



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TİPİK BİR FOTOVOLTAİK PANELİN MAKSİMUM GÜÇ
AKTARIMINI ETKİLEYEN TEMEL ELEKTRİK DEVRE
PARAMETRELERİNİN HİBRİT GENETİK ALGORİTMALAR İLE
TAHMİN EDİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERDEM ELİBOL

TEMMUZ 2014


DÜZCE

KABUL VE ONAY BELGESİ

Erdem ELİBOL tarafından hazırlanan Tipik Bir Fotovoltaik Panelin Maksimum Güç Aktarımını Etkileyen Temel Elektrik Devre Parametrelerinin Genetik Algoritmalar İle Tahmin Edilmesi isimli lisansüstü tez çalışması, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 30.06.2014 tarih ve 2014/583 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.



Üye
(Tez Danışmanı)
Doç. Dr. Nedim TUTKUN
Düzce Üniversitesi



Üye
Yrd. Doç. Dr. Selman KULAÇ
Düzce Üniversitesi



Üye
Doç. Dr. Numan ÇELEBİ
Sakarya Üniversitesi

Tezin Savunulduğu Tarih :10.07.2014

ONAY

Bu tez ile Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Erdem ELİBOL'un Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans derecesini almasını onamıştır.

Prof. Dr. Haldun MÜDERRİSOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

10 Temmuz 2014

Erdem ELİBOL

Sevgili Babama

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve bu tezin hazırlanmasında süresince gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Nedim TUTKUN'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

10 Temmuz 2014

Erdem ELİBOL

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ÖZET	1
ABSTRACT	2
EXTENDED ABSTRACT	3
1. GİRİŞ	5
1.1. AMAÇ VE KAPSAM	8
1.2. LİTERATÜR	9
2. MATERYAL METOT	13
2.1 FOTOVOLTAİK SİSTEMLER	13
2.1.1. Fotovoltaik Enerji.....	14
2.1.2 Fotovoltaik Hücre Eşdeğer Devresi	16
2.1.2.1 İdeal FV Hücre Modeli	16
2.1.2.2 Tek Diyot Devre Modeli.....	18
2.2 FV MODÜLÜN MATLAB/SİMULİNK ORTAMINDA BENZETİMİ	22
2.2.2 I-V ve P-V Eğrilerinin Parametrelere Göre Değişimi.....	29
2.2.2.1 Farklı Güneş Işınım Şiddetine Göre I-V ve P-V Eğrileri.....	29
2.2.2.2 Farklı Ortam Sıcaklıklarına Göre I-V ve P-V Eğrileri.....	30
2.2.2.3 Farklı Seri Bağlı Direnç Değerlerine Göre I-V ve P-V Eğrileri	31
2.2.2.4 Farklı Paralel Bağlı Direnç Değerlerine Göre I-V ve P-V Eğrileri.....	32
2.2.2.5 Farklı Diyot İdealite Faktörü Değerlerine Göre I-V ve P-V Eğrileri	33
2.3 SAYISAL YÖNTEMLERLE PV MODELİN PAREMETRELERİNİN BULUNMASI	34
2.3.1 Giriş	34
2.3.2 Model Parametrelerinin Bulunması	35
2.3.3 Newton-Raphson Yöntemi.....	41
2.4 LAMBERT W FONKSİYONU VE FV DENKLEMLERİN DÜZENLENMESİ	43
2.5. GENETİK ALGORİTMALAR	44
2.5.1. Giriş	44
2.5.2. Genetik Algoritmanın Çalışma Şekli.....	44
2.5.2.1 Şema Teoremi ve Çalışması.....	47

2.5.2.2. Amaç Fonksiyonu ve Parametreler.....	49
2.5.2.3 Genetik Algoritmalarda Değişkenler.....	52
2.5.2.4. Popülasyon Oluşturulması ve Genetik İşlemler.....	54
2.5.2.5. Genetik Algoritmalarda Çaprazlama	57
2.4.3.6. Genetik Algoritmalarda Mutasyonu	61
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	63
3.1. GA'LARIN FOTOVOLTAİK SİSTEME UYGULANMASI.....	63
3.2. BP 3235T 235W MODELİN BİLİNMEYEN PARAMETRELERİNİN BULUNMASI	65
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	78
5. KAYNAKLAR.....	79
6. EKLER.....	84
EK-1 NEWTON-RAPHSON KODLARI	84
ÖZGEÇMİŞ	86

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Enerji kaynak çeşitleri.	5
Şekil 1.2. Türkiye’de enerji üretiminin kaynak bazlı dağılımı.	6
Şekil 1.3. Türkiye’de enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı.	6
Şekil 1.4. Dünyadaki toplam CO ₂ salınım miktarı.	7
Şekil 1.5. Enerji üretim-tüketim değerleri.	7
Şekil 2.1. FV hücrelerin seri bağlanmasıyla FV panelin elde edilmesi.	13
Şekil 2.2. Güneş spektrumu.	14
Şekil 2.3. Elektromanyetik alan ile elektron ve boşluk hareketi.	15
Şekil 2.4. pn eklemli FV hücrenin çalışma şeması.	16
Şekil 2.5. İdeal FV hücre eşdeğer devresi.	17
Şekil 2.6. Açık gerilimde ve kısa devrede FV model.	18
Şekil 2.7. Tek diyot devre modeli.	19
Şekil 2.8. FV hücrelerin seri ve paralel bağlanması.	20
Şekil 2.9. Sabit değer ve giriş değerlerinin modellenmesi.	23
Şekil 2.10. V_t ve I_p ’nin modellenmesi.	23
Şekil 2.11. I_{or} ’in modellenmesi.	24
Şekil 2.12. I_0 doyma akımının modellenmesi.	24
Şekil 2.13. Diyot akımının modellenmesi.	25
Şekil 2.14. Fotoakımın modellenmesi.	25
Şekil 2.15. Çıkış akımı ve gerilimin modellenmesi.	26
Şekil 2.16. Tek diyot devre modelinin simulink ile modellenmesi.	27
Şekil 2.17. $G= 1000 \text{ W/m}^2$ ve $T=25+273 \text{ K}$ değerleri için I-V eğrisi.	28
Şekil 2.18. $G= 1000\text{W/m}^2$ ve $T= 25+273 \text{ K}$ değerleri için P-V eğrisi.	28
Şekil 2.19. I-V eğrisinin ışınlanma şiddetine bağlı grafiği.	29
Şekil 2.20. P-V eğrisinin ışınlanma şiddetine bağlı grafiği.	29
Şekil 2.21. Sıcaklığa bağlı I-V eğrisi.	30
Şekil 2.22. Sıcaklığa bağlı P-V eğrisi.	30
Şekil 2.23. I-V eğrisinin R_s değerine bağlı grafiği.	31
Şekil 2.24. P-V eğrisinin R_s değerine bağlı grafiği.	32

Şekil 2.25. I-V eğrisinin R_p değerine bağlı grafiği.	32
Şekil 2.26. P-V eğrisinin R_p değerine bağlı grafiği.	33
Şekil 2.27. I-V eğrisinin Diyot İdealite faktörüne bağlı grafiği.	33
Şekil 2.28. P-V eğrisinin diyot idealite faktörüne bağlı grafiği.	34
Şekil 2.29. P-V Eğrisinde MPP noktasının eğim noktası.	37
Şekil 2.30. Basit bir genetik algoritma akış diyagramı.	45
Şekil 2.31. İki değişkenli string yapısı.	48
Şekil 2.32. Bir jenerasyon sonrası elde edilen yeni popülasyon.	49
Şekil 2.33. Tek noktalı çaprazlama.	58
Şekil 2.34. Çift noktalı çaprazlama.	59
Şekil 2.35. Çok parçalı çaprazlama.	59
Şekil 2.36. Düzgün çaprazlamada kullanılan maske ve oluşturulan yeni bireyler.	60
Şekil 2.37. Gerçel sayı çaprazlanması formülasyonu.	61
Şekil 2.38. Gerçel sayı çaprazlanması.	61
Şekil 3.1. FV parametrelerin bulunması için yazılan GA algoritması.	64
Şekil 3.2. I-V eğrisinin $G= 1000 \text{ W/m}^2$ de sıcaklığa bağlı değişimi.	66
Şekil 3.3. P-V eğrisinin $G= 1000 \text{ W/m}^2$ de sıcaklığa bağlı değişimi.	67
Şekil 3.4. I-V eğrisinin $G= 800 \text{ W/m}^2$ de sıcaklığa bağlı değişimi.	67
Şekil 3.5. P-V eğrisinin $G= 800 \text{ W/m}^2$ de sıcaklığa bağlı değişimi.	68
Şekil 3.6. I-V eğrisinin $G= 600 \text{ W/m}^2$ de sıcaklığa bağlı değişimi.	68
Şekil 3.7. I-V eğrisinin $G= 600 \text{ W/m}^2$ de sıcaklığa bağlı değişimi.	69
Şekil 3.8. I-V eğrisinin $G= 400 \text{ W/m}^2$ de sıcaklığa bağlı değişimi.	69
Şekil 3.9. P-V eğrisini $G= 400 \text{ W/m}^2$ de sıcaklığa bağlı değişimi.	70
Şekil 3.10. I-V eğrilerinin $T=0^\circ\text{C}$ de ışınım miktarına bağlı değişimi.	71
Şekil 3.11. P-V eğrilerinin $T=0^\circ\text{C}$ de ışınım miktarına bağlı değişimi.	71
Şekil 3.12. I-V eğrisinin $T=25^\circ\text{C}$ de ışınım miktarına bağlı değişimi.	72
Şekil 3.13. P-V eğrisinin $T=25^\circ\text{C}$ de ışınım miktarına bağlı değişimi.	72
Şekil 3.14. I-V eğrisinin $T=40^\circ\text{C}$ de ışınım miktarına bağlı değişimi.	73
Şekil 3.15. P-V eğrisinin $T=40^\circ\text{C}$ de ışınım miktarına bağlı değişimi.	73
Şekil 3.16. I-V eğrisinin $T=60^\circ\text{C}$ de ışınım miktarına bağlı değişimi.	74
Şekil 3.17. P-V eğrisinin $T=60^\circ\text{C}$ de ışınım miktarına bağlı değişimi.	74
Şekil 3.18. R_p 'nin ışınım miktarına bağlı değişimi.	75
Şekil 3.19. R_s 'in ışınım miktarına bağlı değişimi.	75

Şekil 3.20. n 'in ışıınım miktarına bağlı değişimi.	76
Şekil 3.21. R_p 'nin sıcaklık miktarıyla değişimi.	76
Şekil 3.22. R_s 'in sıcaklık miktarına bağlı değişimi.	77
Şekil 3.23. n 'in sıcaklık miktarına bağlı değişimi.	77

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1. FV parametre değerleri.	22
Çizelge 2.2. Değişkenler değişimleri.	38
Çizelge 2.3. Katalog bilgileri ve bulunan parametreler	42
Çizelge 2.4. On ve iki tabanlı sayılar arası dönüştürücü.	54
Çizelge 3.1. BP 3235T 235 W modelin katalog verileri.	65
Çizelge 3.2. STK altında değerler.	65
Çizelge 3.3. GA ile $G= 1000\text{W}/\text{m}^2$ için farklı sıcaklıkta bulunan parametre değerleri.	66
Çizelge 3.4. GA ile $G= 800\text{W}/\text{m}^2$ için farklı sıcaklıkta bulunan parametre değerleri.	67
Çizelge 3.5. GA ile $G= 600\text{W}/\text{m}^2$ için farklı sıcaklıkta bulunan parametre değerleri.	68
Çizelge 3.6. GA ile $G= 1000\text{W}/\text{m}^2$ için farklı sıcaklıkta bulunan parametre değerleri.	69
Çizelge 3.7. GA ile $T=0^\circ\text{C}$ 'de farklı ışıınımlar için bulunan parametre değerleri.	70
Çizelge 3.8. GA ile $T=25^\circ\text{C}$ 'de farklı ışıınımlar için bulunan parametre değerleri.	71
Çizelge 3.9. GA ile $T=40^\circ\text{C}$ 'de farklı ışıınımlar için bulunan parametre değerleri.	72
Çizelge 3.10. GA ile $T=60^\circ\text{C}$ 'de farklı ışıınımlar için bulunan parametre değerleri.	73

SİMGELER VE KISALTMALAR

FV	Fotovoltaik
GA	Genetik Algoritma
I_d	Diyot akımı
q	Elektron yükü
k_B	Boltzman sabiti
I_{0r}	Referans değerindeki akımı
T	Ortamın sıcaklığı °Kelvin cinsinden
T_r	Standart test koşullarında (STK) 25°C veya 298°K
E_q	FV yarıiletken diyotun bant genişliği
G	Güneş ışınım miktarı
G_r	STK altında güneş ışınım miktarı
k_i	Kısa devre akımının sıcaklık katsayısı
I_{sc}	Kısa devre akımı
V_{oc}	Açık devre gerilimi
V_{mpp}	MPP noktasındaki gerilim
I_{mpp}	MPP noktasındaki akım
n_s	Modül içindeki seri bağlı hücre sayısı
I_{ph}	Fotoakım
I_0	Diyot doyma akımı
V_t	Termal gerilim
R_s	Seri direnç
R_p	Paralel direnç.
I	Çıkış akımı
V	Çıkış gerilimi
P	Çıkış gücü

ÖZET

TİPİK BİR FOTOVOLTAİK PANELİN MAKSİMUM GÜÇ AKTARIMINI ETKİLEYEN TEMEL ELEKTRİK DEVRE PARAMETRELERİNİN HİBRİT GENETİK ALGORİTMALAR İLE TAHMİN EDİLMESİ

Erdem ELİBOL

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Nedim TUTKUN

Temmuz 2014, 78 sayfa

Gelişen teknoloji ve artan enerji talebi dolayısıyla enerji ihtiyacı hızlı bir şekilde artarken rezerv enerji kaynakları da hızlı bir şekilde tükenmektedir. Bu durum yeni enerji kaynaklarına yönelmeyi zorunlu hale getirmiştir. Bununla birlikte yenilenebilir enerji kaynakları sahip oldukları yüksek enerji potansiyeli ve devamlılık göstermeleri sebebiyle oldukça iyi birer alternatif enerji kaynağı durumuna gelmişlerdir. Yeni enerji kaynakları bulmak kadar sahip olunan enerji kaynaklarından elde edilen verimi maksimum seviyeleri çekmekte oldukça önemlidir. Bu sebeple bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan fotovoltaik (FV) sistemler ele alınmış ve FV panellerden maksimum güç çıkışlarını alabilmek temel elektrik devre parametreleri genetik algoritmalar ile tahmin ettirilmiştir. Fotovoltaik sistemler güneş enerjisinden doğrudan elektrik enerjisi üretebilen sistemler olup elektrik devre modelleriyle temsil edilebilirler. Literatürde birçok farklı FV devre modeli bulunmakla birlikte bu tez çalışmasında tek diyot devre modeli üzerinde çalışılmıştır. Modelden maksimum çıkış gücünü alabilmek için model parametrelerinin optimum şekilde seçilmesi gerekmektedir. Buna karşın FV panellerin üretici katalog verilerinde diyot idealite faktörü n , seri ve paralel dirençler R_s ve R_p değerleri hakkında herhangi bir bilgi verilmemektedir. Öncelikle bilinmeyen bu üç parametrenin çıkış akımı, çıkış gerilimi ve çıkış gücü üzerindeki etkileri MATLAB/SİMULİNK paket programında modellenen sisteminden elde edilen karakteristik eğriler ile gösterilmiştir. Daha sonra karmaşık ve kapalı bir yapıya sahip olan FV devre modeli denklemleri Lambert W fonksiyonuyla açık ve daha kullanışlı hale getirilmiştir. Elde edilen denklemler ile üretici katalog bilgi sayfasında yer olan parametre değerlerinden yola çıkılarak üç bilinmeyen parametre değeri Genetik Algoritmalar yardımıyla tahmin edilmiş ve farklı sıcaklık ve ışınma miktarları için en uygun idealite faktörü, seri ve paralel direnç değerleri elde edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Fotovoltaik Sistem, Genetik Algoritmalar, Lambert W Fonksiyonu, Tek Diyot Devre Modeli, Yenilenebilir Enerji Kaynakları

ABSTRACT

ESTIMATION OF FUNDAMENTAL CIRCUIT PARAMETERS AFFECTING MAXIMUM POWER TRANSFER IN A TYPICAL PHOTOVOLTAIC PANEL USING THE HYBRID GENETIC ALGORITHMS

Erdem ELIBOL

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical and
Electronic Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Nedim TUTKUN

July 2014, 78 pages

As the evolving technology and growing energy demand are increasing, reserve energy sources are rapidly declining. This situation has increased the interest in alternative energy sources and has made renewable energy sources important due to their energy potential and continuity. As finding some alternative energy sources as developing the owned sources for increasing yields is important too. For this reason, in this study photovoltaic (PV) systems were discussed and estimated fundamental circuit parameters affecting maximum power transfer in a typical photovoltaic panel using the genetic algorithms. PV systems which provide electrical energy from solar energy systems has been defined with electrical circuits. The literature survey has shown that there are few circuit models to obtain a better understanding of the PV cell characteristic. The most known approximate circuit models of the PV cell is described by the single diode model which used in this study. In order to transfer maximum power from a PV cell, it is important to estimate the certain parameters within acceptable error range. However, manufacturer data sheet of PV panels are not give information about diode ideality factor n , series resistance R_s and shunt resistance R_p . Firstly, for understanding the effect of this three unknown parameters on the PV characteristic curves, the PV system was simulated and the characteristic curves of system was plotted by MATLAB/SIMULINK package program. Single diode model involves in a transcendental equation which may have some difficulties directly to calculate the load current or the output voltage. Therefore the Lambert W function is used to reformulate voltage-current or current-voltage characteristic equation for easy computation. Thus, the load current or the output voltage can easily be calculated by the corresponding characteristic equation depending on known values of the circuit parameters. After that the resulting equations were used with manufacturer data sheet parameter values and the unknown parameters was estimated for amounts of different temperature and irradiance by genetic algorithms.

Keywords: Genetic Algorithms, Lambert W function, Photovoltaic System, Renewable Energy Sources, Single Diode Circuit Model

EXTENDED ABSTRACT

ESTIMATION OF FUNDAMENTAL CIRCUIT PARAMETERS AFFECTING MAXIMUM POWER TRANSFER IN A TYPICAL PHOTOVOLTAIC PANEL USING THE HYBRID GENETIC ALGORITHMS

ERDEM ELIBOL

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical and
Electronic Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Nedim TUTKUN

July 2014, 78 pages

1. INTRODUCTION:

Fossil fuels have been rapidly decreasing, therefore alternative energy sources have been important. Photovoltaic systems have a special place in alternative energies due to their energy potential and continuously generating energy. Recently solar power has been concerned by few investigators to efficiently generate electricity by means of PV systems. In order to absorb the maximum energy from these systems, optimal output voltage and current should be obtained from the I-V characteristic of previously developed models such as the single diode, the double diodes etc. In fact, it seems to be a relatively uneasy task because manufacturer's data sheet is confined to a few measured data values. In this study, the single diode model is employed to find peak power transfer and the ideality factor, the parasitic series and shunt resistances are considered to be variable while the others are invariant. These parameters are optimized using Genetic Algorithms and the Lambert W function hence, the optimal power point is identified.

2. MATERIAL AND METHODS:

The literature survey has shown that there are few circuit models to obtain a better understanding of the PV cell characteristic. The most known approximate circuit models

of the PV cell are described by the single diode model. The former is extensively employed for parameter extraction due to its simple form and only consists of 4 circuit elements that are a current source, an ideal $p-n$ junction diode and two of series and shunt connected resistors. In this model the three main parameters play major role in transferring maximum power to the output provided that they are globally optimized. For this reason, this model requires the proper mathematical formulation to approximately define the I-V or I-V characteristic. However, it involves in a transcendental equation which may have some difficulties directly to calculate the load current or the output voltage. Therefore the Lambert W function is used to reformulate $V - I$ or $I - V$ characteristic equation for easy computation. After that the resulting equations were used with manufacturer data sheet parameter values and the unknown parameters was estimated for amounts of different temperature and irradiance by genetic algorithms.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS:

For amounts of different temperature and irradiance current-voltage and power-voltage characteristic curves was plotted and values of diode ideality factor, shunt resistance and series resistance was estimated by genetic algorithms. The results indicated that optimized parameters produced improved outcomes with respect to those obtained from previous investigations.

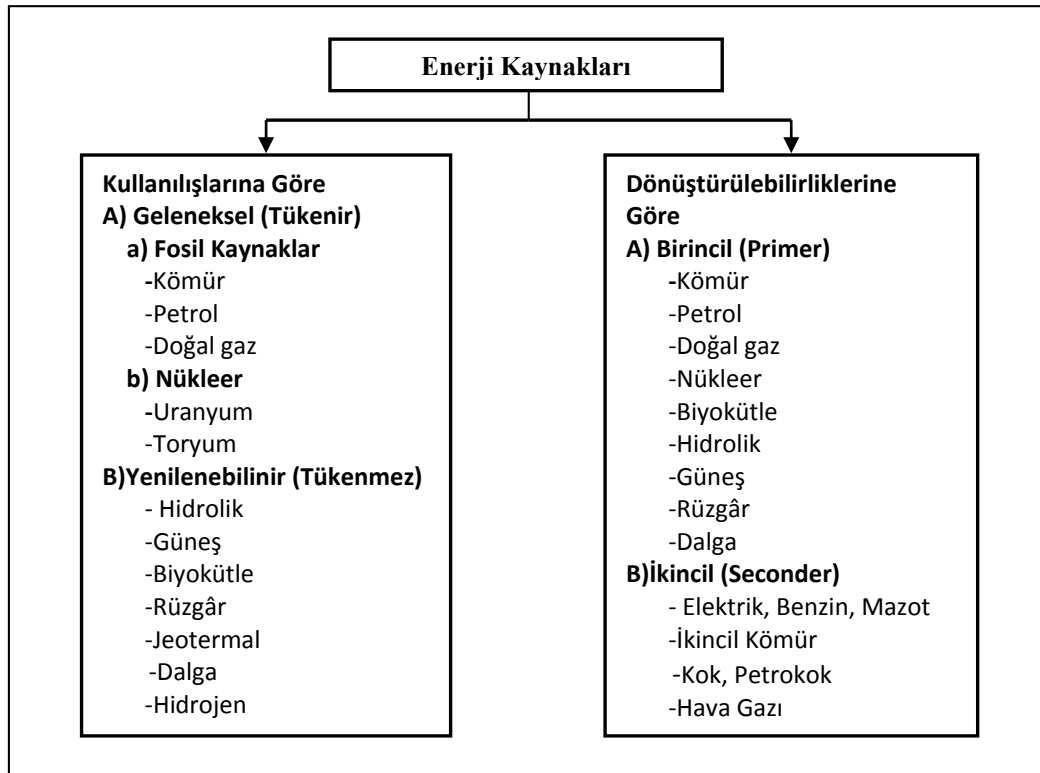
4. CONCLUSION AND OUTLOOK:

In this study unknown parameters of PV systems electrical model was estimated by genetic algorithms with Lambert W function and the result compared with numerical methods. Lambert W function was reformulate the characteristic equation for easy computation and genetic algorithms gave better results.

1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki hızlı artış ve sanayileşmeye dayalı enerji tüketimi, enerji ihtiyacının gittikçe artmasına sebep olmaktadır. Enerji, önemli bir üretim merkezi haline gelen ülkelerin ekonomik gücü ve kalkınma potansiyellerini simgeleyen en önemli etkenlerden biri haline gelmiştir.

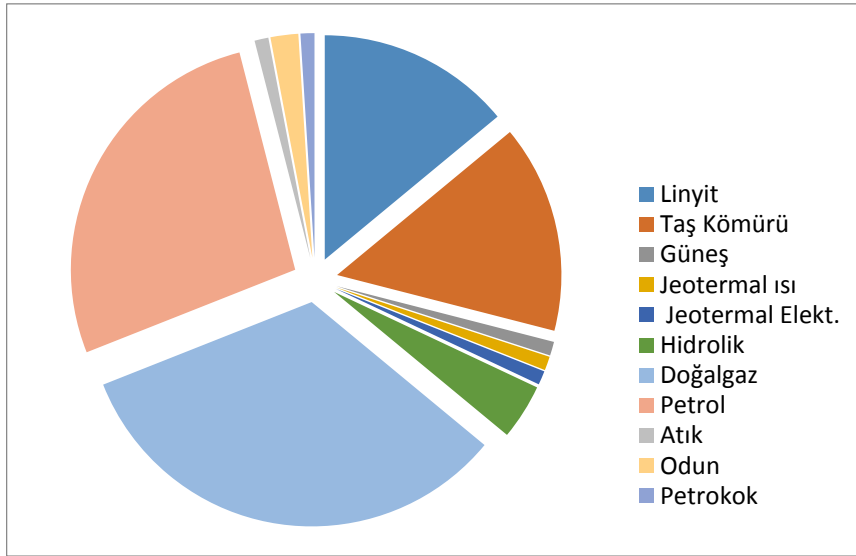
Kullanılışlarına göre enerji kaynakları, geleneksel ve geleneksel olmayan yani yenilenebilir enerji kaynakları olarak ikiye ayrılır. Geleneksel enerji kaynakları temelde fosil yakıtları kullanır ve yakın gelecekte bu yakıtların tükeneceği ön görülmektedir. Oysa yenilenebilir enerji kaynakları uzun süre tükenmeden kalır ve kendisini devamlı yenileyen kaynaklardır. Temel enerji kaynakları ve çeşitleri Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



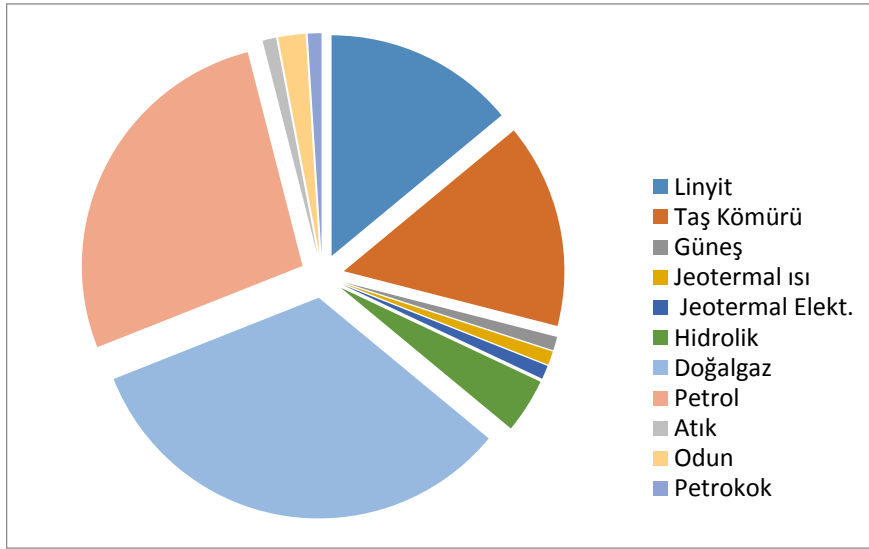
Şekil 1.1. Enerji kaynak çeşitleri.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının verilerine göre Türkiye’de enerji üretiminde kullanılan kaynakların büyük kısmı linyit, doğalgaz ve petrol oluşturmaktadır. Bununla birlikte Türkiye’de tüketilen enerjinin büyük çoğunluğu dışa bağlı kaynaklardan

oluşturmaktadır. Şekil 1.2 ve Şekil 1.3 Türkiye’de üretilen ve tüketilen enerjinin kaynak bazlı dağılımını göstermektedir (Anonim 2013).

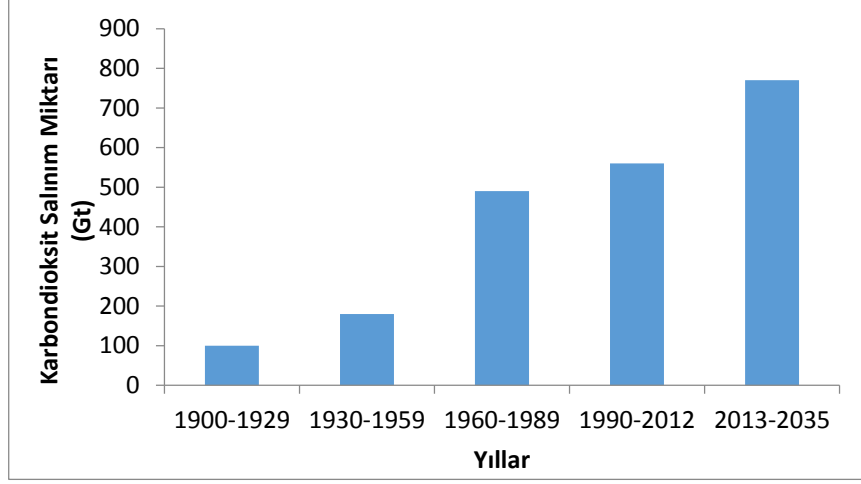


Şekil 1.2. Türkiye’de enerji üretiminin kaynak bazlı dağılımı.



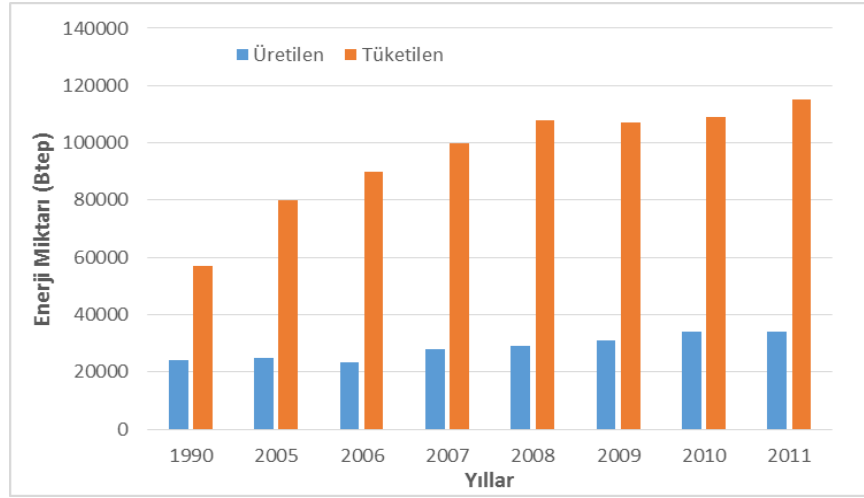
Şekil 1.3. Türkiye’de enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı.

Enerji üretiminde en çok kullanılan fosil yakıtlar dünyada meydana gelen CO_2 salınımını her geçen yıl daha tehlikeli boyutlara ulaştırmakta, bu da çevresel faktörleri etkileyerek küresel ısınmaya sebebiyet veren etkenlerden biri olarak gösterilmektedir. Uluslararası Enerji Ajansının (UEA) 2012-2035 yılları arasındaki CO_2 salınım miktarı tahmini Şekil 1.4’te gösterilmiştir.



Şekil 1.4. Dünyadaki toplam CO_2 salınım miktarı.

Türkiye mevcut kaynakları itibariyle enerji fakiri bir ülkedir ve ihtiyaç duyduğu enerjinin %72'sini ithal etmektedir. Türkiye'de yerli kaynaklarla üretilen enerji ile tüketilen enerjinin 2011 yılına kadar yıl bazlı değişimi Şekil 1.5'te gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Enerji üretim-tüketim değerleri.

Türkiye'de enerji açığının kapanabilmesi için yenilenebilir enerji kaynakları önemli bir yer tutmaktadır. Güneş enerjisi bu yenilenebilir kaynaklar içinde potansiyel olarak en büyük paya sahip kaynaklardan biridir. Türkiye, konumsal durumuna göre güneş kuşağı olarak adlandırılan bölgede yer almakta olup güneş enerjisi potansiyeli bakımından oldukça zengindir.

Türkiye sahip olduğu bu potansiyel bakımından birçok ülkeden daha fazla güneş enerjisi potansiyelinden yararlanma şansına sahiptir. Ülkemizde yıllık ortalama güneşlenme süresi 2640 saat (günlük 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti metrekarede yılda 1311 kWh/m^2 yıl olarak tespit edilmiştir (Anonim 2012).

1.1. AMAÇ VE KAPSAM

Bu tez çalışmasında, yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmek için kullanılan fotovoltaik (FV) sistemlerin eşdeğer elektriksel devresinin mevcut devre modelleri kullanılarak geliştirilmesi ele alınmıştır. Enerji ihtiyacının hızlı bir şekilde arttığı günümüzde sahip olunan enerji kaynaklarından maksimum verimi almak oldukça önemli bir husustur. Bu amaçla, fotovoltaik sistemlerin elektrik devre modellerinin en temel ve doğru çalıştığı kabul edilen tek diyot modeli ele alınmıştır. Tek diyot modelinin üretici katalog verilerinde yer almayan parametrelerin optimizasyon teknikleri yardımıyla bulunarak belli bir çalışma noktasındaki maksimum çıkış gücünün elde edilmesi amaçlanmıştır.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde tipik bir FV panel için farklı çevresel şartlar dikkate alınarak ayrıntılı bir şekilde modellenmiştir. FV sistemlerin elektriksel modelleri üzerinden matematiksel eşitlikler çıkarılmış ve anlamlandırılmıştır. Bu denklemler çerçevesinde MATLAB/SIMULINK paket yazılımı ile benzetim çalışması yapılarak tek diyot devre modeli esas alınarak FV sistem modellenmiştir. Model üzerinden, FV sistemin akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristik eğrilerine ulaşılmış ve daha sonra bu eğriye etki eden her bir parametre değerinin sistemde oluşturduğu değişim grafiksel olarak gösterilmiştir. Parametre değerlerinin sistem çıkış gücü üzerindeki etkisinin doğru bir şekilde bulunmasının önemine değinildikten sonra üretici katalog verilerinde yer almayan parametre değerlerinin bulunması için çalışmalar yapılmıştır. Önceki çalışmalardan elde edilen FV denklemleri üzerinde nümerik bir yöntem uygulayarak bilinmeyen parametrelerin bulunma işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu tez çalışmasındaki konularından biri olan Lambert W fonksiyonuna değinilmiş, çalışma şekli anlatıldıktan sonra FV denklemler Lambert W fonksiyonu vasıtasıyla karmaşık yapılarından çıkarılarak daha açık ve çözüm kolaylığı sağlayan denklemler haline getirilmişlerdir. Tez çalışmasının ikinci bölümünde son olarak genetik algoritmaların

tanıtımı ve bunların optimizasyon süreçlerinde nasıl kullanıldığı hakkında bilgiler verilmiştir.

Tez çalışmasının üçüncü bölümünde Lambert W fonksiyonu ile daha kullanışlı ve basit hale indirgenen akım-gerilim ifadesinin matematiksel denklemi genetik algoritma için yazılan kodlar ile birlikte kullanılmıştır. Üretici katalog verilerinde yer almayan parametre değerleri tahmin edebilmek için yine üretici katalog verilerinde yer alan bazı parametre değerlerinden faydalanılmıştır.

Modelin bilinmeyen parametrelerinin değerleri, sıcaklık ve ışıınım oranlarına bağlı olarak, farklı koşullar altında maksimum çıkış gücünü verebilecek şekilde genetik algoritma yardımıyla tahmin edilmiş ve her bir çalışma koşulu için akım-gerilim ve gerilim-güç karakteristik eğrileri çizdirilmiştir.

Tez çalışmasının son bölümünde elde edilen veriler değerlendirilmiş ve sonuçlar ile öneriler sunulmuştur.

1.2. LİTERATÜR

FV diyotlar, üzerlerine gelen güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisini dönüştüren sistemlerdir. Bu diyotların çalışma prensipleri FV sistemin çalışma prensibine dayanır. FV olayını ilk gözleyen kişi Becquerel olmuş, elektrolit içerisine daldırdığı elektrotlar arasında gerilimin elektrolitler üzerine düşen ışık miktarıyla bağlantılı olduğunu gözlemlemiştir. Ancak fotovoltaik teknoloji uzun bir süre araştırmalardan uzak kalmıştır. 1954 yılında Bell laboratuvarlarında yarıiletken malzemeler üzerinde yapılan deneyler sırasında silisyumun güneş hücreleri için uygun ve kullanışlı bir malzeme olduğu anlaşılmış ve güneş gücü teknolojisine ulaşmada önemli bir adım olarak görülmüştür. Bunun bir devamı olarak 1958 yılında yapay uydu programı kapsamında güneş panellerinin üretimine başlanmış ve güneşten elektrik elde edilmesine yönelik çalışmalar hız kazanmıştır (Luque ve Hegedus 2011).

Sıcaklık ve ışımanın güneş hücreleri üzerindeki etkilerini incelemek için devre tabanlı matematiksel bir modeller oluşturulmuştur. Bu temel devre modeli bir akım kaynağı ve buna paralel bağlanmış tek bir diyottan oluşmaktaydı (Tan, Kirschen 2004). Bu temel modelde üç ana parametre mevcuttur: Foton akımı (I_{PV}), diyot doyma akımı (I_0) ve diyot

idealite faktörü (n). Bu modelindeki diyota bir seri bir direnç bağlanarak yeni bir devre modeli geliştirilmiştir (Walker 2001). Chenni ve arkadaşları elde edilen modeli farklı türden güneş pilleri için test etmiş ve katalog bilgileriyle karşılaştırıp modelin doğruluğunu göstermiştir (Chenni ve diğ. 2007). Söz konusu modele diyota paralel olacak şekilde bir direnç eklenerek günümüzde yaygın olarak kullanılan ve en iyi sonuçlar üreten tek diyot modeli elde edilmiştir (Chegaar, Ouennoughi 2001), (Liu ve diğ. 2002). Singh farklı fotovoltaiik modeller üzerine yaptığı çalışmalar ile seri ve paralel bağlı dirençlerin devre modelinin geliştirilmesinde ve daha iyi sonuçlar vermesinde bu seri ve paralel dirençlerin etkisini araştırmıştır. Ayrıca diyot idealite faktörünün 1-2 aralığında sabit bir değer olarak kabul edilmesinden ise bir değişken olarak ele alınıp değerlendirildiğinde modelin daha da gelişebileceğini göstermiştir (Singh 2013). Tek diyot modeli genelde beş bilinmeyen parametre içermekle birlikte iki parametre bilinir hale getirilerek bilinmeyen sayısı üçe indirilebilir (De Soto ve diğ. 2006). Bununla birlikte akım-gerilim (I-V) karakteristiği karmaşık bir denklem olup açık bir çözümü yoktur (Bouzidi ve diğ. 2007).

FV sistemlere artan talep hücre teknolojisi modellemesine dayanan bileşenlerinin boyut optimizasyonunu ve sistem performansları üzerine çeşitli çalışmalara yol açmıştır (Fanney ve Dougherty, 2001),(Celik 2007),(Green ve diğ. 2005). FV sistemin doğru bir şekilde modellenmesi panelin I-V ve gerilim-güç (V-P) ilişkisinin anlaşılması açısından önemlidir (Yorukoglu ve Celik, 2006). Ancak model tahmini, akım ve gerilim davranışlarını etkileyen iç ve dış faktörlerden etkilenir. Bu yüzden çok iyi bir model, değişik çevre koşulları altında model performansının tahmin edilmesiyle gerçekleştirilebilir. Hernantz farklı modellerin performanslarını karşılaştırarak üretici katalog bilgilerinin seri ve paralel direnç değerlerine yer vermediğini ve dikkate almadıklarını göstermiştir (Hernanz 2010). Andrew ve arkadaşları fotovoltaiik sistemlerin gelişmiş modelini bulmak için beş dakikalık zaman aralıklarıyla kısa devre akımını kullanmayı önermişlerdir (Andrews ve diğ. 2012). Chakrasali ve arkadaşları mevcut fotovoltaiik elektrik devre temelli modelini MATLAB ortamında Norton devre modeliyle tasarlamışlar ve modelin devre parametrelerinin daha uzun zaman sürelerinde incelenmesine yardımcı olduğunu göstermişlerdir (Chakrasali ve diğ. 2013). Chouder ve arkadaşları tek diyot devre modelinde güç dönüşüm verimliliğini hesaba katarak LABVIEW yazılımı ile FV sistemlerin dinamik davranışlarını ve detaylı performans karakteristikleriyle ilgili çalışma yapmışlardır (Chouder ve diğ. 2013).

FV sistemlerin devre modellerinin karmaşık denklemler içermesi çözümün zaman alıcı olmasına sebep olsa da sistemde bilinmeyen parametrelerin bulunması için analitik, nümerik ve stokastik birçok modelin geliştirilmesine yol açmıştır (Ishaque ve diğ. 2011). Matagne ve Xiao çalışmalarında diyot idealite faktörünü ve seri bağlı direncin değerlerini bulmak için iteratif bir yöntem uygulamışlar, bu yöntemi uygularken paralel bağlı direnci ihmal etmişlerdir (Matagne ve diğ. 2007),(Xiao ve diğ. 2004)]. Villalva, seri ve paralel dirençlerin değerlerini bulmak için diyot idealite faktörünü sabit tutarak iteratif yöntemle bilinmeyen parametreleri bulmaya çalışmıştır (Villalva ve diğ. 2009). Jain ve Kapoor model eşitlikleri basitleştirmek ve akım ve gerilim için açık denklemler elde etmek için Lambert W fonksiyonu ilk kez kullanmışlardır (Jain & Kapoor, 2004). Daha sonra elde ettikleri denklemler ile analitik olarak diyot idealite faktörünün değerini katalog verileri yardımıyla tahmin etmişlerdir (Jain ve Kapoor 2005). Picault ve arkadaşları Lambert W fonksiyonunun FV modüllerde I-V bağlantısını kullanarak çeşitli çevre koşullarında FV modül üretiminin tahmini için yeni bir model üretmişlerdir (Picault ve diğ. 2010). Chen ticari silikon güneş pillerinin bilmeyen parametrelerini tahmin edebilmek için polinom eğri uydurma yöntemini ve Lambert W fonksiyonunu kullanmışlardır (Chen, Wang, Li, Hong, & Shen, 2011). Ghani ve arkadaşları silikon ve plastik güneş pillerinin I-V ve P-V eğrilerinin bulabilmek için yapay sinir ağlarını Lambert W fonksiyonu ile birlikte kullanmışlardır (Ghani ve diğ. 2012).

FV modülün fiziksel davranışlarını incelemek için, parametre değerlerinin büyük oranda etkileyen ışık ve sıcaklık değerlerinin parametre değerleriyle eş zamanlı hesaplanması gerekir. Son zamanlarda parametrelerin optimal değerlerini bulabilmek için bulanık mantık gibi yapay zeka teknikleri de kullanılmıştır (Elshatter ve diğ.2000),(Karatepe ve diğ. 2006),(Mellit ve diğ. 2008). Bunun yanı sıra evrimsel algoritma teknikleri doğrusal olmayan fonksiyonları çözmek için türev bilgisi gerektirmediğinden son zamanlarda önem kazanmışlardır. Bu gerçek değer kodlu veya biner kodlu amaç fonksiyonlarını çözebilmek için oldukça etkili bir optimizasyon yöntemidir. Jervase ve arkadaşları genetik algoritmalar yöntemiyle tek diyot modelinde katalog bilgileri dışında kalan parametrelerin bulunmasında kullanmışlardır (Jervase ve diğ.2001). Moldovan FV modülün devre modelinden elde edilen bilinmeyen beş parametreyi genetik algoritmalar (GA) belirlemiştir (Moldovan ve diğ. 2009). Ye, aynı işlemi farklı bir evrimsel algoritma tekniği olan parçacık sürüsü optimizasyon tekniği ile gerçekleştirmiştir (Ye ve Xu, 2009).Evrimsel algoritmaların bir başka türü olan ve çabuk bir şekilde yakınsama yapıp,

çok az kontrol parametresiyle işleyen diferansiyel evrim tekniği Storn ve Price tarafından ilk defa geliştirilmiştir (Storn ve Price 1997) ve Ishaque tarafından güneş hücresinin bilinmeyen parametrelerinin tahmininde kullanılmıştır (Ishaque ve diğ. 2011).

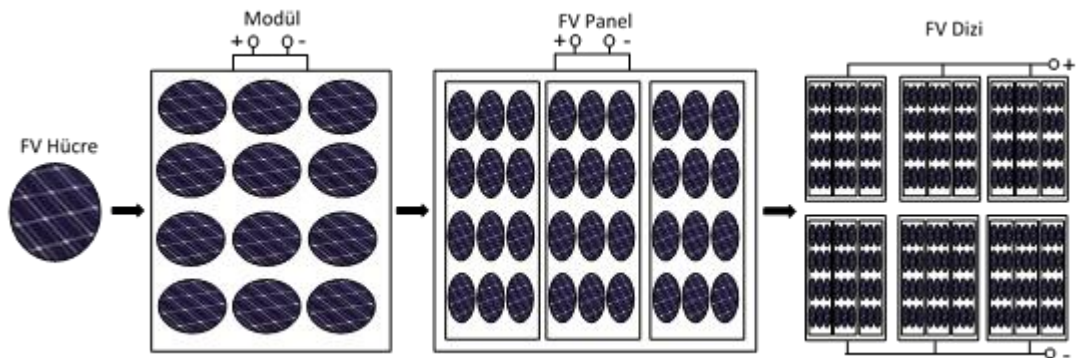
2. MATERYAL METOT

Bu bölümünde çalışma sistemi hakkında bilgi verilmiş ve bu çalışmada kullanılacak yöntemler anlatılmıştır.

İlk olarak FV sistem tanıtılmış ve sistemin matematiksel modeli oluşturulmuştur. Matematiksel modele dayalı MATLAB/SİMULİNK benzetimi ile sistem kurulmuş, I-V ve P-V karakteristik eğrileri, sistemin bilinmeyen parametrelere ve çevresel koşullara bağlı değişimlerine göre elde edilmiş olup bilinmeyen parametrelerin çıkış gücüne etkileri incelenmiştir. Daha sonra bilinmeyen parametrelerin tahmini için öncelikle bir sayısal yöntem uygulanmış sonrasında Lambert W fonksiyonuyla matematiksel model yeniden ifade edilmiştir. Son olarak genetik algoritmaların çalışma prensiplerine değinilmiştir.

2.1 FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

FV hücreler, üzerine düşen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarıiletken malzemelerdir. Tek bir FV hücreden elde edilebilecek çıkış gücü 2-3Watt (W) ve çıkış gerilimi 0,5-0,7Volt (V) aralığında değişir. Bu gerilim değerleri sebebiyle bir güneş hücresini tek başını kullanmak uygun değildir. Bu sebeple birçok fotovoltaik güneş hücresi seri bağlanarak FV modül elde edilirken FV modüllerin birleştirilmesiyle de FV paneller oluşturulur. Şekil 2.1’de FV hücrelerin seri bağlanarak FV modül ve panel oluşumunu göstermektedir.



Şekil 2.1. FV hücrelerin seri bağlanmasıyla FV panelin elde edilmesi.

2.1.1. Fotovoltaik Enerji

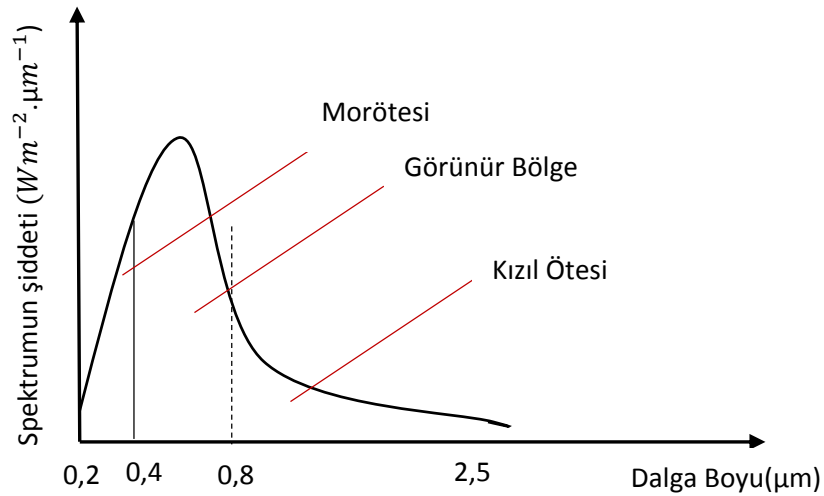
Güneş ışığının foton adı verilen enerji yüklü taneciklerden meydana geldiği kabul edilmektedir. Bir fotonun sahip olduğu enerji aşağıdaki ifade ile verilebilir;

$$E = hv = h \frac{c}{\lambda} \quad (2.1)$$

Burada h Planck sabiti olup $6.636 \times 10^{-23} Js$, v fotonun frekansı, c ışık hızı ve λ fotonun dalga boyunu ifade etmektedir.

Foton tüm dalga boylarında elektromanyetik radyasyon taşıyan, kütlesi sıfır olan ve ışık hızında hareket edebilen bir parçacıktır. Aynı anda dalga ve parçacık özellikleri gösterir.

Güneşten dünyaya gelen bu ışının spektrumu Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Farklı foton güçlerine sahip olan 0,2-2,5 μm aralığında değişen dalga boylarına sahip bir spektrum ile ışık dünyaya ulaşmaktadır.



Şekil 2.2. Güneş spektrumu.

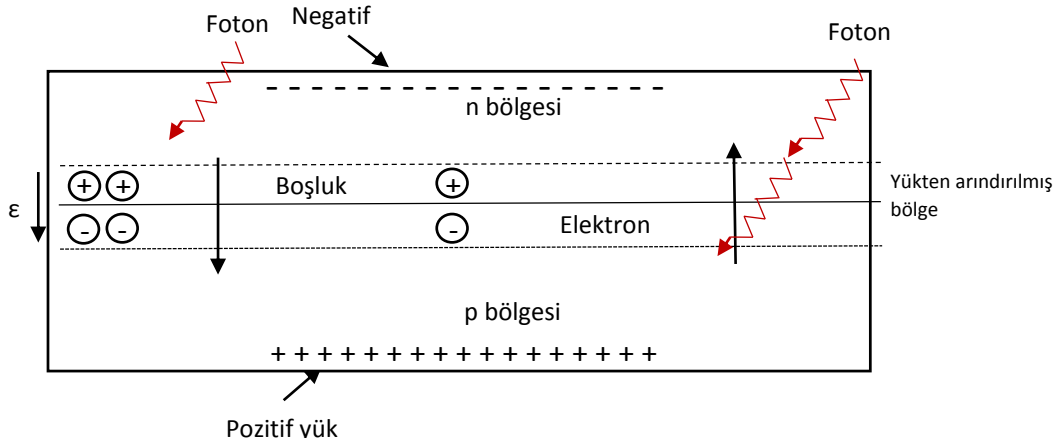
Günümüzde silikon, galyum arsenik (GaAs) ve kadminyumtelurit (CdTe) gibi yarı iletken malzemeler kullanılmaktadır. Yüksek saflıkta ve yaygın olan bulunan silikon FV güneş hücresi üretiminde en çok kullanılan yarıiletken malzemedir.

Yarıiletken maddelerin FV hücre olarak kullanılabilmesi için n ya da p tipi katkıları gereklidir. Katkılama, saf yarıiletken içerisine istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılır. Elde edilen yarıiletkenin n ya da p tipi olması katkı

maddesine bağlıdır. Güneş pili maddesi olarak en yaygın kullanılan silisyumdan n tipi silisyum elde etmek için silisyum içerisine periyodik cetvelin 5. grubundan bir element, örneğin fosfor eklenir. Silisyumun dış yörüngesinde 4, fosforun dış yörüngesinde 5 elektron olduğu için, fosfor' un fazla olan tek elektronu kristal yapıya bir elektron verir. Bu nedenle 5. grup elementlerine donör ya da n tipi katkı maddesi denir.

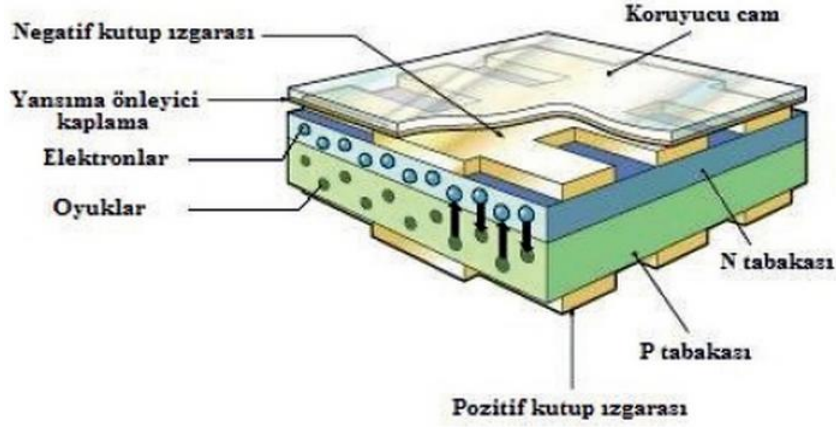
pn eklem oluştuğunda, n tipindeki çoğunluk taşıyıcısı olan elektronlar, p tipine doğru akım oluştururlar. Bu olay her iki tarafta da yük dengesi oluşana kadar devam eder. pn tipi maddenin ara yüzeyinde, yani eklem bölgesinde, p bölgesi tarafında negatif, n bölgesi tarafında pozitif yük birikir. Bu eklem bölgesine geçiş bölgesi ya da yükten arındırılmış bölge denir. Bu bölgede oluşan elektrik alan yapısal elektrik alan olarak adlandırılır. Yarıiletken eklemnin FV hücre olarak çalışması için eklem bölgesinde FV dönüşümün sağlanması gerekir.

Bir FV hücre güneşe maruz kaldığında, yeterli enerji seviyesine sahip fotonlar, kristal içerisinde elektron-boşluk çiftlerini meydana getirirler. Bu hareketli yük taşıyıcıları eklem bölgesine yaklaştıklarında, yükten arındırılmış bölgedeki elektromanyetik alanla birlikte Şekil 2.3'te gösterildiği gibi elektronlar n bölgesine, boşluklar p bölgesine doğru itilirler.



Şekil 2.3. Elektromanyetik alan ile elektron ve boşluk hareketi.

Kristalin iki kutbunda zıt yüklerin toplanması, bir potansiyel fark meydana getirir. İletken bir tel ile iki kutup Şekil 2.4'teki gibi birleştirilirse, n bölgesindeki elektronlar, p bölgesindeki boşluklara doğru hareket eder. Burada boşluklarla yeniden birleşen elektronlar devreyi tamamlarlar. Akımın yönü, elektron hareketine zıt yönde gerçekleşir. Bir diğer ifadeyle, p bölgesinden n bölgesine doğrudur.



Şekil 2.4. pn eklemli FV hücrenin çalışma şeması.

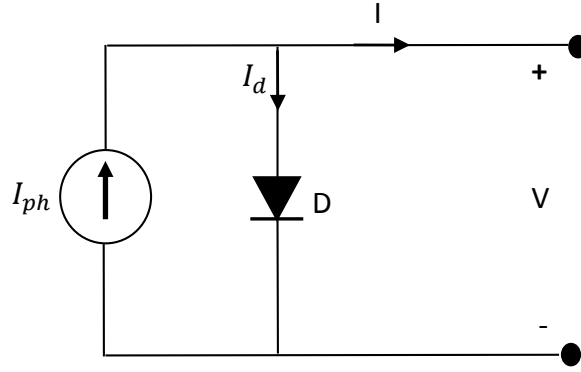
Eğer FV hücreye gelen fotonun enerjisi düşük ise foton silisyum maddeyi doğrudan geçebilir ya da hücrenin cam yüzeyinden yansıyabilir. Eğer FV hücreye gelen fotonun enerjisi büyük ise foton yarıiletken malzeme tarafından absorbe edilir. Absorbe edilen foton sayesinde FV hücre ya ısı oluşturur ya da elektron boşluk çiftleri oluşturur. Elektron-boşluk çiftinin oluşabilmesi için gelen fotonun enerjisinin yarıiletkenin bant genişliğinden fazla olması gerekmektedir.

2.1.2 Fotovoltaik Hücre Eşdeğer Devresi

Fotovoltaik hücrelerin davranışlarını anlayabilmek, I-V ve P-V karakteristik eğrilerinden analizlerini yapabilmek için elektriksel özellikleri iyi bilinen devre elemanlarından oluşan eşdeğer devrelere ihtiyaç duyulur. Fotovoltaik güneş hücreleri için basit, gelişmiş ve ideal eşdeğer devreler literatürde mevcuttur (Campbell 2007), (Altas ve Sharaf, 1996).

2.1.2.1 İdeal FV Hücre Modeli

İdeal FV hücre modeli Şekil 2.5'te gösterildiği gibi bir ideal akım kaynağı ve ona paralel bağlı bir diyottan oluşan bir eşdeğer devredir. Bu devrede I_{ph} , fotoakım, I_d ise diyot akımını göstermektedir.



Şekil 2.5. İdeal FV hücre eşdeğer devresi.

Yukarıdaki devre modeli kullanılarak aşağıdaki denklemler yazılabilir (Gow & Manning 1999).

Çıkış akımı, I şu şekilde verilir;

$$I = I_{ph} - I_d \quad (2.2)$$

Shockley diyot akımı eşitliğinde diyot akımı I_d ;

$$I_d = I_0 \left\{ e^{\frac{qV}{nk_B T}} - 1 \right\} \quad (2.3)$$

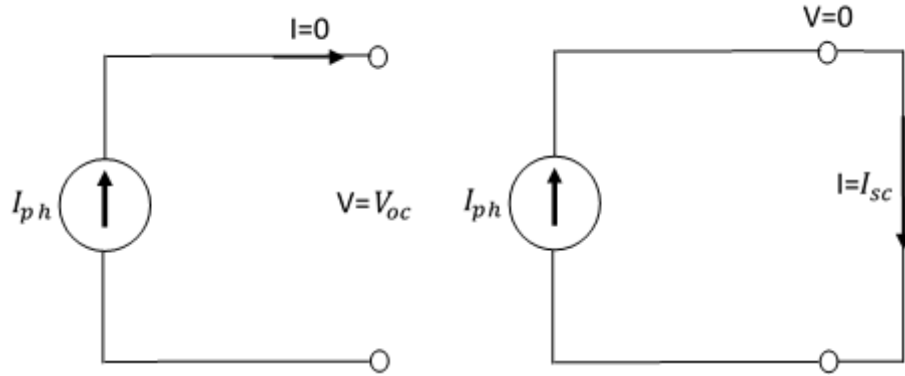
Burada; I_0 , diyot ters doyma akımı, q , elektron yükü, V , gerilim, k_B , Boltzman sabiti, n , idealite faktörünü ifade etmektedir.

Eş. (2.3) ifadesini Eş. (2.2)de yerine koyarsak;

$$I = I_{ph} - I_0 \left\{ e^{\frac{qV}{nk_B T}} - 1 \right\} \quad (2.4)$$

I_0 akımı sabit sıcaklık değerinde sabit olup açık devre şartlarında hesaplanabilir. Açık devre koşullarında $V = V_{oc}$ ve $I = 0$ olur ve bu durum Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Çıkış geriliminin sıfır olması durumunda yani kısa devre durumunda, I_{ph} , kısa devre akımına eşittir. Böylece en basit FV hücre modeli kısa devre akımı I_{sc} ve açık devre gerilimi V_{oc}

olmak üzere iki temel ölçülen parametreye sahip olduğu görülmüştür. Denklemler düzenlendiğinde Eş. 2.7 elde edilmiştir.



Şekil 2.6. Açık gerilimde ve kısa devrede FV model.

$$0 = I_{sc} - I_0 \left\{ e^{\frac{qV}{nk_B T}} - 1 \right\} \quad (2.5)$$

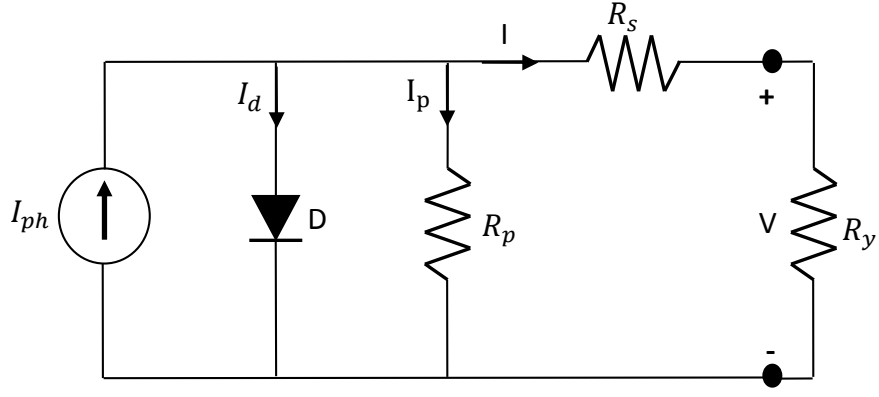
$$I_{sc} = I_0 \left\{ e^{\frac{qV}{nk_B T}} - 1 \right\} \quad (2.6)$$

$$I_0 = \frac{I_{sc}}{I_0 \left\{ e^{\frac{qV}{nk_B T}} - 1 \right\}} \quad (2.7)$$

İdeal FV hücre modeline rağmen gerçekte FV sistemler ideal olmayıp yapısı itibarıyla kayıplar içeren elemanlardan oluşur. Bu yüzden bu model revize edilerek kayıpları temsilen dirençler modele eklenmiştir. Bu modellerin içerisinde en basit ve kullanışlı olan tek diyot modeli olup bu tez çalışmasında kullanılmıştır (Rodrigues ve diğ. 2011).

2.1.2.2 Tek Diyot Devre Modeli

Tek diyotlu devre üzerine en çok çalışmanın yapıldığı ve en doğru tepkileri veren modeldir. Bu model temel olarak tek bir FV hücrenin geçişme akımını tek bir diyot ile modelleme fırsatı vermektedir (Neto ve diğ. 2003),(Dondi ve diğ. 2007). Tek diyot devre modeli Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Tek diyot devre modeli.

Bu devre modelinde R_s , seri direnç olup yarı iletken maddeden, metal bağlantı noktalarından ve toplayıcı veri yolundan oluşan devre yolunun toplam direncini temsil etmektedir.

R_p , paralel direnci, yarı iletken yapıya paralel olarak bağlı bulunan rezistif yolda kaybolan kaçak akımı ifade etmektedir. Bu kayıp türü seri dirençle karşılaştırıldığında oldukça küçük olup FV hücreler birbirleriyle bağlantı oluşturduğunda daha belirgin olur.

Şekil 2.7'deki devrede Kirshhoff akımlar kanunu uygularsak;

$$0 = I_{ph} - I_d - I_p \quad (2.8)$$

Diyot akımı Eş. 2.3'te verildiği gibi şu şekildedir;

$$I_d = I_0 \left\{ e^{\frac{qV}{nk_B T}} - 1 \right\}$$

Tek diyot devre modelinde I akımını bulabilmek için gerekli olan diğer bir parametre R_p paralel direnci üzerinden geçen I_p akımının bulunması gereklidir. I_p Eş. 2.9'da gösterilmiştir.

$$I_p = \frac{V_D}{R_p} = \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (2.9)$$

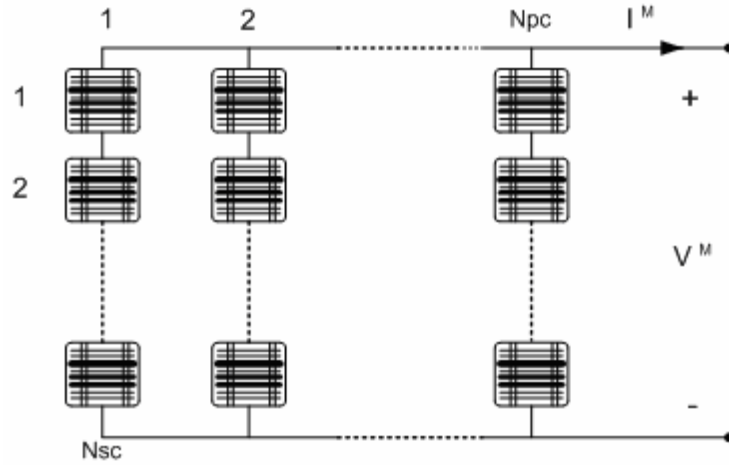
Burada V_D diyot üzerindeki, V çıkıştaki gerilimi ifade eder.

Bulunan I_d ve I_p değerleri Eş. 2.8'de yerine yazılır ise;

$$I = I_{ph} - I_0 \left\{ e^{\frac{qV}{nk_B T}} - 1 \right\} - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (2.10)$$

şeklinde tek diyot devre modeli için I-V ilişkisi elde edilmiş olur.

Çıkış akım, gerilim ve güç değerlerini arttırabilmek için güneş hücreleri seri ve paralel şekillerde bağlanarak istenilene yakın değerlere çekilebilirler. Şekil 2.8'de FV hücrelerin seri ve paralel bağlantılar ile oluşturduğu bir modül şekli verilmiştir.



Şekil 2.8. FV hücrelerin seri ve paralel bağlanması.

Burada N_p , paralel bağlı hücrelerin, N_s , seri bağlı hücrelerin sayısını göstermektedir.

Birbirine seri bağlı FV hücrelerin toplam gerilim değeri, aynı akım değeri için her bir FV gerilimin birbirine eklenmesiyle bulunur.

Birbirine paralel bağlı FV hücrelerin toplam akım değeri, aynı gerilim değeri için üretilen her bir akım değerinin birbirine eklenmesiyle bulunur.

$$V_M = N_s * V \quad (2.11)$$

$$I_M = N_p * I \quad (2.12)$$

Burada N_s seri bağlı, N_p paralel bağlanan hücre sayılarını, V_M ve I_M modülün çıkış akım ve gerilim değerlerini gösterir.

Fotovoltaik modüllerin çıkış değerleri ışık şiddetine ve ortam sıcaklığıyla ilişkilidir. I_d , diyotu oluşturan yarıiletken malzemenin pn noktasından akan bir akım olup sıcaklığa bağlıdır. I_0 doyma akımının değeri Eş.2.13'te aşağıdaki gibi ifade edilir (Hua ve Shen, 1998).

$$I_0 = I_{0r} \left(\frac{T}{T_r} \right)^3 e^{\left\{ \left(\frac{qE_q}{nk_B} \right) \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right) \right\}} \quad (2.13)$$

Burada I_{0r} referans değerindeki akımı ifade edip Eş. 2.14 ile gösterilmiştir ayrıca T ortamın sıcaklığı °Kelvin cinsinden, T_r standart test koşullarında (STK) 25°C veya 298°K, E_q FV yarıiletken diyotun bant genişliğini gösterir.

$$I_{0r} = I_{sc} \left\{ e^{\frac{V_{oc}q}{k_B T n}} - 1 \right\} \quad (2.14)$$

Bu durumda I_d , diyot akımı şu şekilde gösterilebilir;

$$I_d = I_0 N_p \left(e^{\frac{\frac{V}{N_s} + \frac{IR_s}{N_s}}{n \left(\frac{k_B T}{q} \right)}} - 1 \right) \quad (2.15)$$

Fotoakım I_{ph} 'nin ışınım şiddeti ile ilişkisi ise Eş. 2.16'de gösterilmiştir.

$$I_{ph} = \frac{G}{G_r} [I_{sc} + k_i (T - T_r)] \quad (2.16)$$

Burada G , güneş ışınım miktarı, G_r STK altında güneş ışınım miktarı, k_i kısa devre akımının sıcaklık katsayısı olarak tanımlanırlar.

Elde edilen eşitlikler yardımıyla FV hücre ve sistemlerin akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) eğrilerini ve bu eğrilerin ışınım şiddeti G , ortam sıcaklığı T , diyotun idealite

faktörü n , seri ve paralel bağlı dirençler R_s ve R_p 'ye bağlı olarak değişimlerini gözlemleyebilmek için MATLAB/SİMULİNK paket yazılımı ile modellenmiş ve Kısım 2.2'de gösterilmiştir.

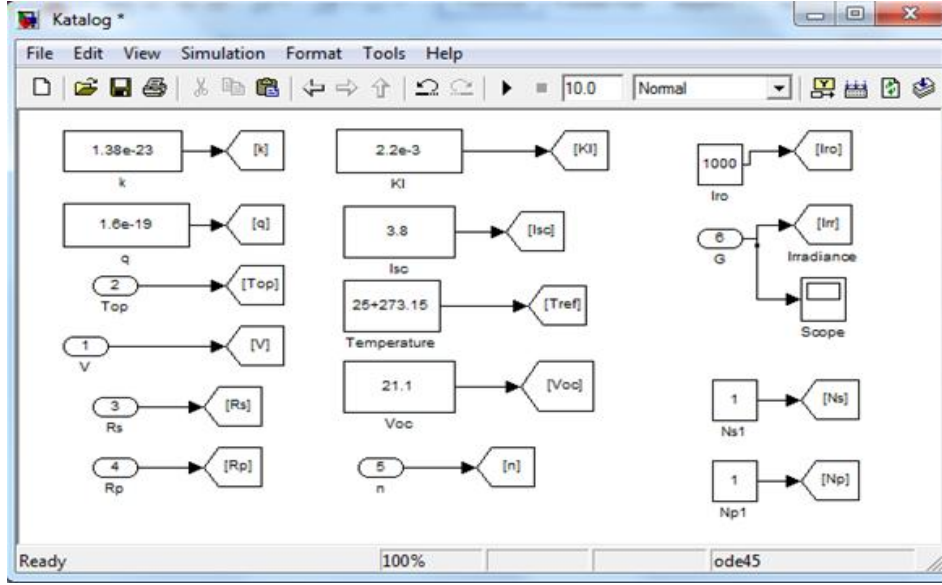
2.2 FV MODÜLÜN MATLAB/SİMULİNK ORTAMINDA BENZETİMİ

Kısım 2.1'de matematiksel olarak ifadesini elde ettiğimiz tek diyot devre modelinde, FV hücreye ait I-V ve P-V karakteristik eğrilerini elde etmek için tek diyot devre modelinin MATLAB/SİMULİNK yazılım paketinde modeli oluşturulmuş ve I-V ve P-V karakteristik eğrilerinin n, G, T, R_s, R_p parametrelerinin değerlerine bağlı olarak sergiledikleri değişimler Kısım 2.2.2.1' gösterilmiştir.

FV tek diyot modeline bağlı olarak SİMULİNK yazılım paketinde modelleme yapılırken öncelikle Çizelge 2.1'de verilen üretici katalog verilerindeki ölçülmüş değerlerin ve sabit değerlerin ataması yapılarak süreç başlanmış ve Şekil 2.9 gösterilmiştir

Çizelge 2.1. FV parametre değerleri.

I_{sc}	3,8 A
V_{oc}	21.1 V
k_B	1.381×10^{-23} J/K
R_s	0,18 Ω
R_p	360.02 Ω
q	1.602×10^{-19} J
k_i	2.2×10^{-3}
n	1.2

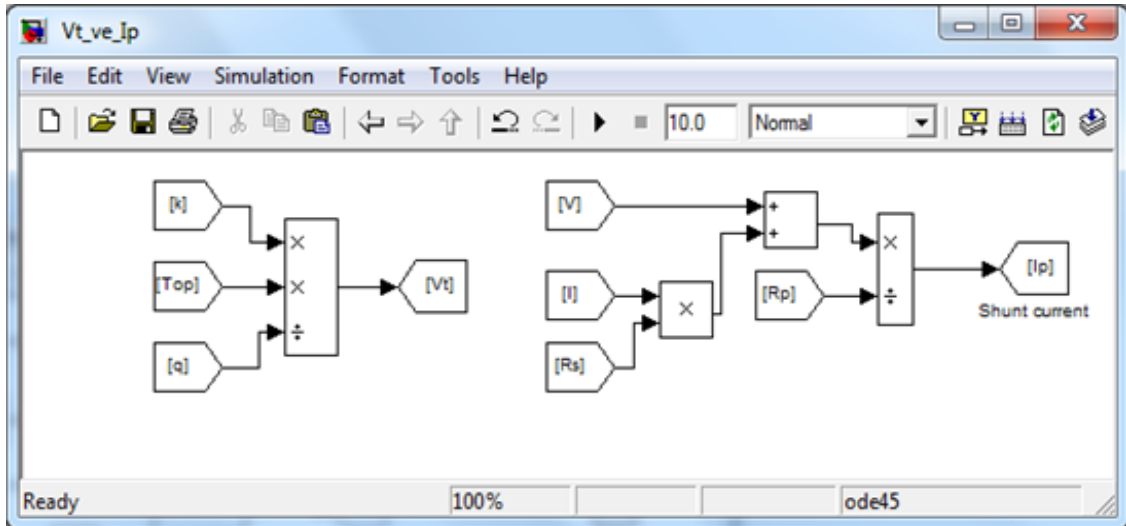


Şekil 2.9. Sabit değer ve giriş değerlerinin modellenmesi.

V_t , termal voltaj olup şu şekilde ifade edilir;

$$V_t = \frac{k_B T}{q}$$

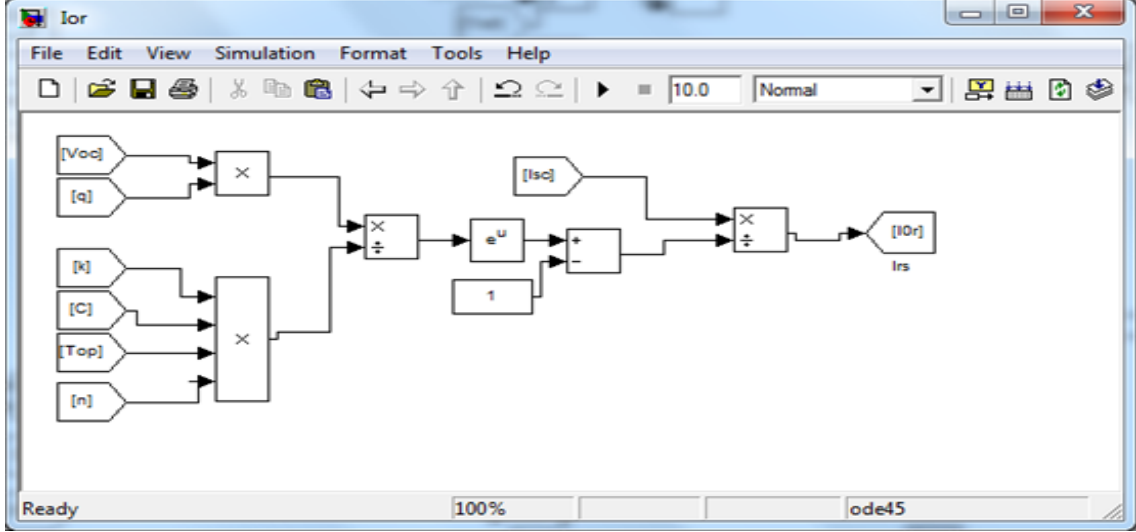
$V_t = \frac{k_B T}{q}$ ve $I_p = \frac{V + I R_s}{R_p}$ denklemleri Şekil 2.10'da gösterildiği gibi modellenmişlerdir.



Şekil 2.10. V_t ve I_p 'nin modellenmesi.

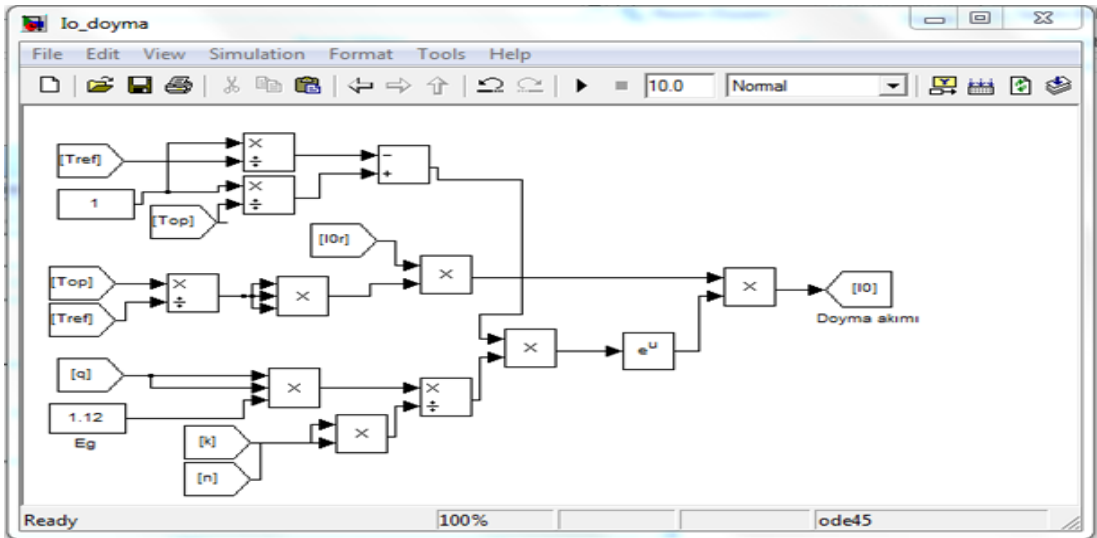
Matematiksel ifadesi Eş. 2.14 ile verilen referans değerindeki akım I_{0r} Şekil 2.11 'de gösterildiği gibi modellenmiştir.

$$I_{0r} = I_{sc} \left\{ e^{\frac{V_{oc}q}{k_B T n}} - 1 \right\}$$



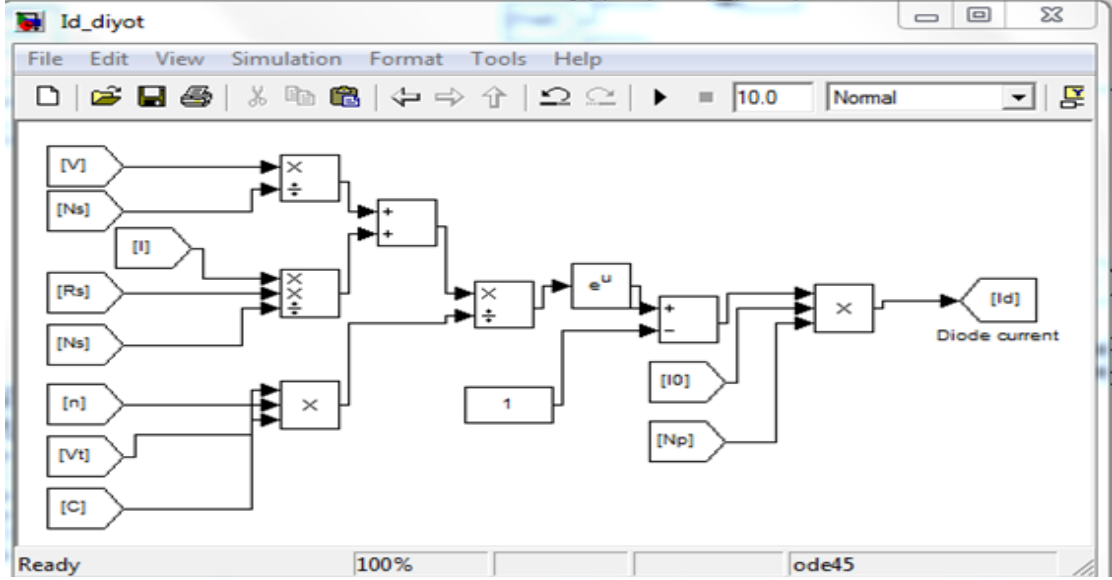
Şekil 2.11. I_{0r} 'in modellenmesi.

Eş. 2.13 ile verilen $I_0 = I_{0r} \left(\frac{T}{T_r} \right)^3 e^{\left\{ \left(\frac{qE_q}{nk_B} \right) \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right) \right\}}$ doyma akımının simülasyonu Şekil 2.12'deki gösterildiği gibi yapılmıştır.



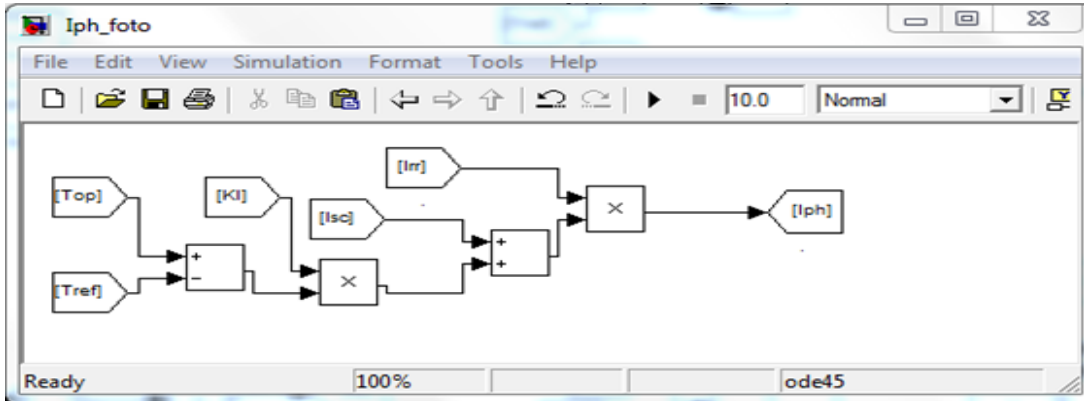
Şekil 2.12. I_0 doyma akımının modellenmesi.

I_0 doyma akımından sonra Eş. 2.15 ile $I_d = I_0 N_p \left(e^{\frac{V - IR_s}{N_s + N_s} \frac{q}{k_B T}} - 1 \right)$ denklemi ile ifade edilen diyot akımı Şekil 2.13'te gösterildiği gibi modellenmiştir.



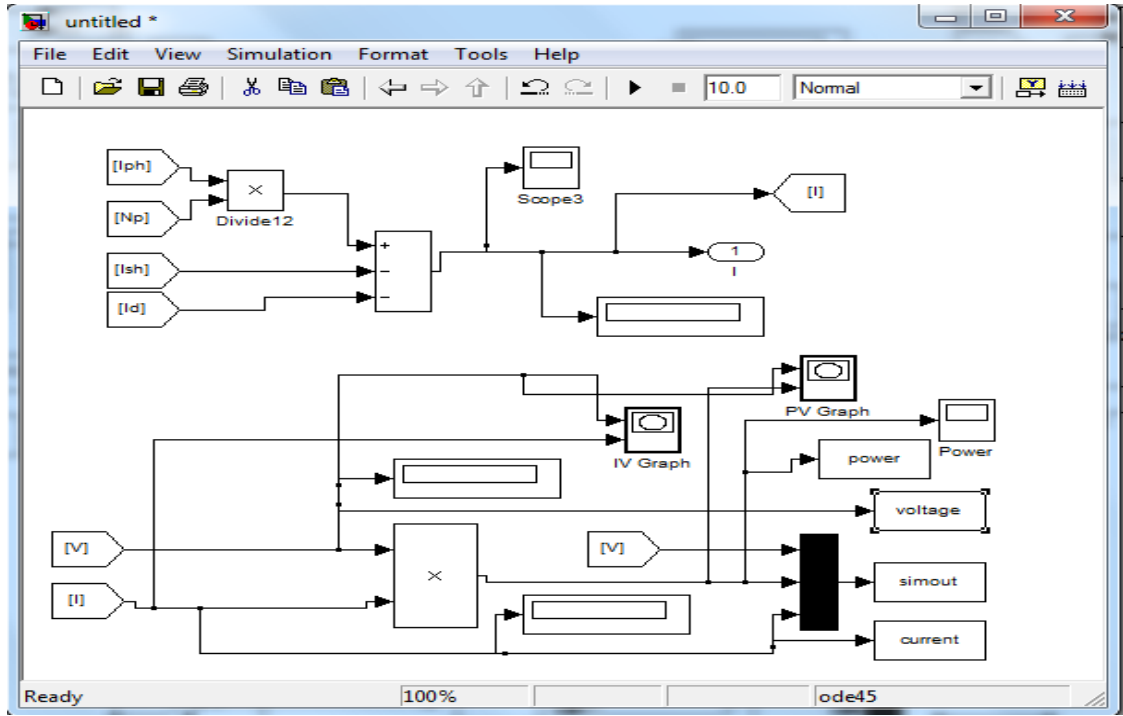
Şekil 2.13. Diyot akımının modellenmesi.

$I_{ph} = \frac{G}{G_r} [I_{sc} + k_i (T - T_r)]$ denklemiyle Eş. 2.16'da verilen fotoakımın sıcaklık ve ışınım ile olan bağlantısının modellenmesi Şekil 2.14 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Fotoakımın modellenmesi.

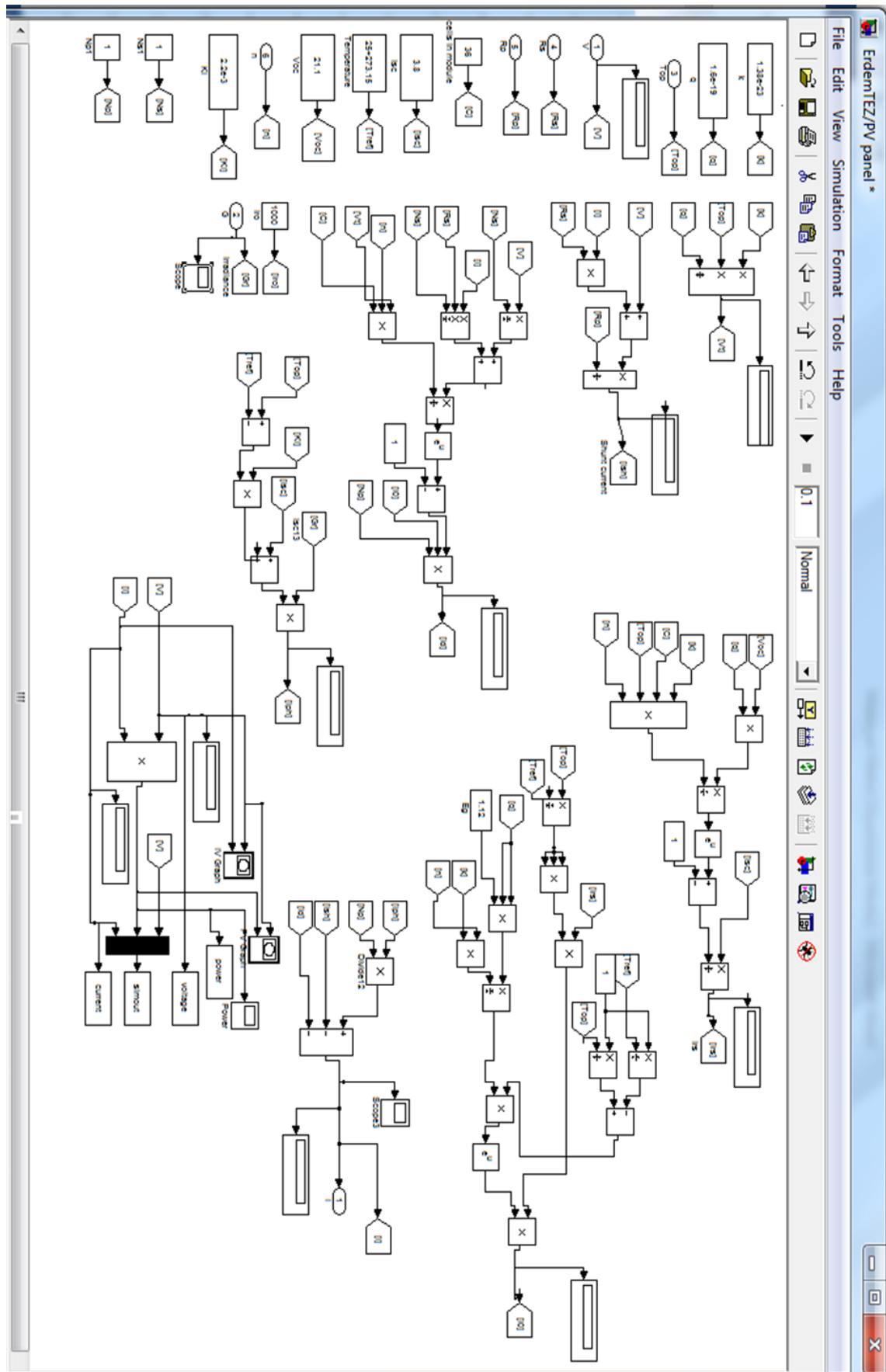
Bütün akım değerleri belirlendikten sonra çıkış akımımız ve gerilim akım bağlantısı aşağıdaki gibi modellenebilir.



Şekil 2.15. Çıkış akımı ve gerilimin modellenmesi.

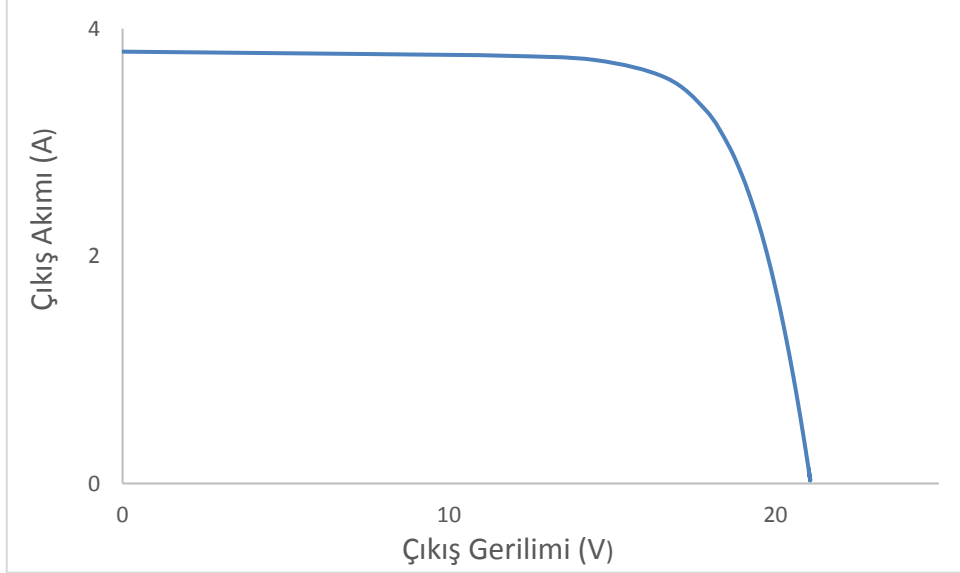
Bütün denklemlerin MATLAB/SİMULİNK paket programında modellenmesinden sonra bütün modeller bir ortamla Şekil 2.16’da gösterildiği gibi birleştirilir ve sistem modellenmesi tamamlanmış olunur. Sabit parametre değerleri ve değişken değerler farklı FV panel katalog verilerine göre düzenlenerek sistemin I-V ve P-V karakteristik eğrileri kolaylıkla elde edilebilir.

Şekil 2.16’daki sistem kullanılarak öncelikle daha önceden bilinen n , R_p , R_s değerleri kullanılarak temel I-V ve P-V eğrileri çizdirilmiş ve ışınım ve sıcaklık miktarındaki değişimlerin karakteristik eğriler üzerindeki etkilerini gösteren eğriler elde edilmiştir. Daha sonra bu üç parametre değeri sırayla değiştirilerek karakteristik eğriler üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir.

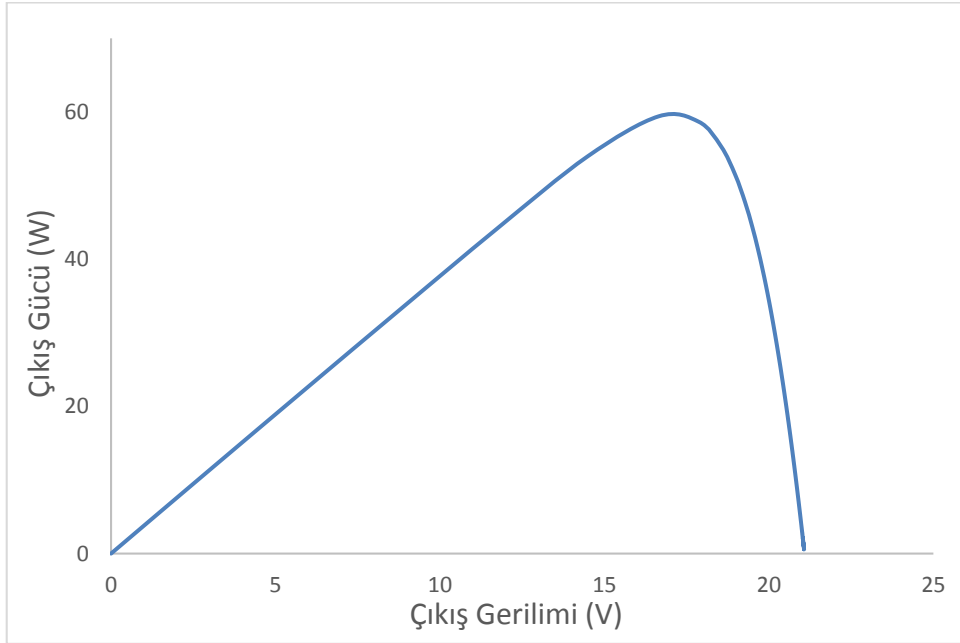


Şekil 2.16. Tek diyot devre modelinin SIMULINK ile modellenmesi.

Oluşturulan model sonucunda $G = 1000W/m^2$ ve $T = 25 + 273$ Kelvin değerleri için elde edilen I-V ve P-V karakteristik eğrileri sırasıyla Şekil 2.17 ve Şekil 2.18’de gösterilmiştir.



Şekil 2.17. $G = 1000W/m^2$ ve $T = 25 + 273$ K değerleri için I-V eğrisi.

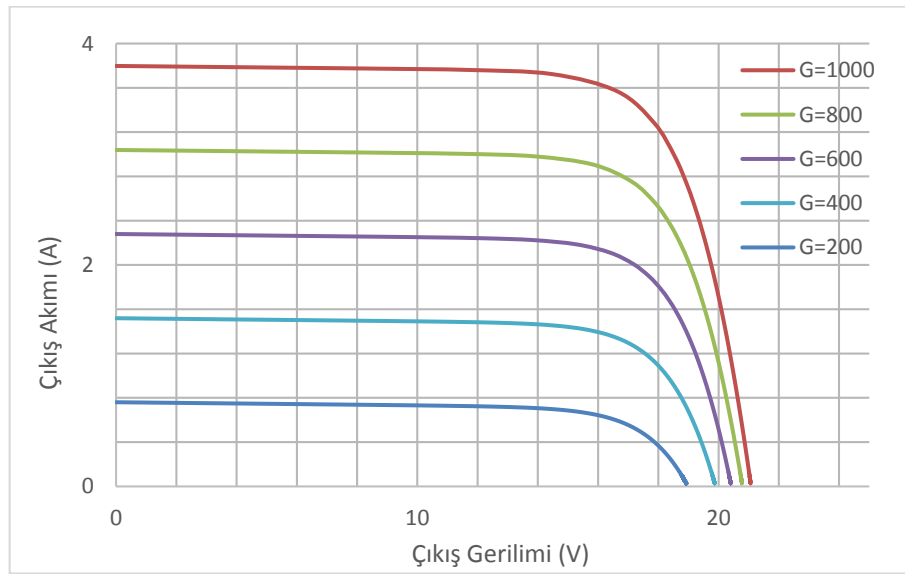


Şekil 2.18. $G = 1000W/m^2$ ve $T = 25 + 273$ K değerleri için P-V eğrisi.

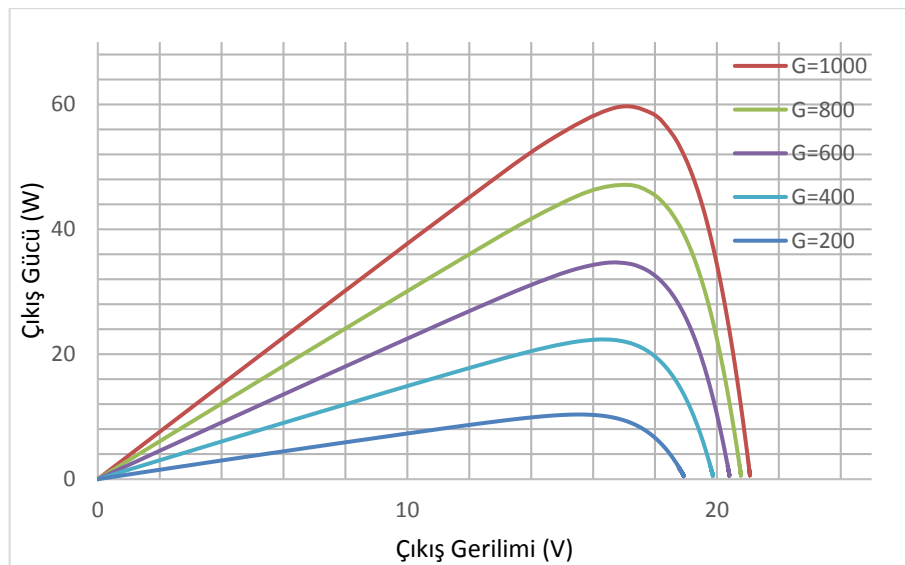
2.2.2 I-V ve P-V Eğrilerinin Parametrelere Göre Değişimi

Fotovoltaik sistemde kullanılan parametrelerin en uygun değerde olması sistemden maksimum gücü alabilmek için oldukça önemli bir unsurdur. Bu sebeple öncelikle çevre koşullarına yani ışınım miktarı G ve ortamın sıcaklığı T 'nin değişiminin I-V ve P-V karakteristik eğrilerine etkileri oluşturulan model ile izlenmiştir. Daha sonra üretici katalog verilerinde yer almayan R_s , R_p ve n değerlerindeki değişimlerin I-V ve P-V karakteristik eğrileri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2.2.2.1 Farkı Güneş Işınım Şiddetine Göre I-V ve P-V Eğrileri



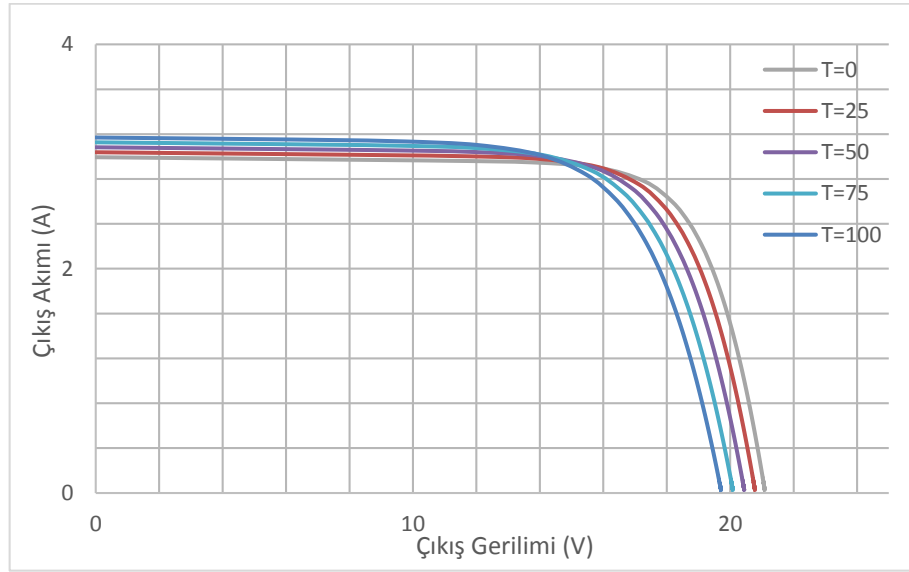
Şekil 2.19. I-V eğrisinin ışınlanma şiddetine bağlı grafiği.



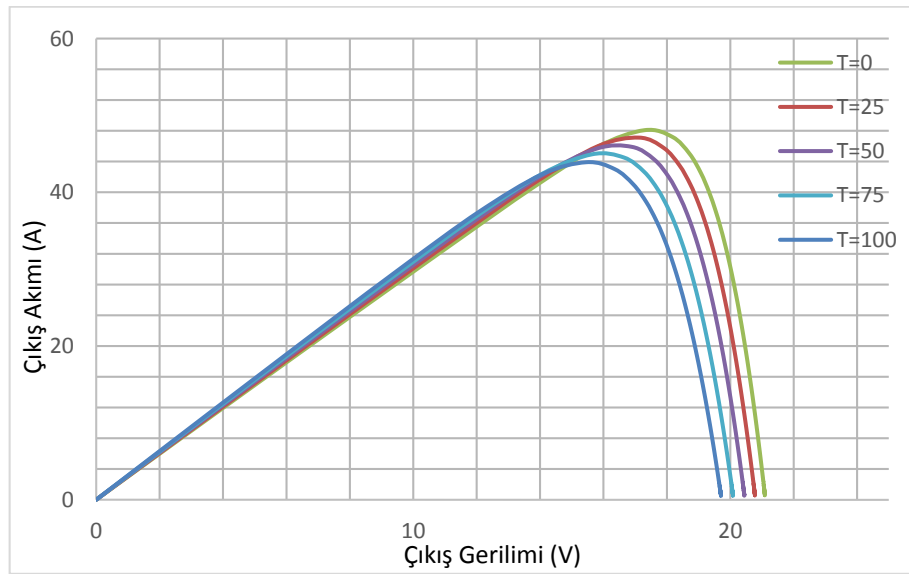
Şekil 2.20. P-V eğrisinin ışınlanma şiddetine bağlı grafiği.

Şekil 2.19 ve Şekil 2.20’de ışınım şiddeti miktarlarına bağlı olarak I-V ve P-V karakteristik eğrileri gösterilmiştir. Bu eğri grafiklerinden anlaşılacağı gibi ışınım şiddeti arttıkça akım ve gerilim değerleri, dolayısıyla çıkış gücü artış göstermektedir. Ancak gerilimdeki artışın akımdaki artışın yanında oldukça az olduğu gözlenmiştir (Joshi ve diğ. 2009).

2.2.2.2 Farklı Ortam Sıcaklıklarına Göre I-V ve P-V Eğrileri



Şekil 2.21. Sıcaklığa bağlı I-V eğrisi.

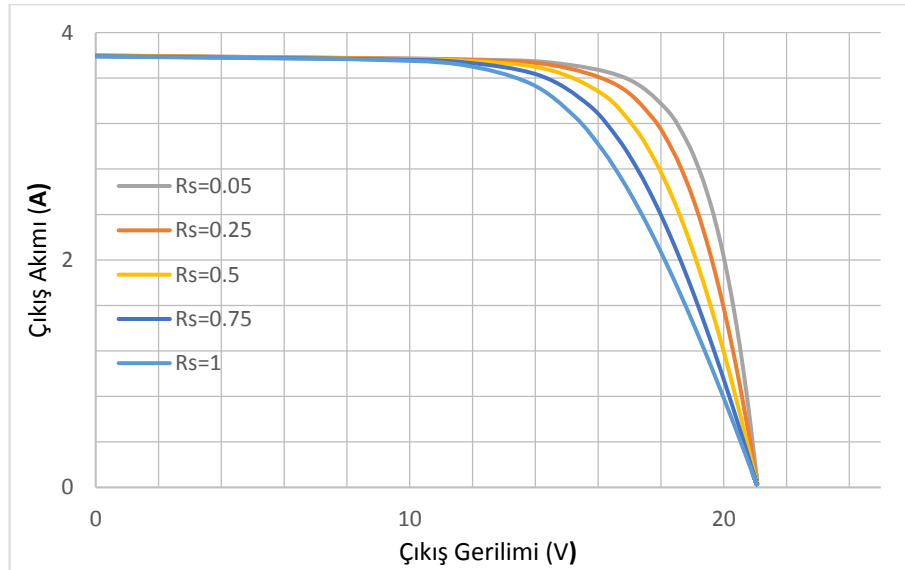


Şekil 2.22. Sıcaklığa bağlı P-V eğrisi.

Şekil 2.21 ve Şekil 2.22’de görüldüğü gibi sıcaklığın artması açık devre gerilimi V_{oc} ’nin düşmesine sebep olurken kısa devre akımını I_{sc} ’nin ise küçük bir miktarda azalmasına sebep olmaktadır. Ancak sıcaklık artışı, maksimum güç çıkış noktasını aşağı çekmektedir. Bu durum teorideki hesaplamalara uygun ve beklenen bir durumdur (Joshi ve diğ. 2009)

2.2.2.3 Farklı Seri Bağlı Direnç Değerlerine Göre I-V ve P-V Eğrileri

Seri bağlı direnç değeri üretici katalog bilgilerinde yer almayan, fakat sistem çıkış değerleri üzerinde etkisi olan bir parametredir. Bu parametresinin I-V ve P-V karakteristik eğrileri MATLAB/SİMULİNK ile oluşturulan model yardımıyla çizdirilir ise Şekil 2.23 ve Şekil 2.24 elde edilir.

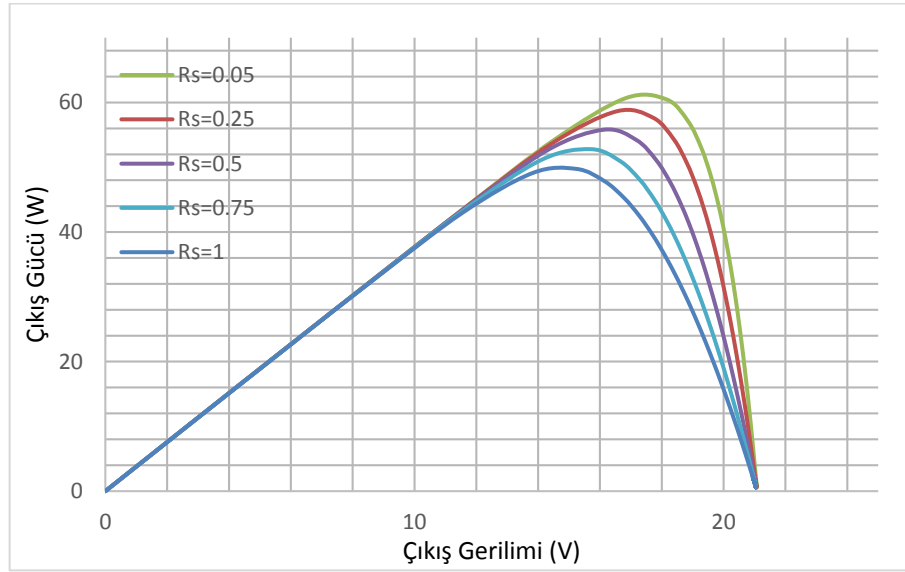


Şekil 2.23. I-V eğrisinin R_s değerine bağlı grafiği.

R_s değerinin küçülmesi Şekil 2.23’de görüldüğü gibi I-V karakteristik eğrisinin maksimum çıkış değerlerine yaklaşmasını sağlamaktadır. Bu durum fotovoltaik sistemin doldurma faktörünün artması yani veriminin artması anlamına gelmektedir. Dolum faktörü Eş. 2.17 ile gösterilir;

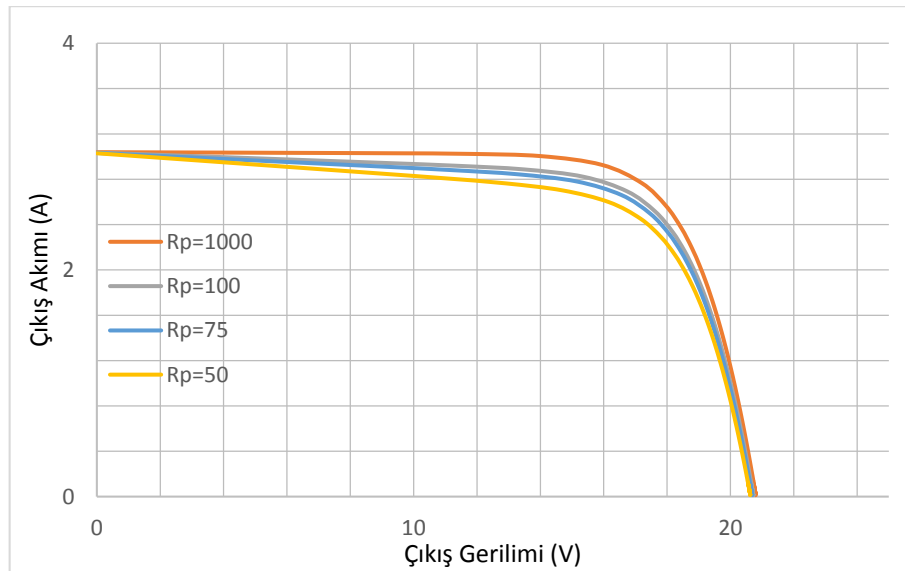
$$FF = \frac{P_{Max}}{V_{oc}I_{sc}} \quad (2.17)$$

Şekil 2.24'te de görüldüğü gibi R_s değerinin küçülmesi maksimum çıkış gücünün artmasına sebep olmaktadır.



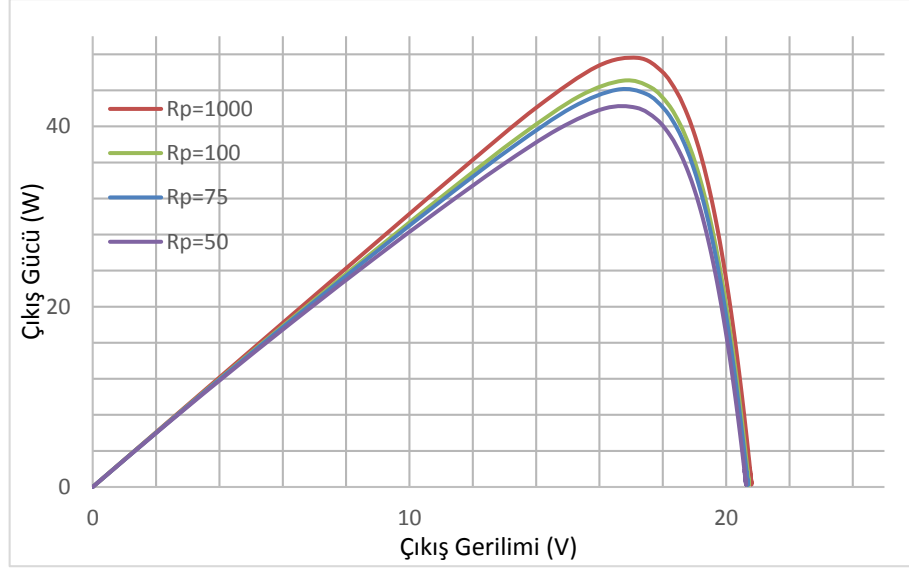
Şekil 2.24. P-V eğrisinin R_s değerine bağlı grafiği.

2.2.2.4 Farklı Paralel Bağlı Direnç Değerlerine Göre I-V ve P-V Eğrileri



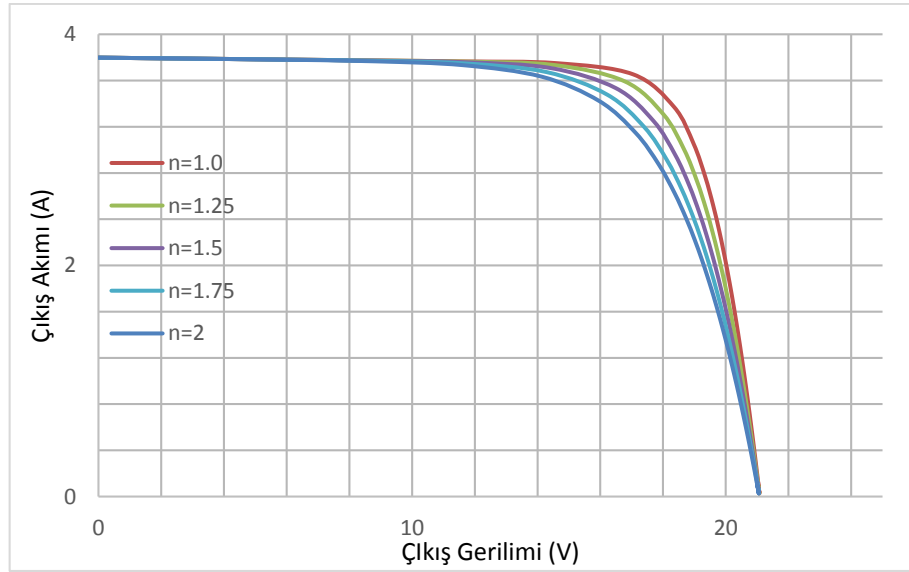
Şekil 2.25. I-V eğrisinin R_p değerine bağlı grafiği.

R_p değeri büyüdükçe Şekil 2.25 ve Şekil 2.26'da görüldüğü gibi çıkış değerleri artmaktadır. Ancak R_p direncinin değerleri grafikte gösterilen değerlerden çok daha büyük değerler aldığında sistemi olumsuz yönde etkilemeye başlar.

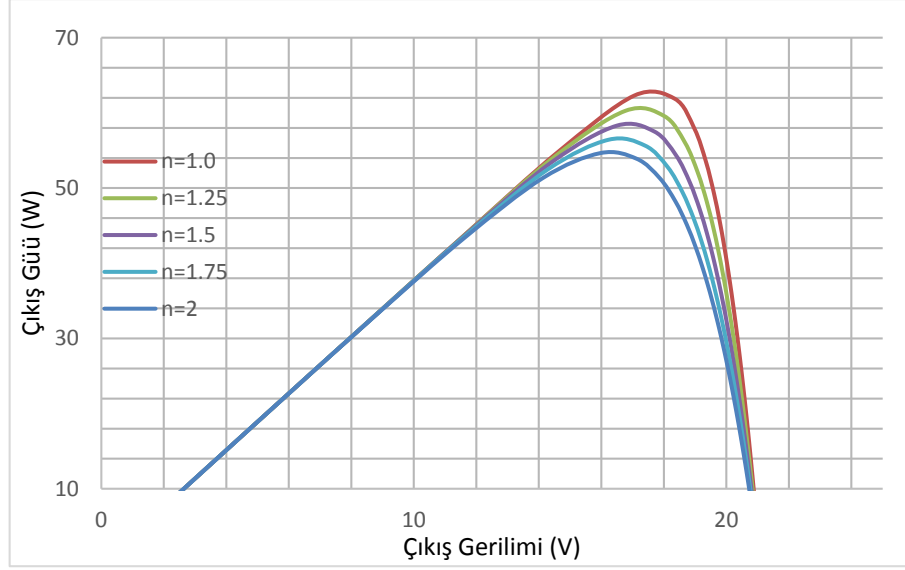


Şekil 2.26. P-V eğrisinin R_p değerine bağlı grafiği.

2.2.2.5 Farkı Diyot İdealite Faktörü Değerlerine Göre I-V ve P-V Eğrileri



Şekil 2.27. I-V eğrisinin Diyot İdealite faktörüne bağlı grafiği.



Şekil 2.28. P-V eğrisinin diyot idealite faktörüne bağlı grafiği.

İdealite faktörünün 1 ila 2 aralığında değerler alacağını bilmekle birlikte, değer in küçülmesinin FV panelin çıkış gücünü pozitif yönde etkilediği görülmektedir. İdealite faktörü kısa devre akımı ve açık devre gerilimi üzerinde bir etki oluşturmaya da büyüklüğüyle ters orantılı bir şekilde çıkış gücünü etkilemektedir.

MATLAB/SİMULINK modelinin sonucunda elde edilen grafiklerden görüldüğü gibi çıkış gücümüzü maksimum verimle alabilmek için katalog verilerinde yer almayan parametrelerin en uygun şekilde seçilmesi oldukça önemli bir noktadır. Bu sebeple bundan sonra ki iki bölümde öncelikle nümerik bir yöntemle parametre tahmini yapılmış daha sonrada tez çalışmasının ana konularını oluşturan Lambert W fonksiyonu ve genetik algoritma konusu anlatılmıştır.

2.3 SAYISAL YÖNTEMLERLE PV MODELİN PAREMETRELERİNİN BULUNMASI

2.3.1 Giriş

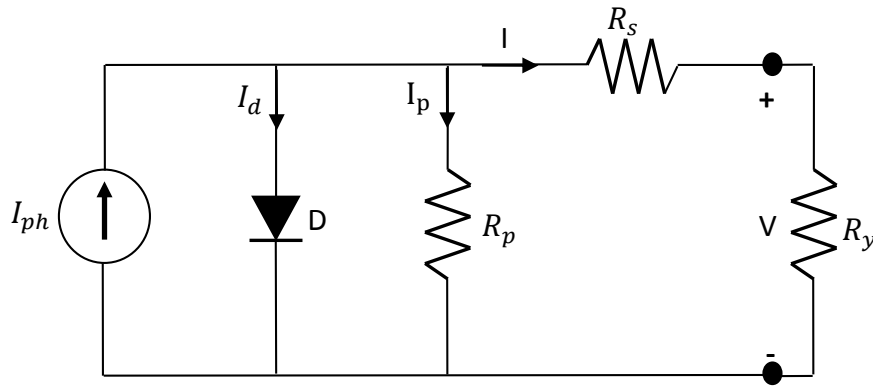
Bu bölümde, tezin önceki bölümlerinde elde ettiğimiz tek diyot devre modelinin matematiksel ifadelerinden hareket ederek, üretici katalog verilerinde yer verilmeyen parametrelerin sayısal bir yöntem yardımıyla bulunması ele alınmıştır.

FV hücrenin n , idealite faktörü, R_s , seri direnç ve R_p , paralel direnç değerlerindeki değişimlerin çıkış verimlilikleri üzerindeki etkileri daha önce verilmişti. Bu üç

parametreye bağılı olarak değişen I_{ph} fotoakımı ve I_0 diyot doyma akımı katalog verileri kullanılarak tahmin edilmesi çıkışa aktarılabilecek maksimum gücün elde edilmesini sağlayacaktır.

Bilinmeyen parametrelerin tahmini için ilk olarak Newton Raphson yöntemi uygulanmış, denklemlerin karmaşıklığından kaçınmak için bazı kabuller yapılarak denklemler basite indirgenmiştir.

Tek diyot devre modeli şekil 2.7 ile daha önceki tanıtılmıştır. Bu devre modeli üzerinde Kirchhoff'un akım ve gerilim yasaları kullanılarak elde edilen I-V ilişkisi Eş. 2.18 ile gösterilmiştir.



şekil 2.7. Tek diyot devre modeli.

$$I = I_{ph} - I_0 \left\{ e^{\frac{V+IR_s}{n_s V_t}} - 1 \right\} - \frac{V - IR_s}{R_p} \quad (2.18)$$

Burada n_s seri bağlı hre sayısını, V_t termal voltaj değerini gösterir ve V_t 'nin açılımlı Eş. 2.19 ile gösterilebilir.

$$V_t = \frac{k_B T n}{q} \quad (2.19)$$

2.3.2 Model Parametrelerinin Bulunması

Eş. 2.18 retici katalog verilerinde yer almayan beş adet bilinmeyen parametre içermektedir. Bunlar n, R_s, R_p, I_0, I_{ph} değerleridir. Bununla birlikte üretici katalog verilerinde I_{sc} , açık devre akımı, V_{oc} açık devre gerilimi, V_{mpp} maksimum gücü

noktasındaki gerilim değeri, I_{mpp} maksimum güç noktasındaki akım değeri verilmektedir. Ayrıca n_s seri bağlı hücre sayısı ve n_s paralel bağlı hücre sayısı değerleriyle birlikte K_i , açık devre akımı için sıcaklık katsayısı ve K_v , açık devre gerilimi için sıcaklık katsayısı değerleri de üretici katalog verilerinde yer alır. I-V karakteristik eğrisinden $(0, I_{sc})$, (V_{mpp}, I_{mpp}) , $(V_{oc}, 0)$ noktaları kolayca elde edilebilir.

İşlem sürecinden önce parametre tahmini için kullanılacak denklemleri basitleştirmemiz gerekmektedir. Bu yüzden Eş. 2.18’de üstel ifade, 1 değerinden çok daha büyük değerler üreteceğinden (-1) ifadesi ihmal edilebilir. Böylece Eş. 2.18 ifadesi;

$$I = I_{ph} - I_0 \left\{ e^{\frac{V+IR_s}{n_s V_t}} \right\} - \frac{V - IR_s}{R_p} \quad (2.20)$$

olur.

Toplamda beş adet bilinmeyen parametremiz olduğundan dolayı en az beş adet denkleme ihtiyacımız vardır. Gerekli olan beş denklemden üç tanesini I-V karakteristik eğriden elde edilen noktaları Eş. 2.20’de yerine konularak üç adet doğrusal olmayan denklem elde ederiz.

Gerilimin sıfır, akımın kısa devre akımına eşit olduğu $(0, I_{sc})$ noktasını Eş. 2.20’de yerine yazarsak;

$$I_{sc} = I_{ph} - I_0 \left\{ e^{\frac{I_{sc}R_s}{n_s V_t}} \right\} - \frac{I_{sc}R_s}{R_p} \quad (2.21)$$

elde edilir.

Aynı şekilde maksimum güç noktasındaki akım ve gerilim değerleri (V_{mpp}, I_{mpp}) Eş. 2.20’de yerine yazılırsa;

$$I_{mpp} = I_{ph} - I_0 \left\{ e^{\frac{V_{mpp}+I_{mpp}R_s}{n_s V_t}} \right\} - \frac{V_{mpp} - I_{mpp}R_s}{R_p} \quad (2.22)$$

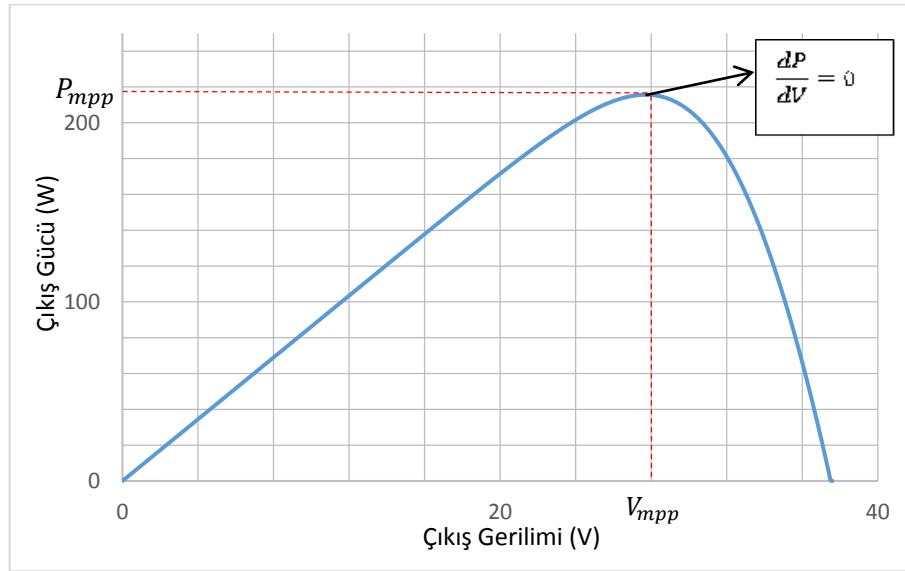
elde edilir.

Son olarak akımın sıfır olduğu, gerilimin açık devre akımına eşit olduğu ($V_{oc}, 0$) noktasını Eş. 2.20’de yerine konulursa;

$$0 = I_{ph} - I_0 \left\{ e^{\frac{V_{oc}}{n_s V_t}} \right\} - \frac{V_{oc}}{R_p} \quad (2.23)$$

İfadesi elde edilir.

Bu üç denklemin yanı sıra gücün, gerilime göre türevi maksimum güç noktasında Şekil 2.30’da gösterildiği gibi sıfıra eşittir.



Şekil 2.29. P-V Eğrisinde MPP noktasının eğim noktası.

Öyleyse dördüncü eşitliğimiz şu şekilde olabilir;

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad (V_{mpp}, I_{mpp}) \text{ noktasında} \quad (2.24)$$

Böylece gerekli beş denklemden dört tanesi elde edilmiş oldu.

Gerekli olan son denklem kısa devre akımı noktalarındaki ($0, I_{sc}$) değerlerinin eğiminden yani akımın gerilime göre türevinden elde edilir ve şu şekilde gösterilir;

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{1}{R_p} \quad (0, I_{sc}) \text{ noktasında} \quad (2.25)$$

Sonuç olarak beş denklem elde edilmiştir. Elde edilen beş denklemin simültane çözümünü yapmak için Çizelge 2.2’de verilen değişken değişimi yapılmıştır.

Çizelge 2.2. Değişkenler değişimleri.

I_{sc}	a_1	Kısa devre akımı
V_{oc}	a_2	Açık devre gerilimi
V_{mpp}	a_3	MPP noktasındaki gerilim
I_{mpp}	a_4	MPP noktasındaki akım
n_s	a_5	Modül içindeki seri bağlı hücre sayısı
I_{ph}	x_1	Fotoakım
I_0	x_2	Diyot doyma akımı
V_t	x_3	Termal gerilim
R_s	x_4	Seri direnç
R_p	x_5	Paralel direnç.
I	y_1	Çıkış akımı
V	y_2	Çıkış gerilimi
P	y_3	Çıkış gücü

Değişken değişimi tablosunda verilen değerler kullanılarak gerekli denklemler tekrar düzenlenirse,

Eş. 2.18 değişken değişiminden sonra Eş. 2.26 ile gösterilir;

$$y_1 = x_1 - x_2 \left(e^{\frac{y_2 + y_1 x_4}{a_5 x_3}} \right) - \frac{y_2 + y_1 x_4}{x_5} \quad (2.26)$$

Eş. 2.23 düzenlenirse;

$$x_1 = x_2 \left(e^{\frac{a_2}{a_5 x_3}} \right) + \frac{a_2}{x_5} \quad (2.27)$$

elde edilir.

Eş. 2.27 ifadesini Eş.2.26 ifadesinde yerine koyarsak;

$$y_1 = x_2 \left(e^{\frac{a_2}{a_5 x_3}} - e^{\frac{y_2 + y_1 x_4}{a_5 x_3}} \right) + \frac{a_2 + a_1 x_4}{x_5} \quad (2.28)$$

eşitliği elde edilir.

Aynı şekilde Eş. 2.27 ifadesini Eş. 2.21 ifadesinde yerine koyarsak;

$$a_1 = x_2 \left(e^{\frac{a_2}{a_5 x_3}} - e^{\frac{a_1 x_4}{a_5 x_3}} \right) + \frac{a_2 - a_1 x_4}{x_5} \quad (2.29)$$

denklemini elde edilir. Bu denklemde parantez içerisindeki ikinci ifade çözüm işlemini basitleştirmek için ihmal edilirse Eş. 2.30 elde edilir.

$$a_1 = x_2 \left(e^{\frac{a_2}{a_5 x_3}} \right) + \frac{a_2 - a_1 x_4}{x_5} \quad (2.30)$$

Eş. 2.30'un tekrar düzenlenirse,

$$x_2 = \left(a_1 - \frac{a_2 - a_1 x_4}{x_5} \right) \left(e^{-\frac{a_2}{a_5 x_3}} \right) \quad (2.31)$$

elde edilir.

Eş. 2.27 ve Eş. 2.30 ile elde ettiğimiz x_1 ve x_2 değerlerini Eş. 2.22 ifadesinde yerine koyup Çizelge 2.3'teki değişken değişimi yapılırsa,

$$a_4 = a_1 - \frac{a_3 + x_4 - a_1 x_4}{x_5} - \left(a_1 - \frac{a_2 - a_1 x_4}{x_5} \right) \left(e^{\frac{a_3 + a_4 x_4 - a_2}{x_5 x_3}} \right) \quad (2.32)$$

denklemini elde edilir.

Eş. 2.24'te verilen türev alma işleminden sonra değişken değişimi yapılırsa,

$$a_4 = \frac{a_3 B(e^D) + (a_3/x_5)}{1 + Bx_4(e^D) + (x_4/x_5)} \quad (2.33)$$

denklemini bulunur.

Burada,

$$B = \frac{a_1 x_5 - a_2 + a_1 x_4}{a_5 x_5 x_3} \quad (2.34)$$

ve

$$D = \frac{a_3 + a_4 x_4 - a_2}{a_5 x_3} \quad (2.35)$$

olarak tanımlanmıştır.

Benzer bir biçimde Eş. 2.25'deki türev alma işlemi Eş. 2.26 üzerinden uygulanırsa ve Eş. 2.31 eşitliği ile verilen x_2 değeri Eş. 2.25'te yerine konulursa,

$$\frac{1}{x_5} = \frac{B(e^E) + (1/x_5)}{1 + x_4 B(e^E) + (x_4/x_5)} \quad (2.36)$$

Eşitliğine ulaşılmış olunur. Bu eşitlikte;

$$E = \frac{a_1 x_4 - a_2}{a_5 x_3} \quad (2.37)$$

Bu denklemler tekrar düzenlenirse,

$$0 = x_1 - x_2 \left(e^{\frac{a_2}{a_5 x_3}} \right) + \frac{a_2}{x_5} \quad (2.38)$$

$$0 = x_2 - \left(a_1 - \frac{a_2 - a_1 x_4}{x_5} \right) \left(e^{-\frac{a_2}{a_5 x_3}} \right) \quad (2.39)$$

$$0 = a_4 - a_1 + \frac{a_3 + x_4 - a_1 x_4}{x_5} + \left(a_1 - \frac{a_2 - a_1 x_4}{x_5} \right) \left(e^{\frac{a_3 + a_4 x_4 - a_2}{x_5 x_3}} \right) \quad (2.40)$$

$$0 = a_4 - \frac{a_3 B(e^D) + (a_3/x_5)}{1 + Bx_4(e^D) + (x_4/x_5)} \quad (2.41)$$

$$0 = \frac{1}{x_5} - \frac{B(e^E) + (1/x_5)}{1 + x_4 B(e^E) + (x_4/x_5)} \quad (2.42)$$

Yukarda ki eşitlikler karmaşık oldukları için çözümleri sayısal yöntemler ile daha kolay biçimde yapılır. Sayısal yöntemler içinden Newton Raphson yöntemi bu denklemlerin simültane çözülmesi için uygun bir yaklaşımdır. Beş eşitlikten son üç tanesi, Eş. 2.40, Eş. 2.41 ve Eş. 2.42 , x_1 ve x_2 bilinmeyen parametrelerinden tamamen bağımsızlardır. Bu yüzden öncelikle, x_3, x_4, x_5 bilinmeyen parametrelerini içeren son üç eşitlik Newton Raphson yöntemiyle çözümlenip daha sonra ilk iki denklem yardımıyla x_1 ve x_2 değerleri hesaplanır.

2.3.3 Newton-Raphson Yöntemi

Bu yöntem doğrusal olmayan denklem sistemlerinin eş zamanlı çözümünde kullanılır. Newton Raphson yöntemi matematiksel ifadelerle anlatılmak istenirse örneğin;

$$f(x, y) = 0 \quad (2.43)$$

$$g(x, y) = 0 \quad (2.44)$$

Şeklinde lineer olmayan denklem takımı verilmiş olunsun. Sistemin çözümü $x = r$ ve $y = s$ ve tahmin edilen çözüm $x = x_0$ ve $y = y_0$ olsun. Her iki fonksiyon (x_0, y_0) civarında Taylor serisine açılırsa,

$$f(x, y) = f(x_0, y_0) + f_x(x_0, y_0)(x - x_0) + f_y(x_0, y_0)(y - y_0) + \dots \dots \dots \quad (2.45)$$

$$g(x, y) = g(x_0, y_0) + g_x(x_0, y_0)(x - x_0) + g_y(x_0, y_0)(y - y_0) + \dots \dots \dots \quad (2.46)$$

r ve s kök olduklarından fonksiyonları sağlarlar. Bu değerler Eş. 2.45 ve Eş. 2.46'da yerlerine yazılır ve birinci dereceden terimlerden daha yüksek dereceli terimler ihmal edilirse,

$$f + f_x(r - x_0) + f_y(s - x_0) = 0 \quad (2.47)$$

$$g + g_x(r - x_0) + g_y(s - x_0) = 0 \quad (2.48)$$

Matris formunda düzenlenirse,

$$\begin{bmatrix} f_x & f_y \\ g_x & g_y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r - x_0 \\ s - y_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -f \\ -g \end{bmatrix} \quad (2.49)$$

cebirsel denklem takımı elde edilir.

$$J = \begin{bmatrix} f_x & f_y \\ g_x & g_y \end{bmatrix} \text{ matrisi jakobyen matrisi olarak isimlendirilir.}$$

2.49 ile verilen denklem takımı çözülür, r ve s değerleri hesaplanır. (r,s) değerleri (x_0, y_0) değerlerine çok yakın oluncaya kadar iterasyon devam eder (Abbasbandy 2003).

BP 3235T 235W marka FV panelin üretici katalog verilerine dayalı olarak oluşturulan Newton Raphson işlem kodları EK1’de verilmiştir.

MATLAB kodlarının sonucunda elde bulunan parametre değerleri ve üretici katalog bilgileri Çizelge 2.3’te verilmiştir.

Çizelge 2.3. Katalog bilgileri ve bulunan parametreler

Katalog Bilgileri		Bilinmeyen/Bulunan Sonuçlar	
I_{sc}	8,59 A	I_{ph}	8.567 A
V_{oc}	37,7 V	I_0	0,728 A
V_{mpp}	29,38 V	n	1,523
I_{mpp}	8 A	R_s	0,291 Ω
n_s	60	R_p	506,014 Ω

FV sistemlerin matematiksel modelinin klasik hali üstel ve kapalı bir ifade olup karmaşık bir fonksiyon olduğu için çözümü ve parametrelerin bulunması uzun işlemler ve bazı kabuller içermektedir. Bu ifadeyi basitleştirmek ve açık ifade haline getirmek için Lambert W fonksiyonu kullanılmıştır(Jain ve Kapoor 2004) .

2.4 LAMBERT W FONKSİYONU VE FV DENKLEMLERİN DÜZENLENMESİ

Omega fonksiyonu olarak da bilinen Lambert W fonksiyonu kapalı fonksiyonları açık bir şekilde yazıp işlem kolaylığı sağlamak için kullanılan bir matematiksel ifadedir. Lambert W fonksiyonu Johann Lambert ve Leonhard Euler tarafından keşfedilmiş olup Eş.(2.49) ifadesiyle tanımlıdır (Weisstein 2012).

$$W(x) \exp[W(x)] = x \quad (2.50)$$

FV sistemlerin I-V karakterlerinin belirleyen ve Eş.(2.18) ile verilen denklem karmaşık bir denklem olup aşağıdaki gibi gösterilir;

$$I = I_{ph} - I_0 \left\{ \exp \left(\frac{V + IR_s}{n_s V_t} \right) - 1 \right\} - \frac{V - IR_s}{R_p}$$

Bu denklemi açık bir ifade haline getirmek için Lambert W fonksiyonu uygulandığında aşağıdaki denklemler elde edilir (Moldovan ve diğ. 2009);

$$I = \frac{R_p(I_{ph} + I_0) - V}{R_s + R_p} - \frac{nV_t}{R_s} W \left\{ \frac{R_s R_p I_0}{nV_t(R_s + R_p)} \exp \left[\frac{R_p (R_s I_{ph} + R_s I_0 + V)}{nV_t(R_s + R_p)} \right] \right\} \quad (2.51)$$

Benzer bir biçimde;

$$V = (I_{ph} + I_0 - I)R_p - IR_s - nV_t W \left[\frac{I_0 R_p}{nV_t} \exp \left\{ \frac{R_p (I_{ph} + I_0 - I)}{nV_t} \right\} \right] \quad (2.52)$$

denklemleri elde edilir.

Bu iki denklemden anlaşılacağı gibi akım ve gerilim ifadeleri ayrılmış ve işlem yapılmasını kolaylaştırmıştır.

Bu tez çalışmasında Lambert W fonksiyonu kullanılarak elde edilen Eş. 2.51 denklemi esas alınarak genetik algoritmalar yardımıyla bilinmeyen parametreler farklı çalışma koşullarına göre bulunmuştur.

2.5. GENETİK ALGORİTMALAR

2.5.1. Giriş

Genetik algoritmalar (GA) son zamanlarda yaygın biçimde kullanılan sezgisel ötesi bir yöntemdir. GA'lar problemi evrimsel bir sürece tabi tutarak çözüm elde etmeyi amaçlar. Darwin'in evrim kuramı göz önünde bulundurularak biçimlendirilen bu evrimsel bilgi işleme tekniği, kolay uygulanabilirliği ve esnekliğiyle geleneksel yöntemlerin çözmekte zorlandığı problemlerin çözümünde cazip hale gelmiştir (Melanie 1996).

Sezgisel algoritmalar bir çözüm uzayında yakınsama özelliği ile çalışırlar ancak en iyi ve kesin çözümü garanti edemezler. Gerçek dünya problemlerinde tercih edilme sebepleri; çözüm kalitesi ve hesaplama zamanı, kodlama basitliği ve gerçekleştirilebilirlik, esneklik, uygunluk, basitlik ve incelenebilirlik gibi konularda sunduğu üstünlüklerdir (Karaboga ve Ozturk 2011).

2.5.2. Genetik Algoritmanın Çalışma Şekli

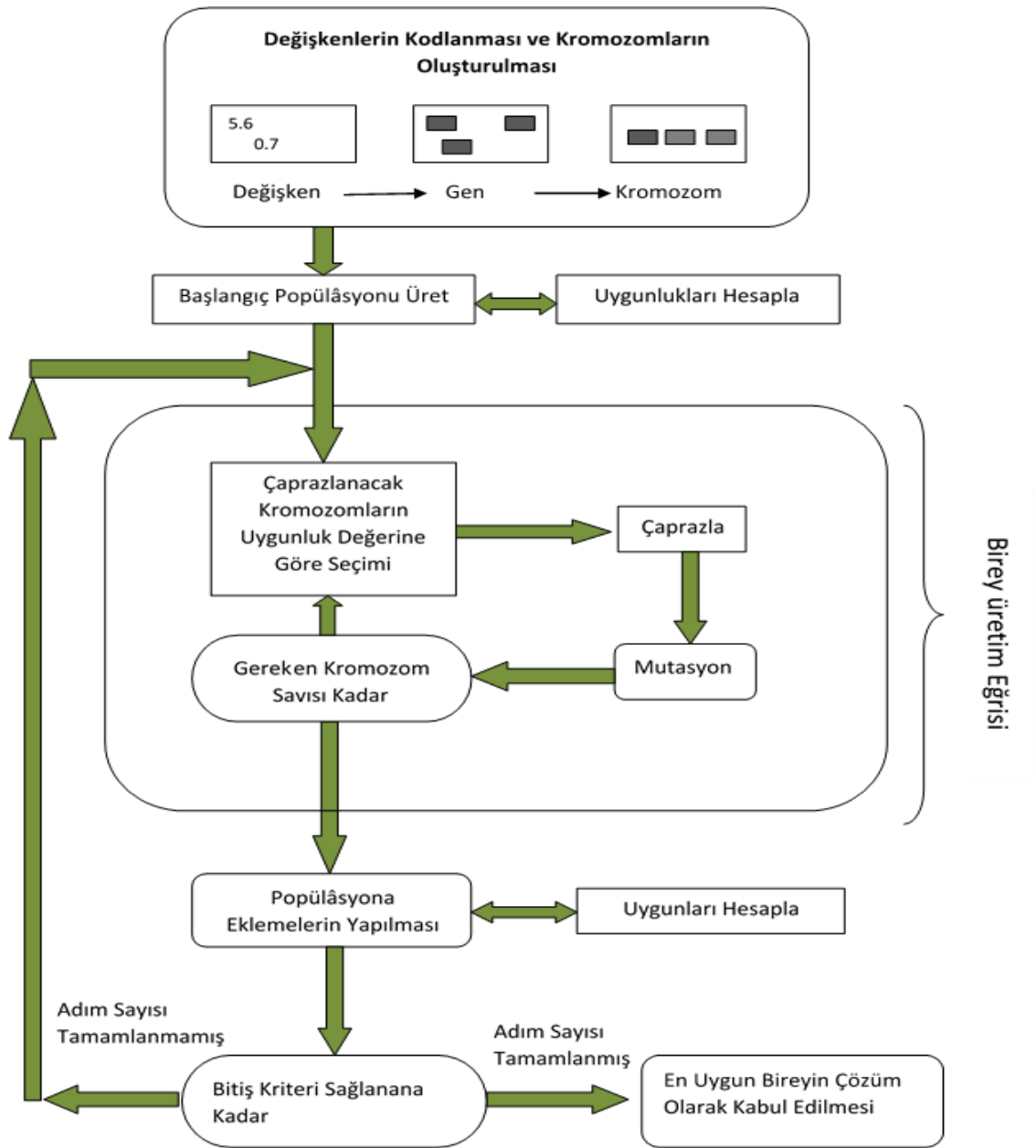
GA'lar çok değişkenli, çözümü zor ve zaman alıcı problemlerin global optimizasyonunu evrimsel süreç içerisinde çözümlenmeye çalışan stokastik temelli algoritmalarıdır. GA'lar yakınsama özelliğiyle en iyi çözümü aramaya çalışırlar.

GA'nın belirlenen bir başlangıç popülasyonu ile çalışmaya başlar. Algoritmanın temeli bu başlangıç popülasyonun kromozomlar veya stringler ile temsil edilen muhtemel çözümler olmasıdır. GA bu çözümler içindeki en uygun stringi bulmaya çalışır. Bu işlem rastgelelik prensibine göre işleyen bir seçim ile yapılır. Bu yapı GAların esnek ve tarafsız yapısının bir göstergesidir. Muhtemel çözümleri temsil eden stringler içinde buldukları popülasyonun bireyleri olarak düşünülür. GA'nın çözmesi istenen amaç fonksiyonunu sağlayan bütün çözümler bir çözüm uzayı oluşturur.

GA operatörleri kullanılarak adım adım yeni popülasyonlar oluşturur ve her adımda oluşturulan yeni popülasyonun uygunluk değerleri hesaplanır. Uygunluk değeri yüksek çıkan bireylerin seçilme şansları diğerlerine göre daha yüksektir ancak seçilmeleri garanti değildir. Seçilen bireyler eşleşme havuzuna atılır (Karaboğa 2004). Daha sonra belli oranlarda çaprazlama ile eşleşme havuzunda oluşturulan geçici popülasyon çaprazlanır. Çaprazlama oranı 0-1 arasında bir değer olup genellikle problemin tipine bağlı olarak değişir. Bu oran genellikle 0.6-0.8 aralığında alınır. Çaprazlama işleminden sonra elde

edilen popülasyon çok düşük mutasyon oranı ile mutasyona tabi tutulur. Mutasyon oranı oldukça düşük oranlar seçilir. Genellikle bu oran 0.01'den daha küçük değerlerde seçilir ve problemin tipine bağlıdır. Basit bir GA çalışma algoritması Şekil 2.30'da gösterilmiştir.

GA yöntemi uygulanırken temelde iki tür kodlama yapılır bunlar ikili sayı sisteminde ve reel sayılarda kodlamadır. İkili sayı sistemindeki kodlamada çok değişkenli problemlerin optimizasyonunda stringi uzunluğu çok büyüktür ve bu yöntem tercih edilmez. Ancak GA doğasına daha uygun bir kodlama biçimidir.



Şekil 2.30. Basit bir genetik algoritma akış diyagramı.

Basit bir genetik algoritmanın yapısı adım adım tanımlanırsa;

- Arama uzayının belirlenmesi
- Çözüm uzayının belirlenmesi ve çözüm uzayının genetik algoritmaya uygun şekilde stringlerin oluşturulması
- Rastgele bir başlangıç popülasyonunun üretilmesi
- Başlangıç popülasyonundaki tüm bireylerin uygunluk fonksiyonu ile test edilmesi
- Yeni popülasyonların oluşturulması için genetik işlemcilerin kullanılması

Kullanılan genetik işlemciler şu şekildedir;

→ Yeniden üretim

→ Seçim

→ Çaprazlama

→ Mutasyon

- Oluşturulan yeni popülasyondaki her bir birey için belirlenmiş uygunluk fonksiyonu ile uygunluk değerlerinin bulunması
- İterasyon sayısı tamamlanmamış ise işlemlerin tekrarlanması
- İterasyon sayısı tamamlandığında popülasyonun en uygun bireyinin seçilerek çözümün bulunması

GA'lar diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında bariz avantajlar içermektedir. Bu avantajlar şu şekilde sıralanabilir;

- Sürekli ve ayrık parametreleri optimize etmesi
- Türevsel bilgiler gerektirmemesi
- Amaç fonksiyonunu geniş bir spektrumda araştırması
- Çok sayıda parametrelerle çalışma imkânı olması
- Paralel PC 'ler kullanılarak çalıştırılabilmesi
- Karmaşık amaç fonksiyonu parametrelerini, lokal minimum veya maksimumlara takılmadan optimize edebilmesi

- Sadece tek çözüm değil, birden fazla parametrelerin optimum çözümlerini elde edebilmesi olarak sıralanabilir.

2.5.2.1 Şema Teoremi ve Çalışması

GA'ların çalışma şeklinin açıklanması için pek çok çalışma yapılsa da bu çalışmaların en bilineni John Holland tarafından ortaya atılan şema teoremidir. Şema ikili dizileri göstermek için kullanılan bir gösterim biçimidir. Bu yöntemle göre GA iyi yapılar ortaya çıkarır, çoğaltır ve birleştirir. Teoremi genel olarak açıklamak gerekir ise genel olarak bir genetik algoritma ikili kodlama sistemi üzerine çalışır. Bu kodlamalar doğal sistemlerdeki kodlamalar ile ilgilidir. Genetik algoritmalarda oluşan başarılı bireyler incelenirse, bu bireyler arasındaki benzerlikler bulunabilir. Bu benzerliklerden yola çıkarak şemalar oluşturulabilir. İkili dizi kodlaması 0, 1 ve * ifadelerinin kullanıldığı karakterlerden oluşur. Bir alt dizi belirli dizi kümeleri arasındaki benzerliği tanımlayan bir dizidir. Örneğin, bir H alt dizisi ilk konumunda 1, ikinci ve beşinci konumda 0 değeri olan bir kromozom kümesini tanımlıyor ise $H=01**1$ şeklinde gösterilebilir. * işareti o konumda dizinin hangi değeri aldığına önemsiz olduğunu gösterir. Eğer bir X dizisi, alt dizinin kalıbına uyarsa, X dizisine H'nin bir örneğidir denir. Alt dizilerin iki özelliği bulunur;

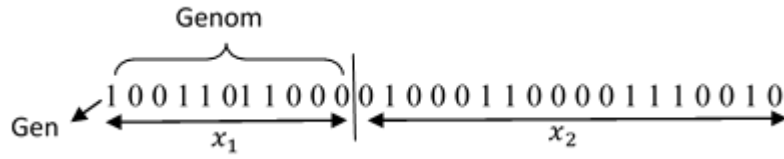
1. Alt dizi derecesi: Bir H alt dizisinin derecesi $o(H)$ ile gösterilir ve mevcut alt dizi kalıbında bulunan sabit konumların sayısıdır. Bu sayı ikili alfabe 0 ve 1 değerlerinin sayısının toplamına eşittir.

2. Alt dizi uzunluğu: Bir H alt dizisinin uzunluğu $\delta(H)$ ifadesiyle gösterilir ve mevcut alt dizi kalıbında bulunan belirli ilk ve son konumlar arasındaki uzaklıktır.

Alt dizi derecesi ve alt dizi uzunluğu kavramlarının GA'ların temel teoreminde son derece önemli bir yeri vardır. Alt dizi derecesi düşük, alt dizi uzunluğu kısa olan diziler "yapı blokları" olarak adlandırılır. John Holland, genetik algoritmaların işleyişinde uygun yapı bloklarının tanımlanmasını ve bu yapı bloklarının daha uygun yapı blokları elde etmek amacıyla birleştirilmesini önermektedir. Bu fikir yapı blokları hipotezi olarak bilinmektedir. GA'nın temel kuramı ise şöyle açıklanmaktadır (Emel 2002): Popülasyon ortalamasının üstünde uyum gücü gösteren, kısa uzunluğa ve düşük dereceye sahip alt diziler zamanın ilerlemesiyle üstel olarak çoğalırlar. Bu çoğalma, genetik operatörler aracılığı ile gerçekleşmektedir ve sonucunda ana-babadan daha üstün özellikler taşıyan bireyler ortaya çıkmaktadır. Bu çözüm kalitesinin kuşaktan kuşağa artması zaman içinde

hızlı bir iyiye gidiş de sağlayabilmektedir. GA'ların işleme adımları incelendiğinde bu nedenler daha iyi anlaşılacaktır. GA'lar yapısı gereği, kötü bireyleri yani uygun olmayan çözümleri, işlemcileri sayesinde elemektedir. Bu işlemler bir döngü içerisinde durdurma kriteri sağlanana kadar devam etmektedir (Emel 2002).

Eğer bir problemin çözülmesinde $x_1=1260$, $x_2= 35907$ iki değişkenli bir string olarak aşağıdaki gibi olur.

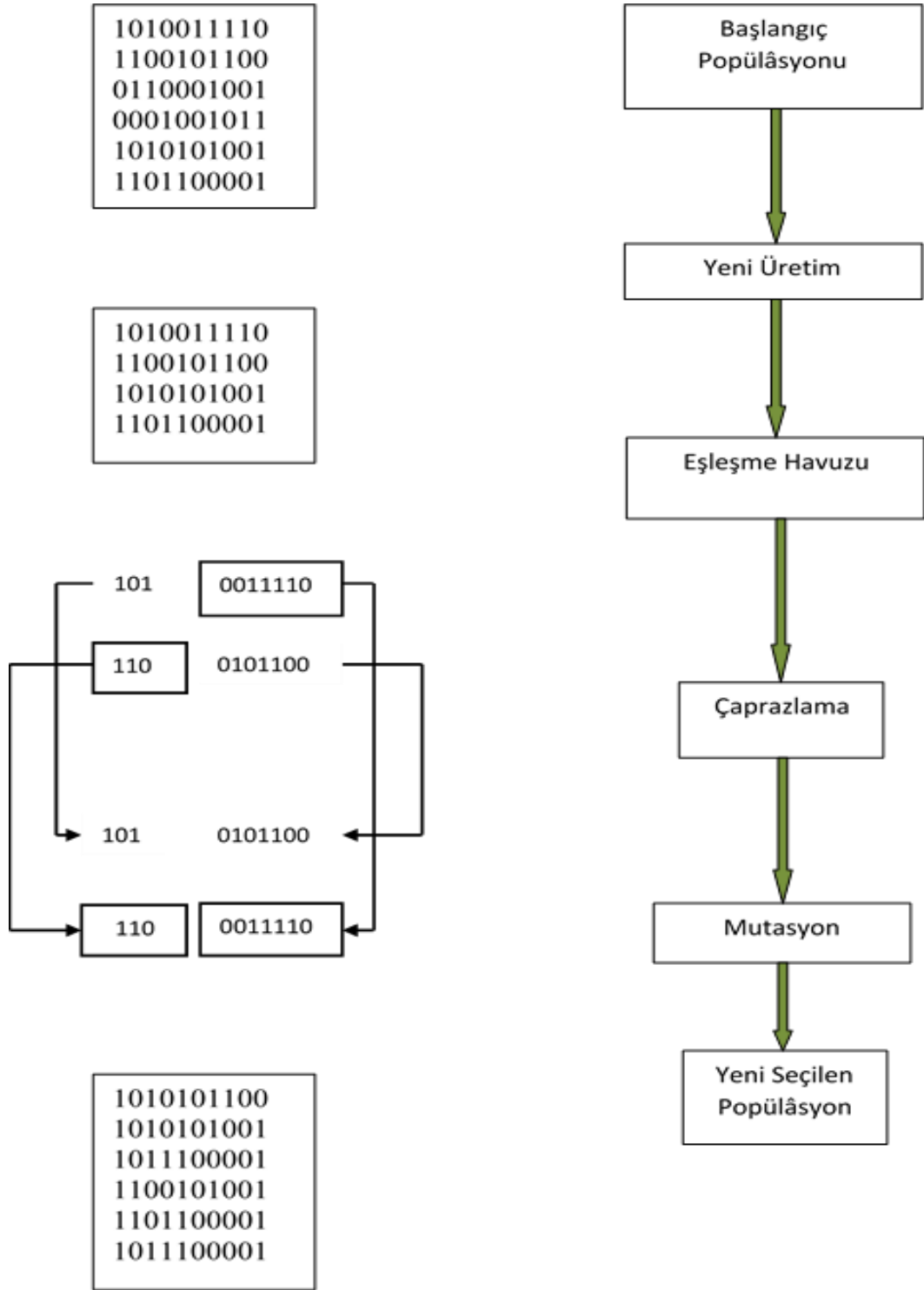


Şekil 2.31. İki değişkenli string yapısı.

Bu string, x_1 ve x_2 sırasıyla 10 ve 18 dijit (basamak) ya da bit ile temsil edilmiştir. Stringlerin en küçük yapı taşı olan bu ikili dijitlere bit denir. Bit sayısı kullanılan değişkenin büyüklüğüne göre değişir. Şekil 2.31'te 0 ve 1 ile temsil edilen her bir dizi elemanına gen adı verilmektedir. Daha önce açıklandığı gibi string' teki her bir gen, problemdeki bir değişkenini temsil eder ancak Şekil 2.31'te verilen string kendi başına bir şey ifade etmez. Bunların desimal sistemine çevrilmesi gerekmektedir.

Karar değişkenlerinin stringler ile kodlanmasından sonra popülasyonda bulunan her stringin uygunluğunun hesaplanması gerekmektedir. Popülasyondaki stringlerin uygunluğunun hesaplanmasına yarayacak bir amaç fonksiyonun olması gerekmektedir. Eldeki problemin türüne göre bir amaç fonksiyonu belirlenir ve amaç fonksiyonuna göre eldeki stringler ya hayatlarına devam ederler ya da popülasyondan silinirler. Uygunluk değeri yüksek olan stringlerin birçok nesil boyunca popülasyonda yer alma ihtimalleri daha yüksektir.

Aşağıda Şekil 2.32 ile iki tabanlı ve biyolojik evrimler arasındaki benzerlikler gösterilmiştir.



Şekil 2.32. Bir jenerasyon sonrası elde edilen yeni popülasyon.

2.5.2.2. Amaç Fonksiyonu ve Parametreler

Amaç fonksiyonu, giriş parametrelerine göre çıkış üreten bir fonksiyondur. Bu fonksiyon matematiksel veya deneysel olabilir. Burada amaç, giriş parametreleri için uygun değer bulununcaya kadar çıkış üretmektir. Örneğin banyo küveti doldurulurken farkında

olmadan optimizasyon yapılır. Giriş parametreleri, sıcak ve soğuk su çeşmeleridir. Amaç fonksiyonu burada deneysel olup el suyun içine sokularak küvetteki suyun sıcaklığı ayarlanır (Haupt 1998).

GA'ya, optimize edilecek parametre dizileri ve stringler tanımlanarak başlanır. Eğer bir problemin g_1, g_2, \dots, g_N olmak üzere N tane değişkeni var ise K stringi, N kadar ögesi bulunan ve her biri 0 ve 1 rakamlarından meydana gelen bir dizi şeklinde yazılır.

$$K = [g_1, g_2, \dots, g_N] \quad (2.53)$$

Örneğin; topoğrafik bir haritayı ele alalım. Amaç fonksiyonu giriş parametreleri, enlem (x) ve boylam (y) kabul edilirse, string = $[x,y]$ şeklinde tanımlanır. Burada $N = 2$ ' dir. Her bir string g_1, g_2 parametrelerinin değerlerine göre hesaplanır. Her stringe karşı gelen ve amaç fonksiyonlarında bulunan bir hedef değeri A vardır. Bu değerın tanımı;

$$A = a(K) = f(g_1, g_2, \dots, g_N) \quad (2.54)$$

şeklindedir.

Değişken sayısının çok fazla olması genetik algoritmanın verimli bir şekilde işlemesine engel olabilir. Önemli olan değişkenleri deneyimlerden faydalanarak, deneme yanılma yöntemleriyle mantık sınırları içerisinde seçebilmektir. Optimizasyon tekniklerin hemen hepsinde alt ve üst sınırları bulunur. Bu yüzden araştırmacının çözüme ulaştırmaya çalıştığı problemdeki değişen aralıklarını gerçekçi öngörüler çerçevesinde yapabilmesi problemin çözümü için önemli bir kıstastır.

Bağımlı parametreler, optimizasyon algoritmaları için özel problemler meydana getirir. Çünkü bir parametrenin değişimi diğer parametreleri de etkileyecektir. Örneğin; arabanın boyunu artırmak, ağırlığını da artıracaktır. Fourier serisi katsayılarında olduğu gibi bağımsız parametreler birbirlerini etkilemezler. GA literatüründe parametre etkileşimi, "epistasis" olarak adlandırılır. Biyolojide epistasis, genlerin birbirini etkilemesi olarak tanımlanır. Epistasis çok az olursa araştırma algoritmaları iyi sonuçlar üretir. GA'da Epistasis orta ve yüksek derecede olursa iyi sonuç vermektedir, çok yüksek veya çok düşük olursa iyi sonuç vermemektedir (Haupt 1998).

Bir optimizasyon probleminde en zor aşama amaç fonksiyonun belirlemektir. Burada soru hedefin bir mi yoksa daha fazla sayıda değişkene mi bağlı olacaktır.

Genetik algoritma popülasyonundaki her bir bireyin göreceli uygunluklarının hesaplanabilmesi için bunların mutlak uygunluk değerlerine yani amaç fonksiyonunda aldıkları değerlere ihtiyaç vardır. Amaç fonksiyonundan göreceli uygunluk değerlerini verecek bir fonksiyonun $d(x)$, bir şekilde elde edilmesi gereklidir. Bu iki fonksiyon arasındaki kapalı ilişkiyi,

$$d(x) = F[a(x)] \quad (2.55)$$

şeklinde gösterebiliriz. Burada, dönüşümü sonuçta göreceli uygunluk değerlerini veren F fonksiyonun değerleri tüm karar değişkenleri için mutlaka artı işaretli olmalıdır. Bu son ifadenin açık şekli, $d(x_i)$, i-inci karar değişkeninin göreceli uygunluk değeri olmak üzere;

$$d(x_i) = \frac{a(x_i)}{\sum_{j=i}^{N_k} a(x_j)} \quad (2.56)$$

şeklinde hesaplanabilir. Eş. 2.56'da N_k string sayısını göstermektedir. Aslında amaç fonksiyonu değerlerinin tümünün artı işaretli olması durumunda, göreceli uygunluk derecesi o kadar değişkenin popülasyon içinde bulunma olasılığını verir. Bu tanımın en büyük sakıncası amaç fonksiyonun eksi işaretli değerlerini dikkate almamasıdır. Amaç fonksiyonunda ortaya çıkabilecek eksiklikleri ortadan kaldırmak için başka göreceli uygunluk gösteriminin açık ifadesi;

$$d(x) = pa(x) + r \quad (2.57)$$

şeklinde verilir. Burada p ve r sırası ile ölçekleme ve öteleme katsayılarıdır. Optimizasyonun minimize olması durumunda p katsayısının işareti eksi, maksimize olduğunda ise artı olarak alınır. Ancak, r'nin değeri ortaya çıkacak uygunluk katsayılarının eksi işaretli olmaması içindir (Şen, 2004).

Yeniden açıklamak gerekirse uygunluk değeri genetik algoritmalarda başlangıç popülasyonundan rastgele seçilmiş ya da ilerleyen nesillerde oluşturulmuş stringlerin

yani bireylerin mevcut şartlar altından amaç fonksiyonu için ne kadar iyi bir çözüm olduğunun ölçüsüne uygunluk değeri denir. Uygunluk değeri uygunluk fonksiyonu ile hesaplanır. Bu hesaplama algoritmanın işlemesiyle eş zamanlı çalışmak zorunda ve her adımda çözümlerin uygunluklarını kontrol etmesi gerekir.

Bir stringin uygunluk değerinin hesaplanması temelde üç adımdan oluşan bir işlemdir. Bu adımlar sırayla aşağıdaki gibidir.

- i) String, şifre açılıp gerçek değerlere çevrilir
- ii) Çözüm değeri amaç fonksiyonunda yerine konular ve fonksiyonun verdiği sonuç hesaplanır.
- iii) Amaç fonksiyonun verdiği sonuç, uygunluk değerine dönüştürülür. Bu işlem uygunluk fonksiyonu ile uygulanır.

Çözümlerin başarısının ölçütü uygunluk testine dayandığı için bu testin düzgün bir şekilde yapılması oldukça önemlidir. Elde edilen ilk nesillerde uygunluk fonksiyonlarından elde edilen ham veriler çözüm için yeterli olsa da sürecin ilerleyen kısımlarında gelişmiş popülasyonlarla birlikte iyi çözümler arasındaki farkları ayırt etmekte zorlaşacaktır. Küresel optimizasyonun sağlanması için algoritmanın bulunduğu bazı iyi çözümler etrafında gezinip bir yerel optimum noktaya takılmasını engellemek gereklidir. Bunun için gerekli iraksama sağlanıp, geniş bir bakış açısı yakalanmalıdır. Bu nedenle uygunluk değerlerinde normalleştirme işlemine ihtiyaç duyulur.

2.5.2.3 Genetik Algoritmalarda Değişkenler

Genetik algoritmalar ikili sayı sisteminde geniş fakat sonlu çözüm uzayında işlem görürler. Çözüm uzayının genişliğinden dolayı, GA da kullanılacak değişkenlerin sonlu sayıda değerler alması oldukça fayda sayar. GA da kullanılacak bir değişken eğer sürekli ise algoritma işlemlerinden önce mutlaka ayrık hale getirilmelidir. Ayrıklaştırma işlemi için uygulanacak yöntemlerden biri değişkenin aralığı sonlu sayıda olacak şekilde alt aralıklara bölmektir. Bu aralıkların herhangi birine düşen değer bu aralığın orta noktası olarak kabul edilir. Bu yöntem optimizasyon yöntemlerinde en çok kullanılan ve onlara en uygun olan yöntemdir. Çünkü bu yöntemle ortaya çıkabilecek hata miktarı da en büyük olur. Bunun anlamı en büyük hataların iyice küçültülmesi, küçük olan hatalarında daha da azalması anlamına gelir.

Elimizdeki bir g_x değişkeninin ikili sayı sistemindeki kodlanmasını veya geri kodlamasını normalize etmek için kullanılan denklem aşağıda ifade edilmiştir.

$$g_{norm} = \frac{g_x - g_{ek}}{g_{eb} - g_{ek}} \quad (2.58)$$

Bu denklemde g_{eb} ve g_{ek} sırasıyla değişken değerin en büyük ve en küçük değerlerini göstermektedir. Bu ifade sayesinde değişken 0 ile 1 arasında ölçeklendirilmiştir. Bu işlem programlamanın yürütülmesinde ve yukarıda anlatıldığı gibi iraksamalardan kurtulmak için kullanılacak yöntemlerden biridir. Elde edilen değerin iki tabanlı sistemdeki karşıtını bula bilmek için aşağıdaki adımlar yerine getirilmelidir.

- a) Değişkenin kodlama işlemine öncelikle değişkenin kodlanacağı ikili kod sisteminde kodlanıp bit uzunluğunun belirlenmesiyle başlanır. Tek bir değişkene sahip bir stringimiz var ise bit uzunluğu yerine string uzunluğu ifadesi tercih edilebilir. String ya da bit uzunluğu problemin tipine bağlıdır ve bir sınırı yoktur ama genellikle çalışmalardaki iş yükünü hafifletmek için kısa olmaları tercih edilir. Bu uzunluğun artması daha detaylı ve sağlıklı sayı sistemiyle çalışmasını sağlar. Stringin bit sayısını arttırmak ve çalışmanın hassasiyetini arttırmak araştırmacının elde etmeye çalıştığı çözümler ve hassasiyetle alakalıdır.
- b) Elimizdeki değişkeni böleceğimiz aralık sayısı M olsun ve g_{norm} eşitliğinden elde edilen standart değişkenin değişim aralığı 1 olduğunda, bunun M ile bölümü ile bu değer Δu uzunluğunda eşit parçalara bölünmüş olunur.

$$\Delta u = \frac{1}{M} \quad (2.59)$$

- c) Standart değişken alt aralıklarının alt ve üst değerleri hesap edilerek Çizelge 2.4'te yerine konularak. Çizelge M=8 için verilmiştir. Her bir adımda aralık sayıları 0'dan başlamak şartıyla birer büyütölerek 8 olana dek bu işlem devam eder.

Çizelge 2.4. On ve iki tabanlı sayılar arası dönüştürücü [Şen 2004].

Aralık Sınırları	Aralık Sırası	İki Tabanlı Sayı
0 – 2/8	0	000
1/8 – 2/8	1	001
2/8 – 3/8	2	010
3/8 – 4/8	3	011
4/8 – 5/8	4	100
5/8 – 6/8	5	101
6/8 – 7/8	6	110
7/8 – 8/8	7	111

- d) Birinci ve üçüncü karşılıklı olarak standart veri değerlerinin ikili sistemde neye karşılık geldiğini gösterir. Böylece, tüm standart değerler ikili sayılarla temsil edilmiş hale gelir.
- e) Üçüncü satırdaki ikili sayıya birinci sütünde karşılık gelen aralığa düşen çok sayıda değer bulunur. Yani birebir ilişki bulunmaz. Bu sorunu gidermek için ikili sayıya birinci sütunda karşılık gelen aralığın ya alt sınır değeri ya orta sınır değeri ya da üst sınırına geldiği kabul edilmelidir.
- f) İkili sayı sisteminde aralık sayısı M arttıkça önceki adımda belirtilen yaklaşıklık azalır lakin hesaplama miktarı oldukça artar.

GA genellikle ikili sayı sistemiyle çalışırlar fakat amaç fonksiyonunda desimal sayı sistemine gerek vardır.

2.5.2.4. Popülasyon Oluşturulması ve Genetik İşlemler

GA'nın çalışma prensibi sürekli yeni ve daha iyi çözümlere yönelmeye dayalıdır. Bu yüzden nesilden nesile daha iyi çözümlerin elde edilmesi oldukça önemli bir kısıttır. Her üretilen yeni nesil baştaki nesille aynı sayı ve uzunlukta olmak zorundadır. Üstün bireylerin sürekli olarak popülasyonda daha zayıf ve kötü kalan bireylerin yerine geçmesiyle oluştuğu düşünülen bu yeni popülasyon oluşturma işlemi aslında bir çok aşamadan meydana gelir. Her bir aşama farklı bir genetik işlemci vasıtasıyla gerçekleştirilir. Her bir aşama birbiriyle bağlantılıdır ve bir aşamanın sonu başka bir aşamanın başlangıcını oluşturur.

a) Yeni Üretim ve Seçim

Yeni üretilecek neslin hazırlanmasında kullanılacak bireylerin seçilerek eşlenme havuzu içinde toplanması sağlanır.

Eski popülasyonun ardından yenisini oluşturmak birkaç farklı şekilde olabilir: Bu yeni oluşturulan popülasyondaki bireyler eski popülasyondaki bireylerin yerlerini tamamen alabilir ya da eski popülasyondaki bazı belirli bireyler ile yeni oluşturulan bireylerin bir kısmı yer değiştirebilir. Bu yöntemler ilerleyen kısımlarda ayrıntılı bir şekilde anlatılacaktır.

Genetik algoritmalarda, yeniden üretim seçim işlemi algoritmanın içine yerleştirilmiştir ve algoritmayla eş zamanlı çalışır. Yeni üretim işlemcisi, doğal seçim işlemini algoritmaya uygulayan işlemcidir. Uygunluğu, kalitesi yüksek olan bireylerin popülasyonda hayatta kalmaları ve sayılarının çoğalması, uygunluğu düşük, kalitesiz bireylerin popülasyondaki sayılarını azaltarak popülasyonun bunlardan nesilden nesile kurtulması ilkesine göre çalışan genetik algoritmalarıdır. Kalite durumlarına göre bir sonraki yeni nesillerin üretilmesi için eşleşme havuzuna seçilecek bireylerin belirlenmesi bu aşamada bu işlemci vasıtasıyla yapılır.

GA'nın çözüme ulaşmasında oldukça önemli olan genlerin bazıları, popülasyondaki tüm kromozomların o bölgede o geni taşımadıkları durumda kaybolabilirler. Bu da seçim esnasında o geni taşıyan kromozomların seçilmemesinden kaynaklanır. Seçimin bu belirleyici özelliğinden dolayı seçim için birçok yöntem geliştirilmiştir.

Seçim işleminde genellikle kullanılan dört çeşit yöntem bulunur (Rawlins 1991).

1. Oransal Seçimler
 - a) Rulet Tekerleği
 - b) Stokastik Genel Seçim
 - c) Stokastik Kalan Seçimi
2. Sıralama Seçimleri
 - a) Doğrusal Sıralama seçimi
 - b) Üstel Sınırlama Seçimi
3. Yarışma Seçimleri
 - a) İkili Yarışma Seçimi

b) Geniş Yarışma Seçimi

4. Sabit Durum Seçimi

1. Oransal Seçimler

Çözümlerin uygunluk değerlerinin büyüklüğü ile doğru orantılı olarak seçilme olasılığı kazandıkları seçimler oransal seçimler olarak isimlendirilir. Oransal seçimler içinden en çok kullanılan yöntem olan rulet tekerleği yöntemi burada anlatılacaktır.

a. Rulet Tekerleği

Rulet tekerliği seçiminde, rulet birey sayısı kadar dilime bölünür ve her bir dilim bir bireyin seçilme olasılığı gösterir. Her bireyin uygunluk değeri toplam uygunluk değerine bölünerek, rulette yüzdelik dilim olarak alacakları dilim büyüklüğü belirlenir. Ancak doğal olarak bu işlemde gerçek bir rulet tekerleği kullanılmaz. Bunun yerine uygunluk olasılıkları değerleri oluşturulan değerler olasılıkların birikimli olarak arttığı bir tabloda toplanır. Daha sonra rastgele seçimler yapılarak, birikimli dizilişte hangi aralığa denk geliyorsa aralığın üst sınırındaki çözüm seçilir.

2. Sıralama Seçimleri

Sıralama seçimlerinde, çözümlerin uygunluk değerlerinin büyüklüklerine göre sıralanmasından sonra, elde edilen sıralamadaki yerleriyle orantılı olarak seçilme olasılığı kazanırlar.

3. Yarışma seçimleri

Yarışma seçimlerinde popülasyondan rastgele bir grup kromozom seçilir. Grup içindeki kromozomlar kendi içlerinde uygunluk değerleri üzerinden bir yarışmaya tabi tutulur ve en iyi uygunluk değerine sahip kromozom ebeveyn olarak atanır. Bu işlem popülasyon genişliğine ulaşınca kadar devam eder.

4. Sabit Durum Seçimi

Sabit durum seçim yöntemi bireyden bireye teker teker çalışan bir yöntemdir. Yöntemde doğrusal sıralama yöntemi ile çaprazlanacak bireyler seçilir. Bu bireylerden oluşturulan yavrular, nesildeki en kötü bireyler ile yer değiştirir (Rawlins 1991).

Rulet Tekerliği seşiminin, uygunluk değerleri arasında büyük farklar olduğu durumda, küçük uygunluk değerlerine sahip kromozomların pek şans tanınmaması onu bazı durumlarda elverişsiz kılmaktadır. Ayrıca oransal seşimlerin diğer üç türden belirgin bir şekilde yavaş olduğu görülmüştür. İkili yarışma ve doğrusal sıralama seşimlerinin ise büyük ölçüde benzer davranışlar sergiledikleri ancak zaman konusunda ikili yarışma seşimlerinin daha üstün olduğu görülmüştür (Rawlins 1991).

b. Elitizm

Bazı durumlarda, genetik işlemciler işletilirken mevcut nesildeki en iyi uygunluk değerine sahip bireyler bir sonraki nesil içerisinde yer almadan popülasyondan çıkarılmak zorunda kalırlar. Bunun önüne geçmek için elitizm dediğimiz neslin en iyi birkaç bireyinin her hangi bir çaprazlanma ve ya mutasyon gibi işlemlere maruz kalmadan bir sonraki nesle direkt aktarılması söz konusudur.

Elitizmin uygulanmadığı genel standart genetik algoritmalarda çaprazlanma ve mutasyon işleminden sonra yeni çocuk bireyler popülasyona dahil edilmektedir. Yeni nesil oluşturulurken eski nesille aynı uzunlukta olması istenir ve ebeveynler kadar çocuk birey oluşturularak eski ve yeni nesil yer değiştirir. Yani her bir birey sadece bir nesil boyunca hayatını sürdürüp yerini sonraki nesle bırakarak işlem dışı kalır. Fakat bazı durumlarda iyi uygunluk ve kalite değerine sahip ebeveynler kaliteli çocuklar üretmeden popülasyondan ayrılmak zorunda kalırlar buda faydalı bilgilerin kaybolması anlamına gelir.

Elitizm uygulanarak her daim bir neslin en iyi bireylerin bazıları saklanarak, yeni neslin en kötü uygunluk gösteren çocuklarıyla yer değiştirerek kaliteli bireylerin tek bir nesilde yer almasında bu bireylerden dahi iyi bireyler üretilene kadar popülasyondaki konumlarını korurlar.

2.5.2.5. Genetik Algoritmalarda Çaprazlama

Çaprazlama genetik algoritmalarda kullanılan en önemli mekanizmadır. Çaprazlamadaki amaç popülasyon içerisindeki iyi özellikli bireylerden daha iyi çözümler bulan bireylerin yaratılmasıdır. Uygulamada çok fazla çaprazlama yöntemi olmakla beraber hepsinde yeni birey oluşturmak için ebeveyn kromozomları arasında gen alış verisi yapılır.

a. Binari Çaprazlama

Kromozomdaki genleri ifade etmek için sadece binari sayılar kullanıldığı için bu çaprazlama binari çaprazlama adını alır.

1. Tek Noktalı Çaprazlama

Bu metot rastgele seçilen bir çaprazlama noktasından itibaren önceki veya sonraki genlerin yerlerinin değiştirilmesi işlemidir. Eslesen iki kromozomda, bu çaprazlama noktasının sağında kalan bölümlerin yeri değiştirilerek yeni kromozomlar elde edilmiş olur.

Çaprazlama işleminde göz önünde bulundurulması gereken husus çaprazlama noktasının seçimidir. Çaprazlama noktasının yeri oluşacak yeni kromozomların ebeveynlerinden ne kadar farklı olacağını gösterir.

E1:	1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 1	0 1 0 0 1
E2:	0 0 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1	0 1 0 1 0

Tek noktalı çaprazlamadan sonra oluşan yeni bireyler;

E1*:	1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 1	0 1 0 1 0
E2*:	0 0 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1	0 1 0 0 1

Şekil 2.33. Tek noktalı çaprazlama.

2. Çift Noktalı Çaprazlama

Bu metotta tek noktalı çaprazlamadan farklı olarak çaprazlama için iki adet çaprazlama noktası belirlenir ve daha sonra eşleşen iki kromozom bu çaprazlama noktaları arasında kalan bölümleri yer değiştirilerek yeni kromozomlar elde edilir.

Çift noktalı çaprazlamaya örnek aşağıdaki şekilde verilmiştir;

E1:	1 0 1 1 1 0	0 0 1 1 0	1 0 1 0 0 1
E2:	0 0 1 1 0 1	1 1 0 0 0	1 0 1 0 1 0

E1*:	1 0 1 1 1 0	1 1 0 0 0	1 0 1 0 0 1
E2*:	0 0 1 1 0 1	0 0 1 1 0	1 0 1 0 1 0

Şekil 2.34. Çift noktalı çaprazlama.

3. Çok Noktalı Çaprazlama

Çok noktalı çaprazlama yönteminde eşleşen iki kromozom arasında iki ve ya daha fazla farklı yerlerinden çaprazlanarak yapılan işlemdir. Bu işleme örnek aşağıdaki örnekte verilmiştir.

E1:	1 0 1	1 1	0 0 0 1	1 0 1	0 1 0 0	1
E2:	0 0 1	1 0	1 1 1 0	0 0 1	0 1 0 1	0

E1:	1 0 1	1 0	0 0 0 1	0 0 1	0 1 0 0	0
E2:	0 0 1	1 1	1 1 1 0	1 0 1	0 1 0 1	1

Şekil 2.35. Çok parçalı çaprazlama.

4. Düzgün Çaprazlama

Düzgün bir çaprazlamada ilk yapılması gereken bir çaprazlama maskesinin tanımlanmasıdır. Tek ve çok noktalı çaprazlamalarda rastgele çaprazlama noktası seçilmekteydi. Düzgün çaprazlamada ise her nokta bir çaprazlama noktası olarak alınır ve ebeveyn kromozomlara eşit uzunlukta maskeler kullanılır. Maske rastgele üretilen bitleri içerir. Birinci yeni birey için bir maske üretilmede, ikinci yeni birey için bu maskenin tersi alınmaktadır. Bir düzgün çaprazlama örneği aşağıda verilmiştir. Yeni

bireyler oluşturulurken, maskedeki 1'ler için birinci ebeveynin bitleri 0'lar için ikinci ebeveynlerin bitleri kullanılarak yeni bir kromozom dizisi oluşturulur.

Düzgün çaprazlamaya örnek Şekil 2.36 ile gösterilmiştir.

E1:	1 0 1 1 1 0 0 0 1 1 0 1 0 0 1
E2:	0 0 1 1 0 1 1 1 0 0 0 1 0 1 0
M1:	0 0 1 0 1 1 1 0 0 1 0 0 1 1 0
M2:	1 1 0 1 0 0 0 1 1 0 1 1 0 0 1
E1*:	0 0 1 1 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 0
E2*:	1 0 1 1 1 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1

Şekil 2.36. Düzgün çaprazlamada kullanılan maske ve oluşturulan yeni bireyler.

5. Gerçel Sayı Çaprazlanması

İkili sayı kodlamasının yanı sıra gerçel sayılar üzerinden den çaprazlama işlemi yapılabilir. Bu çaprazlama yönteminde ebeveynler parametrelerini ayrılarak her bir parametre etiketlenir ve aşağıda verilen formül ile çaprazlanırlar. P1, P2, R1, R2 değerleri ebeveynlerin etiketlenmiş parametrelerini ifade ederken PY1, PY2, RY1, RY2 ise yeni üretilen bireyler için etiketlenmiş parametreleri ifade ederler. "r" 0 ile 1 aralığında rastgele seçilen bir sayıdır.

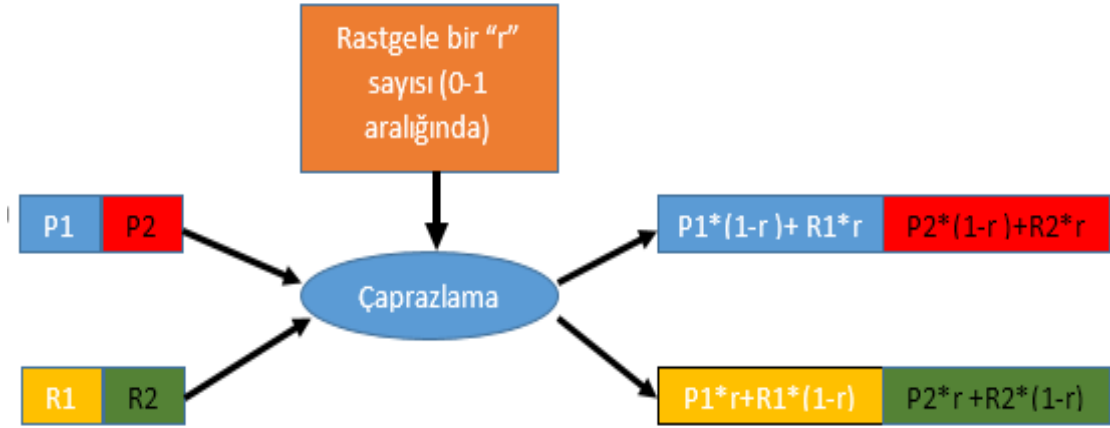
$$PY1 = P1*(1-r) + R1*r$$

$$PY2 = P2*(1-r) + R2*r \quad (2.60)$$

$$RY1 = P1*r + R1*(1-r)$$

$$RY2 = P2*r + R2*(1-r)$$

Seçilen iki ebeveyn bireylerin çaprazlanması aşağıdaki şekilde grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.37. Gerçel sayı çaprazlanması formülasyonu.

Gerçel sayı çaprazlanmasına bir örnek verilmek istenirse;

$r = 0.55$ rastgele seçimi yapıldı varsayalım,

E1=	5.2	4.8
E2=	2.5	3.4

E1*=	2.62	3.05
E2*=	2.41	2.71

Şekil 2.38. Gerçel sayı çaprazlanması.

2.4.3.6. Genetik Algoritmalarda Mutasyonu

Genetik algoritmalarda mutasyonun amacı popülasyon içerisindeki birey çeşitliliğini arttırmaktır. Oluşturulan başlangıç popülasyonu ya da evrim süreci içinde bireylerin birbirlerine çok yaklaşmaları gibi durumlar popülasyon içerisinde çeşitliğin azalmasına yol açar. Çeşitliğin sağlanması ve korunması için çaprazlama işlemlerinden sonra ya da bazı durumlarda çaprazlamadan önce bireyler mutasyona uğratılabilirler. Yaygın kullanım şekli mutasyon işleminin çaprazlanma işleminden sonra yapılmasıdır. Mutasyon sayesinde popülasyondaki bireylerin yerel minimum noktalarına takılması engellenebilir.

Mutasyon işleminde yeni üretilmiş bireylerin değişkenleri mutasyon oranı denilen küçük bir olasılık ile değişime uğratılır. Mutasyon biçimi bireylerin kodlama biçimiyle bağlantılıdır. Gerçel kodlamada, bireyin mutasyona uğratılacak parametrelerine çok

küçük bir sayı olan mutasyon olasılıklar eklenir ve ya çıkartılır. İkili kodlamada ise bitlerin tek tek mutasyon olasılıklarına göre tersi alınarak kromozom mutasyona uğratılır.

Değişken sayısı arttırıldıkça mutasyon oranı azalmaktadır yani mutasyon oranı değişken sayısı ile ters orantılıdır. Mutasyon oranını belirleyen kesin bir kıstas olmamakla birlikte yapılan çalışmalarda mutasyon oranı 0.1 ile 0.001 arasında değerler aldığı gözlenmiştir.

1. İkili Kodlamada Mutasyon

Mutasyon işlemi ikili kodlamada mutasyona uğratılacak bitin tersinin alınmasıyla gerçekleşir. Popülasyondaki bireylerin hangilerinin mutasyona uğratılacağı mutasyon oranı yardımıyla belirlenir. Kromozomdaki her bir bireye $[0,1]$ aralığında rastgele değerler atanarak, bu atanan değerler önceden belirlenmiş mutasyon oranıyla karşılaştırılır. Eğer rastgele atanan bit değerleri mutasyon oranından küçük ise bu bitin tersi oluşturularak birey mutasyona uğratılmış olur

2. Gerçel Kodlamada Mutasyon

Gerçel kodlamada mutasyon tıpkı ikili kodlamada olduğu gibi bitlere rastgele atanan mutasyon olasılıklarıyla daha önceden belirlenmiş mutasyon oranının karşılaştırılması ile başlanır. Gerçel kodlamada ikili kodlamadan farklı olarak mutasyon olasılığı mutasyon oranından küçük çıkan değere mutasyon oranı eklenip çıkartılarak mutasyon işlemi gerçekleştirilir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmanın bu bölümünde Bölüm 2’de anlatılan metotlar yardımıyla tek diyot devre modeli FV modülün parametrelerin bulunması işlemlerinde elde edilen sonuçlar yer almaktadır.

Öncelikle nümerik yöntemle bilinmeyen parametrelerin elde edildiği katalog verileriyle STK’daki parametreler GA yardımıyla elde edilmiş daha sonrasında aynı veriler kullanılarak farklı ışınım miktarı ve sıcaklıktaki parametreler elde edilmiştir. Değişik ışınım miktarları ve sıcaklık değişimleri için model sonucunda oluşan I-V ve P-V karakteristik eğrileri oluşturularak çizilmiştir.

Daha sonra farklı FV modül parametreleri için bilinmeyen parametre değerleri GA yardımıyla bulunup daha önce yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmıştır.

3.1. GA’LARIN FOTOVOLTAİK SİSTEME UYGULANMASI

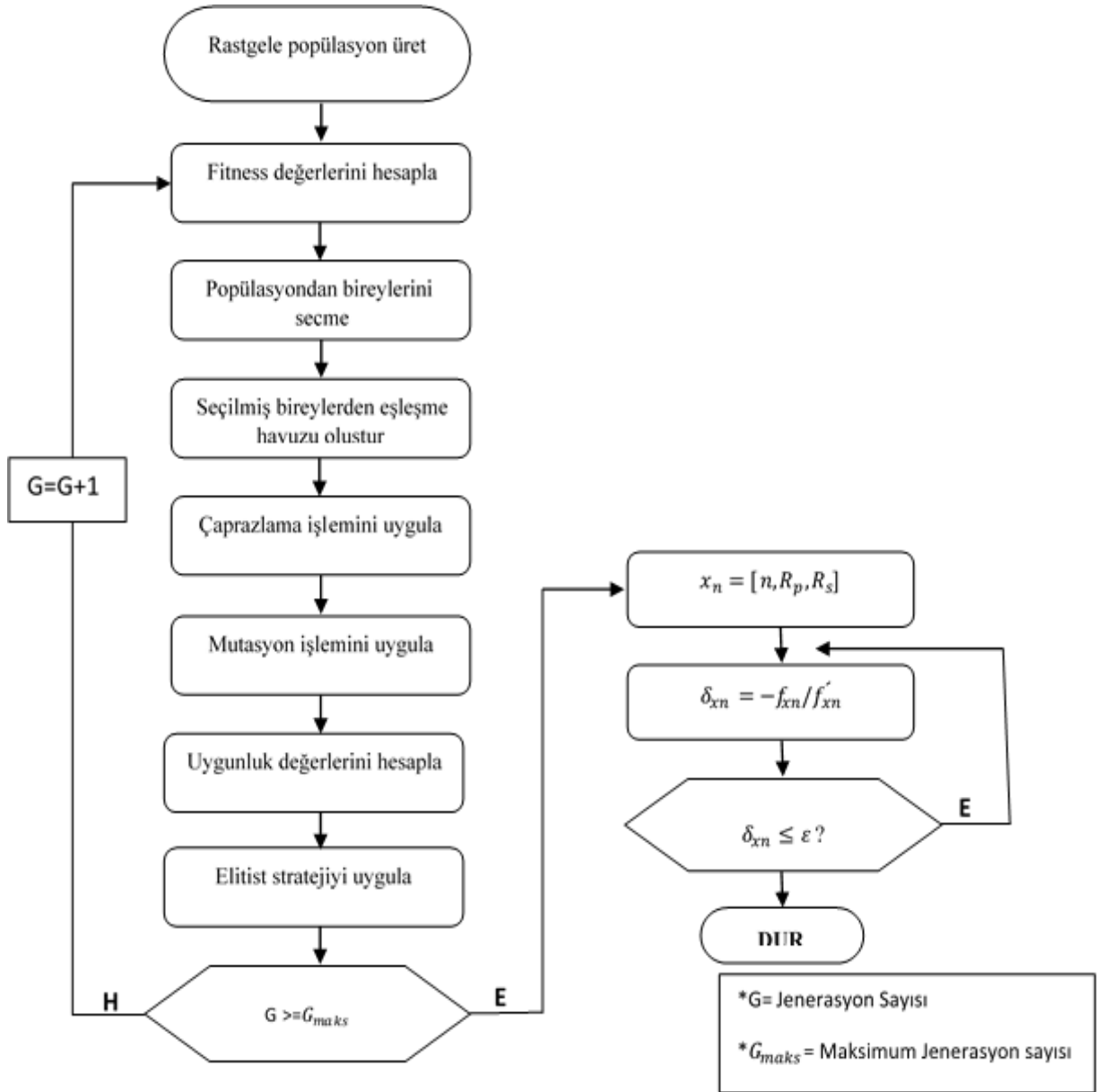
Genetik algoritmalar yardımıyla tek diyot devre modelindeki bilinmeyen parametrelerin gerçekleştirilebilmesi için uygulanan diyagram akışı Şekil 3.1 ile verilmiştir.

Parametre tahmin işlem süreci 30 bit uzunluğunda 100 adet stringten rastgele meydana getirilmesiyle birlikte başlar. 3 bilinmeyen için her bir dizi 10 bitlik uzunluğunda eşit parçalara ayrılmıştır. Daha sonra ikili kodlar doğrusal eşleşme sayesinde, 3 bilinmeyen için daha önceden belirlenen arama uzayında reel sayılar haline getirilir. Uygunluk değerleri Eş. 2.68 ile verilen uygunluk fonksiyonu ile birlikte hesaplanır.

$$f_k = \frac{1}{(I_{sc} - I_k)^2 + \varepsilon} \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte I_{sc} , daha öncede belirtildiği gibi kısa devre akımını tanımlamakta olup üretici katalog verilerinde 298°K ve 1000 W/m² ile STK altında alınan değeridir. I_k k’nıncı string değerine karşılık gelen akım değeri, ε ise çok küçük bir değer olup, paydayı sıfırdan farklı değer yapmak için kullanılan bir sabittir.

Uygunluk değerlerinin hesaplanmasından sonra çaprazlama işlemi için oluşturulacak eşleşme havuzunun elemanlarının seçimi uygunluk değerlerine dayalı olarak turnuva seçim kriterine göre yapılır. Seçilen bireyler 0,8 olasılık ile çaprazlanmaya ve 0,1 olasılık ile ise mutasyona tabi tutulurlar. Bu genetik operatörlerle birlikte elitist seçim stratejisi bireyler üzerine uygulanır.



Şekil 3.1. FV parametrelerin bulunması için yazılan GA algoritması.

3.2. BP 3235T 235W MODELİN BİLİNMEYEN PARAMETRELERİNİN BULUNMASI

Bu bölümde öncelikle Newton-Raphson yöntemiyle Bölüm 2’de kullanılan BP 3235T 235W FV modül katalog parametreleri kullanılarak STK altında ($T = 25^{\circ}\text{C}$ ve $G = 1000 \text{ W/m}^2$) parametre değerleri bulunmuş ve Çizelge 3.2 ile gösterilmiştir. Daha sonra aynı katalog verileri kullanılarak farklı ışınım miktarları ve sıcaklık değerleri altