncinin sıcaklık bağımlılığı Şekil 3.2'de verilmiştir. Buna göre seri R_s direncinin sıcaklıkla doğrusal olarak azaldığı görülmektedir. Bu değişim aşağıdaki denklem ile ifade edilmiştir.

$$R_s(T) = R_{sn}(1 \pm k\Delta T) \quad (3.6)$$

Burada R_{sn} , STK'da seri direncin değerini, k ise sabit bir katsayıyı göstermektedir. Bu sabit katsayı PSO yöntemi ile STK'da $k = -0.7096$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.2: Fotovoltaik panellerin seri direncinin sıcaklığa bağımlılığı [56].

4. BULGULAR

Bu tez çalışmasında fotovoltaik sistemlerin tek diyot devre modelinin parametreleri, STK'da parçacık sürü optimizasyonu yöntemi ile hesaplanmıştır. Işınım ve sıcaklık değişimlerinde elektriksel karakteristiğin değişimini modelleyen yeni bir yöntem sunulmuştur. Farklı ışınım ve sıcaklık koşullarında, elektriksel karakteristiğin değişimini modelleyen literatürde yaygın olarak kullanılan üç farklı yöntem ile önerilen yöntem karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

4.1. PSO İLE BULUNAN TEK DİYOT MODEL PARAMETRELERİ

Bu tez çalışmasında ticari bir ürün olan Kyocera marka, KC200GT model bir fotovoltaik panel kullanılmıştır. PSO yöntemi ile tahmin edilen parametrelerin alt ve üst sınır değerleri ve veri sayfası değerleri aşağıda Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de verilmiştir. Hesaplanan tek diyot model parametreleri Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.1: Model parametrelerinin alt ve üst sınır değerleri.

| Parametre | Alt Sınır | Üst Sınır |
|-----------|-----------|-----------|
| I_{ph} | 0 | 1 |
| I_s | 0 | 10^{-6} |
| A | 1 | 2 |
| R_s | 0 | 0,5 |
| R_{sh} | 0 | 1000 |

Tablo 4.2: Kyocera KC200GT paneli veri sayfası değerleri.

| Model adı | KC200GT |
|--|---------------------|
| Hücre tipi | Polikristal silikon |
| Hücre sayısı | 54 seri hücre |
| Maksimum güç [P_{max}] | 200 W |
| Açık devre gerilimi [V_{oc}] | 32,9 V |
| Kısa devre akımı [I_{sc}] | 8,21 A |
| Maksimum güç noktası gerilimi [V_{mp}] | 26,3 V |
| Maksimum güç noktası akımı [I_{mpp}] | 7,61 A |
| Kısa devre akımı sıcaklık katsayısı [K_i] | +0,00318 A/°C |
| Açık devre gerilimi sıcaklık katsayısı [K_v] | -0,123 V/°C |
| Elektrik performansı, Standart Test Koşulları (STK: 25 °C, AM1.5, 1000 W/m ²) altındaki değerleri temsil eder. | |

Tablo 4.3: Kyocera KC200GT paneli tek diyot model parametreleri.

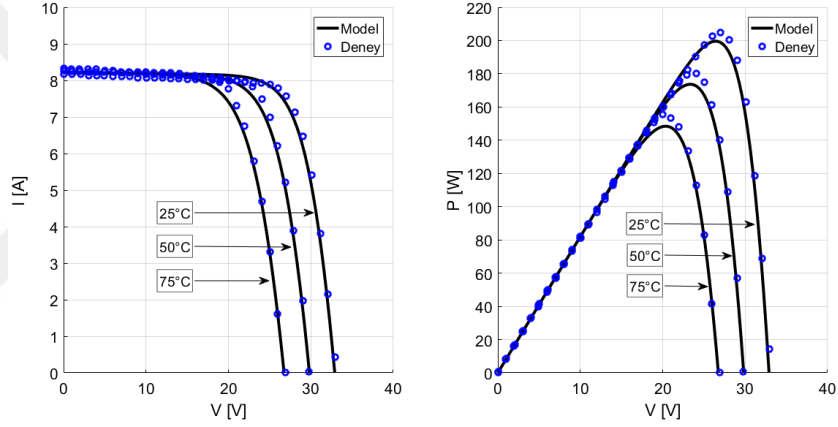
| Parametre | Değeri |
|----------------------------------|-------------------|
| Fotoakım [I_{ph}] | 8,1189 A |
| Diyot ters doyma akımı [I_o] | 0,1026 μ A |
| Diyot ideal faktörü [n] | 1,3088 |
| Seri direnç [R_s] | 0,2067 Ω |
| Paralel direnç [R_{sh}] | 538,0895 Ω |

4.2. SİMÜLASYON SONUÇLARI

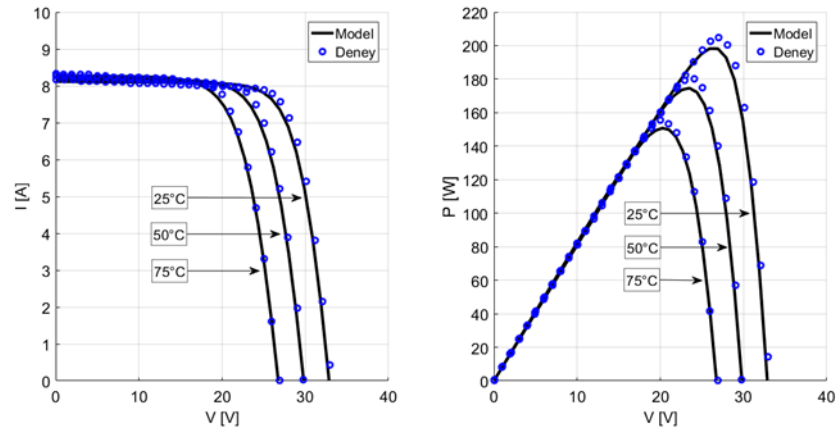
Bu bölümde, literatürde yaygın olarak kullanılan üç farklı yöntem ve önerilen yöntem ile ışınım ve sıcaklık değişimi modellenmiş ve simülasyon sonuçları verilmiştir.

4.2.1. Sıcaklık ile Elektriksel Karakteristiklerin Değişimi

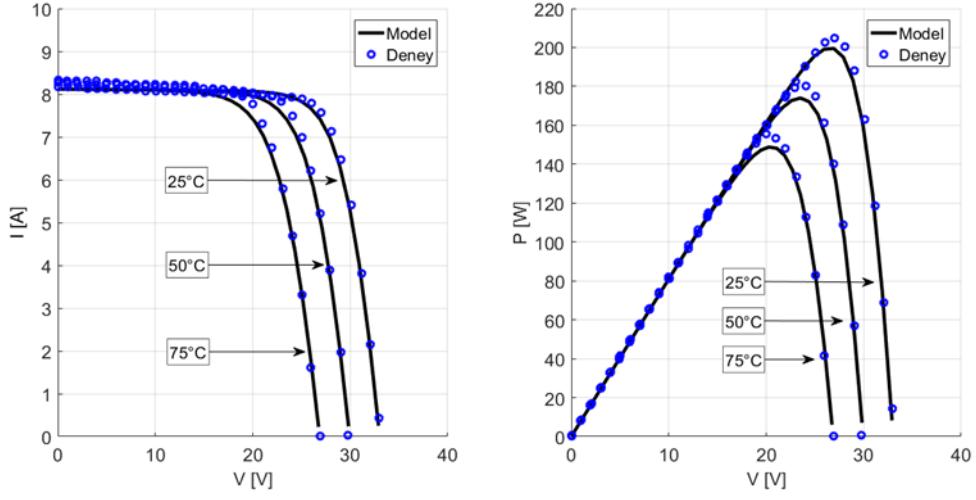
Bir fotovoltaik panelin sabit bir ışınım seviyesinde ($G = 1000 \text{ W/m}^2$) performansı, aşağıdaki şekilde gösterilmektedir. Sıcaklık arttıkça açık devre geriliminde belirgin bir azalma görülmüştür. Hücre sıcaklığı arttıkça fotovoltaik sistemin güç çıkışında önemli bir azalma görülmüştür. Bu sonuçlar, gücün farklı sıcaklıklar için gerilimin bir fonksiyonu olarak verildiği Şekil 4.1 – 4.4 'de açıkça görülmektedir.



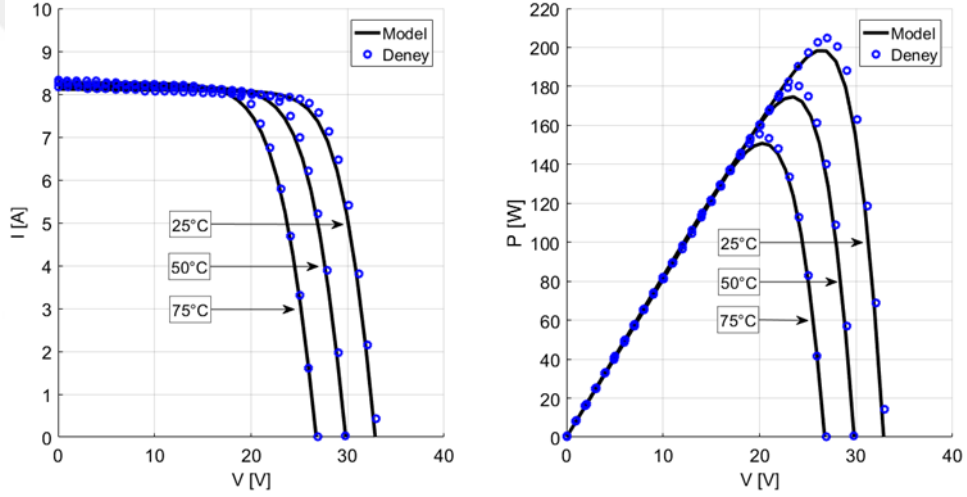
Şekil 4.1: Sıcaklık değişiminde I-V ve P-V eğrilerin model 1 ile elde edilmesi.



Şekil 4.2: Sıcaklık değişiminde I-V ve P-V eğrilerin model 2 ile elde edilmesi.



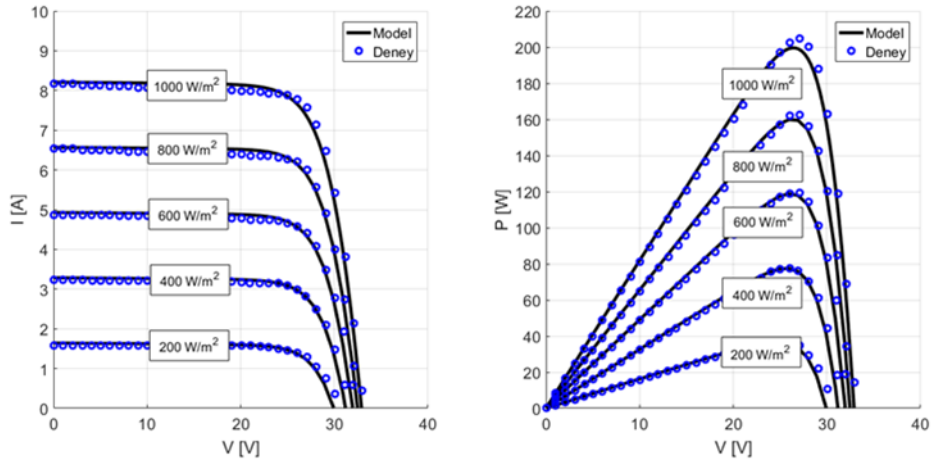
Şekil 4.3: Sıcaklık değişiminde I-V ve P-V eğrilerin model 3 ile elde edilmesi.



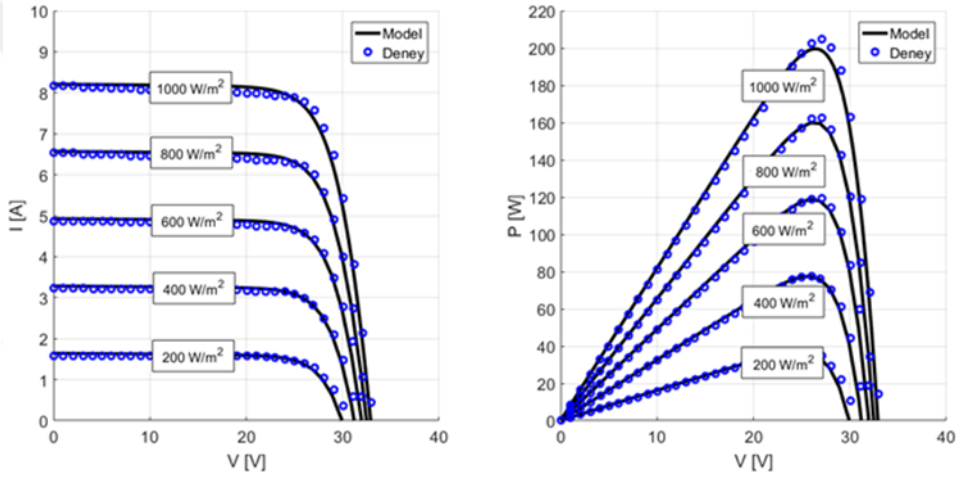
Şekil 4.4: Sıcaklık değişiminde I-V ve P-V eğrilerin önerilen model ile elde edilmesi.

4.2.2. Işınım ile Elektriksel Karakteristiklerin Değişimi

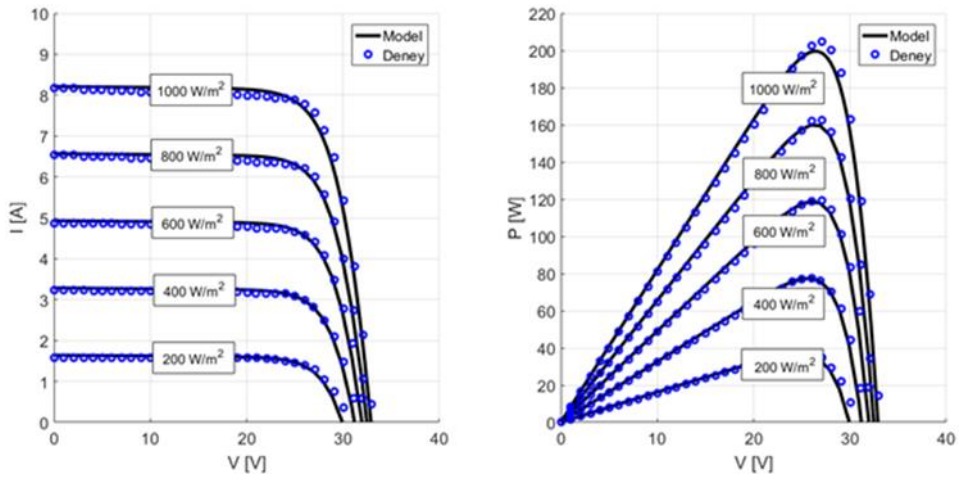
Işınımın bir panelin performansı üzerindeki etkisini göstermek için sıcaklık 25 °C'de sabit tutulup ve ışınım değerleri farklı değerlere değiştirilir. I-V karakteristiklerinin ışınım ile değişimi aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Işınımın kısa devre akımı üzerinde büyük bir etkisi olduğu oldukça açıktır ve ışınım ile kısa devre akımı arasındaki ilişki doğrusaldır. Güç, Şekil 4.5- 4.8'de gösterildiği gibi farklı ışınım seviyelerinde hesaplanmıştır. Fotovoltaik panelden mümkün olan maksimum çıkışı elde etmek için, PV panelin noktali çizgilerle gösterilen maksimum güce karşılık gelen gerilimde çalışması gerekmektedir.



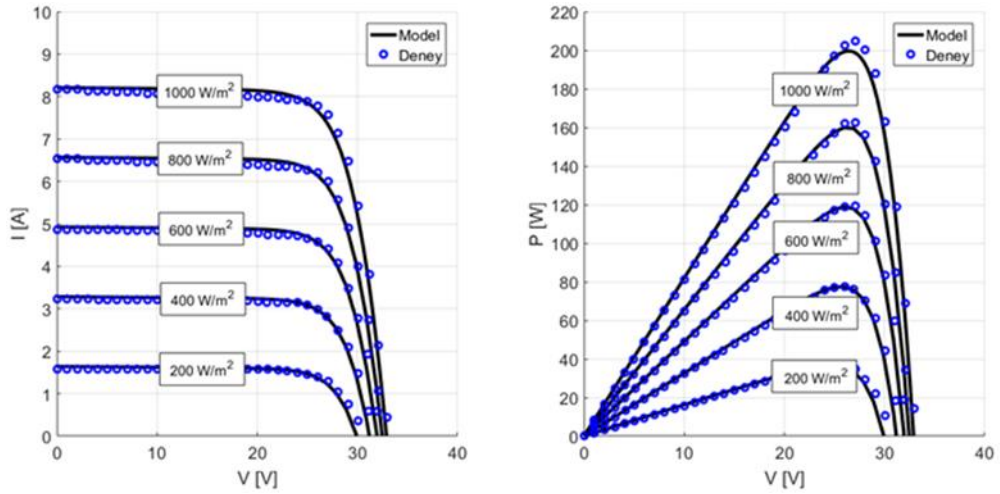
Şekil 4.5: Işınım değişiminde I-V ve P-V eğrilerin model 1 ile elde edilmesi.



Şekil 4.6: Işınım değişiminde I-V ve P-V eğrilerin model 2 ile elde edilmesi.



Şekil 4.7: Işınım değişiminde I-V ve P-V eğrilerin model 3 ile elde edilmesi.



Şekil 4.8: Işınım değişiminde I-V ve P-V eğrilerin önerilen model ile elde edilmesi.

4.3. MODEL DOĞRULUĞU

Bu bölümde önerilen model ve literatürde yaygın olarak kullanılan üç farklı model performans kriteri olan karesel ortalama hata ve normalize karesel ortalama hata hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Verilen değerleri algoritmanın 30 kez çalıştırılarak elde edilen verilerden en iyileri seçilerek Tablo 4.4 ve Tablo 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.4: KC200GT paneli için modellerin farklı sıcaklıklarda hata değerlerinin karşılaştırılması.

| Model | Sıcaklık (°C) | Karesel Ortalama Hata | Normalize Karesel Ortalama Hata |
|----------------|---------------|-----------------------|---------------------------------|
| Model 1 [33] | 25 °C | 0,0242 | 0,0029 |
| | 50 °C | 0,0120 | 0,0015 |
| | 75 °C | 0,0415 | 0,0050 |
| Model 2 [35] | 25 °C | 0,0207 | 0,0025 |
| | 50 °C | 0,0106 | 0,0013 |
| | 75 °C | 0,0414 | 0,0050 |
| Model 3 [27] | 25 °C | 0,0295 | 0,0036 |
| | 50 °C | 0,0305 | 0,0037 |
| | 75 °C | 0,0612 | 0,0075 |
| Önerilen Model | 25 °C | 0,0202 | 0,0022 |
| | 50 °C | 0,0101 | 0,0013 |
| | 75 °C | 0,0326 | 0,0040 |

Tablo 4.5: KC200GT paneli için modellerin farklı ışınımlarda hata değerlerinin karşılaştırılması.

| Model | Işınım (W/m ²) | Karesel Ortalama Hata | Normalize Karesel Ortalama Hata |
|----------------|-------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| Model 1 [33] | 200 | 0,1799 | 0,1096 |
| | 400 | 0,1446 | 0,0440 |
| | 600 | 0,0985 | 0,0200 |
| | 800 | 0,0822 | 0,0125 |
| | 1000 | 0,0242 | 0,0029 |
| Model 2 [35] | 200 | 0,1835 | 0,1127 |
| | 400 | 0,1490 | 0,0457 |
| | 600 | 0,1033 | 0,0211 |
| | 800 | 0,0877 | 0,0135 |
| | 1000 | 0,0207 | 0,0025 |
| Model 3 [27] | 200 | 0,1636 | 0,1004 |
| | 400 | 0,1278 | 0,0392 |
| | 600 | 0,0810 | 0,0166 |
| | 800 | 0,0635 | 0,0097 |
| | 1000 | 0,0295 | 0,0036 |
| Önerilen Model | 200 | 0,1578 | 0,1003 |
| | 400 | 0,1133 | 0,0376 |
| | 600 | 0,0780 | 0,0159 |
| | 800 | 0,0629 | 0,0076 |
| | 1000 | 0,0202 | 0,0022 |

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Fotovoltaik enerjisi sistemlerinin performansının değerlendirilebilmesi için PV panelin I-V karakteristik eğrisinin tahmin edilmesi önemlidir. Bir PV panelin davranışını tahmin etmek için literatürde yaygın olarak elektrik devre modelleri kullanılmaktadır. Tek diyotlu ve çift diyotlu PV hücre modelleri en sık kullanılandır.

Tek diyotlu PV hücre modeli, bir akım kaynağı, buna paralel bir diyot ve bir direnç ile bunlara seri bir dirençten oluşur. Tek diyot model denklemleri dikkate alındığında hesaplanması gereken 5 farklı parametre vardır. Bunlar fotoakım (I_{ph}), diyot ters doyma akımı (I_s), diyot kalite faktörü (A), seri direnç (R_s) ve paralel dirençtir (R_{sh}). Bu bilinmeyen parametrelerin hesaplanması için literatürde farklı yöntemler önerilmiştir. Bu yöntemler, analitik, iteratif ve sezgisel yöntemler olarak sınıflandırılabilir. Bazı parametre hesaplama yöntemlerinde PV panellerin veri sayfalarında verilen bilgilerden faydalanılmıştır. Bu bilgiler açık devre gerilimi (V_{oc}), kısa devre akımı (I_{sc}), maksimum güç noktasındaki gerilim (V_{mp}), maksimum güç noktasındaki akım (I_{mp}), maksimum güç (P_{mp}) vb. bilgilerdir. Bu bilgilerin panelin gerçek özellikleri ile uyuşmaması durumunda modelin doğruluğunu azaltacağı açıktır. Bazı tahmin yöntemleri ise panellerin I-V deneysel ölçüm sonuçlarına dayanarak model parametrelerini hesaplar. Bu ölçümleri her panel kullanıcısının elde edememesi yöntemlerin önündeki en büyük engeldir.

Literatürde yapılan son çalışmalar dikkate alındığında model parametre tahmininin bir optimizasyon problemine dönüştüğü görülmektedir. Bu tez çalışmasında sezgisel yöntemler sınıfında değerlendirilebilecek bir optimizasyon yöntemi olan PSO kullanılmıştır. Ticari bir ürün olarak ulaşılabilecek Kyocera marka KC200GT model panelin deneysel I-V değerleri kullanılarak tek diyot model parametre tahmini gerçekleştirilmiştir.

PSO ile hesaplanan bu model parametreleri STK'da geçerlidir. Değişen sıcaklık ve ışınım şartlarında panelin davranışını tahmin etmek için yeni bir model önerilmiştir. Literatürde yaygın olarak kullanılan modeller fotoakım ve diyot ters doyma akımının sıcaklık ve ışınım değişimindeki durumunu dikkate alırlar. Seri direnç, paralel direnç ve diyot kalite faktörünün değişmediği varsayılır.

Literatürde yapılan, model parametrelerinin sıcaklık ve ışınım gibi çevresel etkilerle değişimleri ile ilgili çalışmalar dikkate alındığında, sabit kabul edilen parametrelerin sıcaklık ile değiştiği görülmüştür. Bu noktadan hareketle seri direncin sıcaklığa olan duyarlılığı göz önünde bulundurularak, PV panelin sıcaklık ve ışınım değişimini tahmin etmek için yeni bir model önerilmiştir. Önerilen model sık kullanılan üç farklı model ile karşılaştırılmıştır. Önerilen modelin doğruluğu karesel ortalama hata hesaplanarak gösterilmiştir.



KAYNAKLAR

- [1] K. Ishaque, Z. Salam, H. Taheri, ve Syafaruddin, “Modeling and simulation of photovoltaic (PV) system during partial shading based on a two-diode model”, *Simulation Modelling Practice and Theory*, c. 19, sayı 7, ss. 1613–1626, 2011.
- [2] K. Ishaque, Z. Salam, ve H. Taheri, “Simple, fast and accurate two-diode model for photovoltaic modules”, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, c. 95, sayı 2, ss. 586–594, 2011.
- [3] REN21, *Ren21: Renewables 2018 global status report*. 2018.
- [4] I. E. AGENCY, “Technology roadmap: bioenergy for heat and power”, *Management of Environmental Quality: An International Journal*, c. 24, sayı 1, s. meq.2013.08324aaa.005, 2012.
- [5] Heinrich Habberlin, *Photovoltaics: System Design and Practice*. 2012.
- [6] H. L. Tsai, “Generalized model of photovoltaic module using matlab/Simulink”, *International Journal of Electrical Engineering*, c. 17, sayı 2, ss. 119–128, 2010.
- [7] E. Saloux, A. Teyssedou, ve M. Sorin, “Explicit model of photovoltaic panels to determine voltages and currents at the maximum power point”, *Solar Energy*, c. 85, sayı 5, ss. 713–722, 2011.
- [8] H. Patel ve V. Agarwal, “MATLAB-Based Modeling to Study the Effects of Partial Shading on PV Array Characteristics”, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, c. 23, sayı 1, ss. 302–310, 2008.
- [9] K. Ishaque, Z. Salam, ve Syafaruddin, “A comprehensive MATLAB Simulink PV system simulator with partial shading capability based on two-diode model”, *Solar Energy*, c. 85, sayı 9, ss. 2217–2227, 2011.
- [10] L. Castaner ve S. Silvestre, *Modelling Photovoltaic Systems using PSpice*. John Wiley & Sons Ltd, 2002.
- [11] W. Xiao, *Photovoltaic Power System Modeling, Design, and Control*, First Edit. JohnWiley & Sons Ltd, 2017.
- [12] J. A. Gow ve C. D. Manning, “Development of a photovoltaic array model for use in power-electronics simulation studies”, *IEE Proceedings - Electric Power Applications*, c. 146, sayı 2, s. 193, 1999.
- [13] E. I. Batzelis, I. A. Routsolias, ve S. A. Papathanassiou, “An explicit PV string model based on the lambert w function and simplified mpp expressions for operation under partial shading”, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, c. 5, sayı 1, ss. 301–312, 2014.
- [14] F. Adamo, F. Attivissimo, A. Di Nisio, ve M. Spadavecchia, “Characterization and

- testing of a tool for photovoltaic panel modeling”, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, c. 60, sayı 5, ss. 1613–1622, 2011.
- [15] S. Gupta, H. Tiwari, M. Fozdar, ve V. Chandna, “Development of a two diode model for photovoltaic modules suitable for use in simulation studies”, *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, APPEEC*, sayı 2, ss. 1–4, 2012.
- [16] S. Bal, S. Member, A. Anurag, S. Member, ve B. C. Babu, “Comparative Analysis of Mathematical Modeling of Photo-Voltaic (PV) Array”, c. 008.
- [17] M. Suthar, G. K. Singh, ve R. P. Saini, “Comparison of Mathematical Models of Photo-Voltaic (PV) Module and effect of various Parameters on its Performance”, ss. 1354–1359, 2013.
- [18] P. Suskis ve I. Galkin, “Enhanced Photovoltaic Panel Model for MATLAB-Simulink Environment Considering Solar Cell Junction Capacitance”, ss. 1613–1618, 2013.
- [19] F. Spertino, J. Sumaili, H. Andrei, ve S. Member, “PV Module Parameter Characterization From the Transient Charge of an External Capacitor”, c. 3, sayı 4, ss. 1325–1333, 2013.
- [20] M. Ahmad ve M. A. Tanni, “Estimation of Important Parameters of Photovoltaic Modules from Manufacturer’s Datasheet”, ss. 0–5, 2012.
- [21] M. Carmela, D. Piazza, S. Member, M. Luna, ve G. Vitale, “Dynamic PV Model Parameter Identification by Least-Squares Regression”, c. 3, sayı 2, ss. 799–806, 2013.
- [22] D. S. H. Chan ve J. C. H. Phang, “Analytical Methods for the Extraction of Solar-Cell Single- and Double-Diode Model Parameters from I-V Characteristics”, sayı 2, ss. 286–293, 1987.
- [23] S. Moballegh ve J. Jiang, “Modeling , Prediction , and Experimental Validations of Power Peaks of PV Arrays Under”, c. 5, sayı 1, ss. 293–300, 2014.
- [24] F.-M. Petcut ve T. Leonida-Dragomir, “Solar Cell Parameter Identification Using Genetic Algorithms”, c. 12, sayı 1, ss. 30–37, 2010.
- [25] H. Andrei, T. Ivanovici, G. Predusca, ve E. Diaconu, “Curve Fitting Method for Modeling and Analysis of Photovoltaic Cells Characteristics”.
- [26] A. Chatterjee, A. Keyhani, ve D. Kapoor, “Identification of Photovoltaic Source Models”, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, c. 26, sayı 3, ss. 883–889, 2011.
- [27] Y. A. Mahmoud, W. Xiao, ve H. H. Zeineldin, “A Parameterization Approach for Enhancing PV Model Accuracy”, c. 60, sayı 12, ss. 5708–5716, 2013.
- [28] S. A. Rahman, R. K. Varma, ve T. Vanderheide, “Generalised model of a photovoltaic panel”, sayı August 2013, 2014.
- [29] J. J. Soon ve K. Low, “Optimizing Photovoltaic Model Parameters for Simulation”, sayı

- 1, ss. 1813–1818, 2012.
- [30] H. Abu, B. Siddique, P. Xu, ve R. W. De Doncker, “Parameter Extraction Algorithm for One-Diode Model of PV Panels based on Datasheet Values”, ss. 7–13, 2013.
- [31] Y. Mahmoud, W. Xiao, ve H. H. Zeineldin, “A Simple Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Modules”, c. 3, sayı 1, ss. 2011–2012, 2012.
- [32] M. A. De Blas, J. L. Torres, ve E. Prieto, “Selecting a suitable model for characterizing photovoltaic devices”, c. 25, ss. 371–380, 2002.
- [33] D. Sera, R. Teodorescu, ve P. Rodriguez, “PV panel model based on datasheet values”, sayı 4, ss. 2392–2396, 2007.
- [34] J. J. Soon, K. Low, ve S. Member, “Photovoltaic Model Identification Using Particle Swarm Optimization With Inverse Barrier Constraint”, c. 27, sayı 9, ss. 3975–3983, 2012.
- [35] M. Gradella Villalva, J. Rafael Gazoli, ve E. Ruppert Filho, “Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, c. 24, sayı 5, ss. 1198–1208, 2009.
- [36] H. Park ve H. Kim, “PV cell modeling on single-diode equivalent circuit”, sayı 8, ss. 1845–1849, 2013.
- [37] M. A. Mughal, Q. Ma, ve C. Xiao, “Photovoltaic cell parameter estimation using hybrid particle swarm optimization and simulated annealing”, *Energies*, c. 10, sayı 8, ss. 1–14, 2017.
- [38] M. Ulaganathan ve D. Devaraj, “Real coded genetic algorithm for optimal parameter estimation of solar photovoltaic model”, *1st International Conference on Emerging Trends in Engineering, Technology and Science, ICETETS 2016 - Proceedings*, 2016.
- [39] K. Ishaque, Z. Salam, S. Mekhilef, ve A. Shamsudin, “Parameter extraction of solar photovoltaic modules using penalty-based differential evolution”, *Applied Energy*, c. 99, ss. 297–308, 2012.
- [40] M. Ye, X. Wang, ve Y. Xu, “Parameter extraction of solar cells using particle swarm optimization”, *Journal of Applied Physics*, c. 105, sayı 9, 2009.
- [41] K. M. El-Naggar, M. R. AlRashidi, M. F. AlHajri, ve A. K. Al-Othman, “Simulated Annealing algorithm for photovoltaic parameters identification”, *Solar Energy*, c. 86, sayı 1, ss. 266–274, 2012.
- [42] A. Askarzadeh ve A. Rezaazadeh, “Parameter identification for solar cell models using harmony search-based algorithms”, *Solar Energy*, c. 86, sayı 11, ss. 3241–3249, 2012.
- [43] R. Wang, Y. Zhan, ve H. Zhou, “Application of artificial bee colony in model parameter identification of solar cells”, *Energies*, c. 8, sayı 8, ss. 7563–7581, 2015.

- [44] J. Ma, T. O. Ting, K. L. Man, N. Zhang, S. U. Guan, ve P. W. H. Wong, "Parameter estimation of photovoltaic models via cuckoo search", *Journal of Applied Mathematics*, c. 2013, ss. 10–12, 2013.
- [45] M. F. AlHajri, K. M. El-Naggar, M. R. AlRashidi, ve A. K. Al-Othman, "Optimal extraction of solar cell parameters using pattern search", *Renewable Energy*, c. 44, ss. 238–245, 2012.
- [46] N. Sadati, M. Zamani, ve H. R. F. Mahdavian, "Hybrid Particle Swarm-Based-Simulated Annealing Optimization Techniques", *IECON 2006 - 32nd Annual Conference on IEEE Industrial Electronics*, c. 00, ss. 644–648, 2006.
- [47] S. Fang ve X. Zhang, "A Hybrid Algorithm of Particle Swarm Optimization and Tabu Search for Distribution Network Reconfiguration", *Mathematical Problems in Engineering*, c. 2016, ss. 16–20, 2016.
- [48] A. Harrag ve S. Messalti, "Three, Five and Seven PV Model Parameters Extraction using PSO", *Energy Procedia*, c. 119, ss. 767–774, 2017.
- [49] S. Kumar, A. Singh, ve A. Dhar, "Parameter extraction using global particle swarm optimization approach and the influence of polymer processing temperature on the solar cell parameters", *AIP Advances*, c. 7, sayı 8, 2017.
- [50] H. Qin ve J. W. Kimball, "Parameter determination of Photovoltaic Cells from field testing data using particle swarm optimization", *2011 IEEE Power and Energy Conference at Illinois, PECE 2011*, sayı 4, ss. 4–7, 2011.
- [51] L. Sandrolini, M. Artioli, ve U. Reggiani, "Numerical method for the extraction of photovoltaic module double-diode model parameters through cluster analysis", *Applied Energy*, c. 87, sayı 2, ss. 442–451, 2010.
- [52] K. Vandana, D. B. K., B. Dinesh, Vandana, ve S. P. K., "Estimation of Photovoltaic Cells Model Parameters using Particle Swarm Optimization", *Physics of Semiconductor Devices*, ss. 391–394, 2014.
- [53] C. Jiang, L. Xue, D. Song, ve J. Wang, "Solar Cells Performance Testing and Modeling Based on Particle Swarm Algorithm", *2012 International Conference on Computer Science and Information Processing (CSIP)*, c. 75, sayı 21, ss. 562–566, 2012.
- [54] J. Kennedy ve R. Eberhart, "Particle swarm optimization", *IEEE International Conference on Neural Networks*, ss. 1942–1948, 1995.
- [55] J. Ma, "Optimization Approaches for Parameter Estimation and Maximum Power Point Tracking (MPPT) of Photovoltaic Systems", University of Liverpool, 2014.
- [56] E. Cuce, P. M. Cuce, ve T. Bali, "An experimental analysis of illumination intensity and temperature dependency of photovoltaic cell parameters", *Applied Energy*, c. 111, ss. 374–382, 2013.

EKLER

EK 1: Kyocera KC200GT deneysel verileri [55].

| | Işınım (W/m ²) | Sıcaklık (°C) | Akım (A) | Gerilim (V) |
|----|-------------------------------|------------------|-------------|----------------|
| 1 | 200 | 25 | 1.5754 | 0.0409 |
| 2 | 200 | 25 | 1.5754 | 1.0472 |
| 3 | 200 | 25 | 1.5754 | 2.0534 |
| 4 | 200 | 25 | 1.5754 | 3.0707 |
| 5 | 200 | 25 | 1.5754 | 4.0769 |
| 6 | 200 | 25 | 1.5754 | 4.9957 |
| 7 | 200 | 25 | 1.5754 | 6.0129 |
| 8 | 200 | 25 | 1.5754 | 7.0192 |
| 9 | 200 | 25 | 1.5754 | 8.0255 |
| 10 | 200 | 25 | 1.5754 | 9.0427 |
| 11 | 200 | 25 | 1.5754 | 10.0490 |
| 12 | 200 | 25 | 1.5754 | 11.0662 |
| 13 | 200 | 25 | 1.5754 | 11.9740 |
| 14 | 200 | 25 | 1.5754 | 12.9912 |
| 15 | 200 | 25 | 1.5754 | 13.9975 |
| 16 | 200 | 25 | 1.5754 | 15.0147 |
| 17 | 200 | 25 | 1.5754 | 16.0210 |
| 18 | 200 | 25 | 1.5754 | 17.0272 |
| 19 | 200 | 25 | 1.5754 | 18.0445 |
| 20 | 200 | 25 | 1.5754 | 19.0507 |
| 21 | 200 | 25 | 1.5754 | 20.0679 |
| 22 | 200 | 25 | 1.5754 | 21.0742 |
| 23 | 200 | 25 | 1.5568 | 22.0805 |
| 24 | 200 | 25 | 1.5358 | 22.9993 |
| 25 | 200 | 25 | 1.4962 | 24.0165 |
| 26 | 200 | 25 | 1.4589 | 25.0227 |
| 27 | 200 | 25 | 1.3982 | 26.0290 |
| 28 | 200 | 25 | 1.2817 | 27.0462 |
| 29 | 200 | 25 | 1.0462 | 28.0525 |
| 30 | 200 | 25 | 0.7524 | 29.0697 |
| 31 | 200 | 25 | 0.3607 | 30.0760 |
| 32 | 400 | 25 | 3.2402 | 0.0409 |
| 33 | 400 | 25 | 3.2402 | 1.0472 |
| 34 | 400 | 25 | 3.2402 | 2.0534 |
| 35 | 400 | 25 | 3.2402 | 3.0707 |
| 36 | 400 | 25 | 3.2215 | 4.1754 |
| 37 | 400 | 25 | 3.2215 | 4.9957 |
| 38 | 400 | 25 | 3.2215 | 6.0129 |

| | | | | |
|----|-----|----|--------|---------|
| 39 | 400 | 25 | 3.2215 | 7.0192 |
| 40 | 400 | 25 | 3.2215 | 8.0255 |
| 41 | 400 | 25 | 3.2215 | 9.0427 |
| 42 | 400 | 25 | 3.2215 | 10.0490 |
| 43 | 400 | 25 | 3.2215 | 11.0662 |
| 44 | 400 | 25 | 3.2005 | 12.0724 |
| 45 | 400 | 25 | 3.2005 | 13.0787 |
| 46 | 400 | 25 | 3.2005 | 13.9100 |
| 47 | 400 | 25 | 3.2005 | 15.0147 |
| 48 | 400 | 25 | 3.1819 | 16.0210 |
| 49 | 400 | 25 | 3.1819 | 17.0272 |
| 50 | 400 | 25 | 3.1819 | 18.0445 |
| 51 | 400 | 25 | 3.1819 | 19.0507 |
| 52 | 400 | 25 | 3.1619 | 20.0679 |
| 53 | 400 | 25 | 3.1609 | 20.9867 |
| 54 | 400 | 25 | 3.1609 | 21.9930 |
| 55 | 400 | 25 | 3.1422 | 22.9993 |
| 56 | 400 | 25 | 3.1422 | 24.0165 |
| 57 | 400 | 25 | 3.0839 | 25.0227 |
| 58 | 400 | 25 | 2.9860 | 26.0290 |
| 59 | 400 | 25 | 2.8298 | 26.9478 |
| 60 | 400 | 25 | 2.4964 | 28.0525 |
| 61 | 400 | 25 | 2.1047 | 29.0697 |
| 62 | 400 | 25 | 1.4775 | 30.0760 |
| 63 | 400 | 25 | 0.5962 | 31.0823 |
| 64 | 600 | 25 | 4.8653 | 0.0409 |
| 65 | 600 | 25 | 4.8653 | 1.0472 |
| 66 | 600 | 25 | 4.8653 | 2.0534 |
| 67 | 600 | 25 | 4.8653 | 3.0707 |
| 68 | 600 | 25 | 4.8653 | 4.0769 |
| 69 | 600 | 25 | 4.8653 | 5.0941 |
| 70 | 600 | 25 | 4.8653 | 6.0129 |
| 71 | 600 | 25 | 4.8453 | 7.0192 |
| 72 | 600 | 25 | 4.8466 | 8.0255 |
| 73 | 600 | 25 | 4.8466 | 9.0427 |
| 74 | 600 | 25 | 4.8466 | 10.0490 |
| 75 | 600 | 25 | 4.8280 | 11.0662 |
| 76 | 600 | 25 | 4.8280 | 12.0724 |
| 77 | 600 | 25 | 4.8070 | 13.0787 |
| 78 | 600 | 25 | 4.8070 | 14.0959 |
| 79 | 600 | 25 | 4.8070 | 14.9163 |
| 80 | 600 | 25 | 4.8070 | 16.0210 |
| 81 | 600 | 25 | 4.807 | 17.0272 |
| 82 | 600 | 25 | 4.7883 | 18.0445 |
| 83 | 600 | 25 | 4.7883 | 19.0507 |

| | | | | |
|-----|-----|----|--------|---------|
| 84 | 600 | 25 | 4.7883 | 20.0679 |
| 85 | 600 | 25 | 4.7487 | 21.0742 |
| 86 | 600 | 25 | 4.7487 | 22.0805 |
| 87 | 600 | 25 | 4.7487 | 23.0977 |
| 88 | 600 | 25 | 4.73 | 24.0165 |
| 89 | 600 | 25 | 4.6694 | 25.0227 |
| 90 | 600 | 25 | 4.5715 | 26.029 |
| 91 | 600 | 25 | 4.4153 | 27.0462 |
| 92 | 600 | 25 | 4.0819 | 28.0525 |
| 93 | 600 | 25 | 3.4756 | 29.0697 |
| 94 | 600 | 25 | 2.7692 | 30.076 |
| 95 | 600 | 25 | 1.9275 | 30.9948 |
| 96 | 600 | 25 | 0.5962 | 32.001 |
| 97 | 800 | 25 | 6.53 | 0.0409 |
| 98 | 800 | 25 | 6.53 | 1.0472 |
| 99 | 800 | 25 | 6.53 | 2.0534 |
| 100 | 800 | 25 | 6.4927 | 3.0707 |
| 101 | 800 | 25 | 6.4927 | 4.0769 |
| 102 | 800 | 25 | 6.4927 | 4.9082 |
| 103 | 800 | 25 | 6.4927 | 6.0129 |
| 104 | 800 | 25 | 6.4927 | 7.0192 |
| 105 | 800 | 25 | 6.453 | 8.0255 |
| 106 | 800 | 25 | 6.453 | 9.0427 |
| 107 | 800 | 25 | 6.453 | 10.049 |
| 108 | 800 | 25 | 6.453 | 11.0662 |
| 109 | 800 | 25 | 6.453 | 12.0724 |
| 110 | 800 | 25 | 6.4134 | 13.0787 |
| 111 | 800 | 25 | 6.4134 | 14.0959 |
| 112 | 800 | 25 | 6.4134 | 14.9163 |
| 113 | 800 | 25 | 6.4134 | 16.021 |
| 114 | 800 | 25 | 6.4134 | 17.0272 |
| 115 | 800 | 25 | 6.3948 | 18.0445 |
| 116 | 800 | 25 | 6.3948 | 19.0507 |
| 117 | 800 | 25 | 6.3948 | 20.0679 |
| 118 | 800 | 25 | 6.3551 | 21.0742 |
| 119 | 800 | 25 | 6.3551 | 22.0805 |
| 120 | 800 | 25 | 6.3551 | 22.9118 |
| 121 | 800 | 25 | 6.3155 | 24.0165 |
| 122 | 800 | 25 | 6.2759 | 25.0227 |
| 123 | 800 | 25 | 6.2176 | 26.029 |
| 124 | 800 | 25 | 6.0031 | 27.0462 |
| 125 | 800 | 25 | 5.5717 | 28.0525 |
| 126 | 800 | 25 | 4.9049 | 29.0697 |
| 127 | 800 | 25 | 4.0049 | 30.076 |
| 128 | 800 | 25 | 2.7319 | 31.0823 |

| | | | | |
|-----|------|----|--------|---------|
| 129 | 800 | 25 | 1.0671 | 32.0995 |
| 130 | 1000 | 25 | 8.1761 | 0.0409 |
| 131 | 1000 | 25 | 8.1761 | 1.0472 |
| 132 | 1000 | 25 | 8.1761 | 2.0534 |
| 133 | 1000 | 25 | 8.1364 | 3.0707 |
| 134 | 1000 | 25 | 8.1364 | 4.0769 |
| 135 | 1000 | 25 | 8.1364 | 4.9082 |
| 136 | 1000 | 25 | 8.1178 | 6.0129 |
| 137 | 1000 | 25 | 8.1178 | 7.0192 |
| 138 | 1000 | 25 | 8.1178 | 8.0255 |
| 139 | 1000 | 25 | 8.0781 | 9.0427 |
| 140 | 1000 | 25 | 8.0781 | 10.049 |
| 141 | 1000 | 25 | 8.0781 | 11.0662 |
| 142 | 1000 | 25 | 8.0781 | 11.974 |
| 143 | 1000 | 25 | 8.0595 | 12.9912 |
| 144 | 1000 | 25 | 8.0595 | 13.9975 |
| 145 | 1000 | 25 | 8.0385 | 15.0147 |
| 146 | 1000 | 25 | 8.0385 | 16.021 |
| 147 | 1000 | 25 | 8.0199 | 17.0272 |
| 148 | 1000 | 25 | 8.0199 | 18.0445 |
| 149 | 1000 | 25 | 8.0012 | 19.0507 |
| 150 | 1000 | 25 | 7.9802 | 20.0679 |
| 151 | 1000 | 25 | 7.9802 | 21.0742 |
| 152 | 1000 | 25 | 7.9616 | 22.0805 |
| 153 | 1000 | 25 | 7.9219 | 22.9993 |
| 154 | 1000 | 25 | 7.9219 | 24.0165 |
| 155 | 1000 | 25 | 7.8823 | 25.0227 |
| 156 | 1000 | 25 | 7.7844 | 26.029 |
| 157 | 1000 | 25 | 7.5699 | 27.0462 |
| 158 | 1000 | 25 | 7.1385 | 28.0525 |
| 159 | 1000 | 25 | 6.4717 | 29.0697 |
| 160 | 1000 | 25 | 5.4155 | 30.076 |
| 161 | 1000 | 25 | 3.8091 | 31.1807 |
| 162 | 1000 | 25 | 2.1443 | 32.0995 |
| 163 | 1000 | 25 | 0.44 | 32.9198 |
| 164 | 1000 | 50 | 8.26 | 0.0761 |
| 165 | 1000 | 50 | 8.241 | 1.0405 |
| 166 | 1000 | 50 | 8.241 | 2.0145 |
| 167 | 1000 | 50 | 8.24 | 3.0656 |
| 168 | 1000 | 50 | 8.2214 | 3.9625 |
| 169 | 1000 | 50 | 8.2214 | 3.9625 |
| 170 | 1000 | 50 | 8.2214 | 4.9268 |
| 171 | 1000 | 50 | 8.2214 | 6.0648 |
| 172 | 1000 | 50 | 8.2014 | 7.0388 |
| 173 | 1000 | 50 | 8.2014 | 8.0031 |

| | | | | |
|-----|------|----|--------|---------|
| 174 | 1000 | 50 | 8.1818 | 8.9771 |
| 175 | 1000 | 50 | 8.1618 | 9.9511 |
| 176 | 1000 | 50 | 8.1618 | 10.9251 |
| 177 | 1000 | 50 | 8.1418 | 12.0534 |
| 178 | 1000 | 50 | 8.1422 | 13.0274 |
| 179 | 1000 | 50 | 8.1222 | 14.0014 |
| 180 | 1000 | 50 | 8.1235 | 14.9754 |
| 181 | 1000 | 50 | 8.1049 | 15.9398 |
| 182 | 1000 | 50 | 8.1049 | 16.9138 |
| 183 | 1000 | 50 | 8.0839 | 18.0517 |
| 184 | 1000 | 50 | 8.0653 | 19.0161 |
| 185 | 1000 | 50 | 8.0257 | 19.9901 |
| 186 | 1000 | 50 | 7.9861 | 20.9641 |
| 187 | 1000 | 50 | 7.9465 | 21.9381 |
| 188 | 1000 | 50 | 7.83 | 22.9025 |
| 189 | 1000 | 50 | 7.4969 | 24.0404 |
| 190 | 1000 | 50 | 6.9891 | 25.0144 |
| 191 | 1000 | 50 | 6.2065 | 25.9788 |
| 192 | 1000 | 50 | 5.2072 | 26.9528 |
| 193 | 1000 | 50 | 3.8958 | 27.9268 |
| 194 | 1000 | 50 | 1.9601 | 29.0551 |
| 195 | 1000 | 50 | 0.0221 | 29.788 |
| 196 | 1000 | 75 | 8.3378 | 0.0761 |
| 197 | 1000 | 75 | 8.3192 | 0.9633 |
| 198 | 1000 | 75 | 8.3192 | 1.9373 |
| 199 | 1000 | 75 | 8.3006 | 2.9885 |
| 200 | 1000 | 75 | 8.3006 | 3.9625 |
| 201 | 1000 | 75 | 8.2796 | 5.0136 |
| 202 | 1000 | 75 | 8.2796 | 5.9876 |
| 203 | 1000 | 75 | 8.24 | 6.952 |
| 204 | 1000 | 75 | 8.24 | 7.926 |
| 205 | 1000 | 75 | 8.24 | 8.9771 |
| 206 | 1000 | 75 | 8.24 | 9.9511 |
| 207 | 1000 | 75 | 8.2027 | 10.9251 |
| 208 | 1000 | 75 | 8.2027 | 11.9763 |
| 209 | 1000 | 75 | 8.2027 | 12.9503 |
| 210 | 1000 | 75 | 8.1818 | 14.0786 |
| 211 | 1000 | 75 | 8.1235 | 14.9754 |
| 212 | 1000 | 75 | 8.1235 | 15.9398 |
| 213 | 1000 | 75 | 8.1049 | 16.9909 |
| 214 | 1000 | 75 | 8.0443 | 17.965 |
| 215 | 1000 | 75 | 7.9465 | 18.939 |
| 216 | 1000 | 75 | 7.7718 | 19.9901 |
| 217 | 1000 | 75 | 7.3199 | 20.9641 |
| 218 | 1000 | 75 | 6.7539 | 21.9381 |

| | | | | |
|-----|------|----|--------|---------|
| 219 | 1000 | 75 | 5.7942 | 23.0664 |
| 220 | 1000 | 75 | 4.6994 | 24.0404 |
| 221 | 1000 | 75 | 3.3088 | 25.0144 |
| 222 | 1000 | 75 | 1.6061 | 25.9788 |
| 223 | 1000 | 75 | 0.0012 | 26.8756 |

EK 2: PSO için matlab kodu.

```

function z = obj(x)
load ('IV_1000_25.mat')
Iphn = x(1);
Isn = x(2);
A = x(3);
Rs = x(4);
Rsh = x(5);
kb = 1.38064852e-23;
q = 1.60217662e-19;
Tn = 25 + 273.15;
Vtn = kb*Tn/q;
Ns = 54;
nv = 33;
Vc = Vm;
Ic = zeros(1,size(Vc,2));
for j = 1 : size(Vc,2)
    g(j) = Iphn - Isn*(exp((Vc(j)+Ic(j)*Rs)/A/Vtn*Ns)-1) - (Vc(j)+Ic(j)*Rs)/Rsh -
    Ic(j);
    while (abs(g(j)) > 0.0001)
        g(j) = Iphn - Isn*(exp((Vc(j)+Ic(j)*Rs)/A/Vtn*Ns)-1) - (Vc(j)+Ic(j)*Rs)/Rsh -
        Ic(j);
        dg(j) = -(Isn*Rs/A/Vtn*Ns)*exp((Vc(j)+Ic(j)*Rs)/A/Vtn*Ns) - (Rs/Rsh) - 1;
        I_(j) = Ic(j) - g(j)/d(j);
        Ic(j) = I_(j);
    end
end
z = sqrt(mean((Im - Ic).^2)/(nv+1));
end
function out = PSO(prob, par)
CostFun = problem.CostFun;
nVar = problem.nVar;
VarSize = [1 nVar];
VarMin = prob.VarMin;
VarMax = prob.VarMax;
MaxIt = par.MaxIter;
nPop = par.nPop;
w = par.w;
wdamp = par.wdamp;
c1 = par.c1;
c2 = par.c2;
MaxVel = 0.9*(VarMax-VarMin);
MinVel = -MaxVel;
e_particle.Position = [];
e_particle.Velocity = [];
e_particle.Cost = [];
e_particle.Best.Position = [];
e_particle.Best.Cost = [];

```

```

particle = repmat(e_particle, nPop, 1);
G_Best.Cost = inf;
for i=1:nPop
particle(i).Position = unifrnd(VarMin, VarMax, VarSize);
particle(i).Velocity = zeros(VarSize);
particle(i).Cost = CostFunction(particle(i).Position);
particle(i).Best.Position = particle(i).Position;
particle(i).Best.Cost = particle(i).Cost;
if particle(i).Best.Cost < G_Best.Cost
G_Best = particle(i).Best;
end
end
BestCosts = zeros(MaxIter, 1);
for it=1:MaxIt
for i=1:nPop
particle(i).Vel = w*particle(i).Vel ...
+ c1*rand(VarSize).*(particle(i).Best.Position - particle(i).Position) ...
+ c2*rand(VarSize).*(GlobalBest.Position - particle(i).Position);
particle(i).Position = particle(i).Position + particle(i).Vel;
particle(i).Cost = CostFun(particle(i).Position);
particle(i).Best.Position = particle(i).Position;
particle(i).Best.Cost = particle(i).Cost;
G_Best = particle(i).Best;
end
end
end
BestCosts(it) = G_Best.Cost;
w = w * wdamp;
end
out.pop = particle;
out.BestSol = G_Best;
out.BestCosts = BestCosts;
end
clc; clear; close all;
rng default
prob.CostFun = @(x) obj(x);
prob.nVar = 5;
prob.VarMin = [0 0 1 0 0];
prob.VarMax = [10 10e-7 2 1 1200];
par.MaxIter = 100;
par.nPop = 20;
par.w = 1;
par.wdamp = 0.95;
par.c1 = 2;
par.c2 = 2;
out = PSO(prob, par);
BestSol = out.BestSol;
BestCosts = out.BestCosts;

```

EK 3: Model 1 için matlab kodu.

```

clear all; close all; clc;
Iscn = 8.21;
Vocn = 32.9;
Vmpp = 26.3;
Impp = 7.61;

```

```

Pmax_e = Vmpp*Impp;
Ns = 54;
Ki = 3.18e-3;
Kv = -1.23e-1;
A = 1.3088;
Rs = 0.2067;
Rsh = 539.0895;
Ion = 1.0264e-7;
Iphn = 8.1189;
kb = 1.38064852e-23;
q = 1.60217662e-19;
Tn = 25 + 273.15;
Gn = 1000;
T = 25 + 273.15;
G = 800;
Vtn = (A*kb*Tn)/q;
Vt = (A*kb*T)/q;
dT = T - Tn;
Voc_T = Vocn + Kv*dT;
Isc_T = Iscn*(1 + Ki*dT/100);
Io_T = (Isc_T - (Voc_T - Isc_T*Rs)/(Rsh))*exp(-Voc_T/Ns/Vt);
Iph_T = Io_T*exp((Voc_T)/(Ns*Vt)) + (Voc_T/Rsh);
Isc_GT = Isc_T*G/Gn;
Iph_ = Iph_T*G/Gn;
Voc_GT = 0;
for i = 1:10

    g(i) = log((Iph*Rsh-Voc_GT)/(Io_T*Rsh))*Ns*Vt - Voc_GT;
    dg(i) = (-Ns*Vt)/(Iph*Rsh-Voc_T) - 1;
    Voc_ = Voc_GT - g(i)/dg(i);
    Voc_GT = Voc_;
    if (abs(g(i))<0.001)
        break;
    end
end
Io_GT = (Isc_GT - ((Voc_GT - Isc_GT*Rs)/(Rsh)))*exp((-Voc_GT)/(Ns*Vt));
Iph_GT = Io_GT*exp((Voc_GT)/(Ns*Vt)) + (Voc_GT)/(Rsh);

```

EK 4: Model 2 için matlab kodu.

```

clear all; close all; clc;
Iscn = 8.21;
Vocn = 32.9;
Vmpp = 26.3;
Impp = 7.61;
Pmax_e = Vmpp*Impp;
Ns = 54;
Ki = 3.18e-3;
Kv = -1.23e-1;
A = 1.3088;
Rs = 0.2067;
Rsh = 539.0895;
Ion = 1.0264e-7;
Iphn = 8.1189;
kb = 1.38064852e-23;
q = 1.60217662e-19;

```

```

Tn = 25 + 273.15;
Gn = 1000;
T = 25 + 273.15;
G = 800;
Vtn = (kb*Tn)/q;
Vt = (kb*T)/q;
dT = T - Tn;
Voc_T = Vocn + Kv*dT;
Isc_T = Iscn*(1 + Ki*dT/100);
Io_GT = (Iscn)/(exp((Vocn)/(Vt)) -1);
Iph_GT = (Iphn + Ki*dT)*G/Gn;

```

EK 5: Model 3 için matlab kodu.

```

clear all; close all; clc;
Iscn = 8.21;
Vocn = 32.9;
Vmpp = 26.3;
Impp = 7.61;
Pmax_e = Vmpp*Impp;
Ns = 54;
Ki = 3.18e-3;
Kv = -1.23e-1;
A = 1.3088;
Rs = 0.2067;
Rsh = 539.0895;
Ion = 1.0264e-7;
Iphn = 8.1189;
kb = 1.38064852e-2;
q = 1.60217662e-19;
Tn = 25 + 273.15;
Gn = 1000;
T = 25 + 273.15;
G = 800;
Vtn = (kb*Tn)/q;
Vt = (kb*T)/q;
dT = T - Tn;
Voc_T = Vocn + Kv*dT;
Isc_T = Iscn*(1 + Ki*dT/100);
Iph_GT = (Iphn + Ki*dT/100)*(G/Gn);
Io_GT =
((G/Gn)*(Iscn)*(exp((abs(Kv)*dT*q)/(k*T*A))))/((((G*Isc_T/Gn)/(Ion))+1))^(
(Tn/T)) - (exp((abs(Kv)*dT*q)/(k*T*A))));

```

EK 6: Önerilen model için matlab kodu.

```

clear all; close all; clc;
Iscn = 8.21;
Vocn = 32.9;
Vmpp = 26.3;
Impp = 7.61;
Pmax_e = Vmpp*Impp;
Ns = 54;
Ki = 3.18e-3;

```

```

Kv = -1.23e-1;
A = 1;
Rs = 0.234;
Rsh = 120.6;
Ion = 3.4237e-10;
Iphn = 8.21;
kb = 1.38064852e-23;
q = 1.60217662e-19;
Tn = 25 + 273.15;
Gn = 1000;
T = 50 + 273.15;
G = 1000;
Vtn = (A*kb*Tn)/q;
Vt = (A*kb*T)/q;
dT = T - Tn;
Voc_T = Vocn + Kv*dT;
Isc_T = Iscn*(1 + Ki*dT/100);
Iph_GT = (Isc_T + Ki*dT)*(G/Gn);
Io_GT = ((Iph_GT) - (Voc_T/Rsh)) / ((exp(Voc_T/(Vt*Ns))) - 1);
D = (exp((Vmpp+Imp*Rs)/(Ns*Vt)) - 1) / (exp(Voc_T/(Vt*Ns)) - 1);
Rsh = ((Voc_T*D) - (Vmpp+Imp*Rs)) / (Imp+Iph_GT*(D-1));
kr = 07;
Rs = Rs*(1 + kr*dT);

```

ÖZGEÇMİŞ

| Kişisel Bilgiler | |
|------------------|--|
| Adı Soyadı | Mete NACAR |
| Doğum Yeri | Malatya |
| Doğum Tarihi | 01.11.1986 |
| Uyruğu | <input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer: |
| Telefon | 0506 068 79 78 |
| E-Posta Adresi | metenacar@gmail.com |
| Web Adresi | |



| Eğitim Bilgileri | |
|------------------|----------------------------------|
| Lisans | |
| Üniversite | İstanbul Üniversitesi |
| Fakülte | Mühendislik Fakültesi |
| Bölümü | Elektrik-Elektronik Mühendisliği |
| Mezuniyet Yılı | 2009 |

| Yüksek Lisans | |
|---------------|--|
| Üniversite | İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa |
| Enstitü Adı | Lisansüstü Eğitim Enstitüsü |
| Anabilim Dalı | Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı |
| Programı | Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı |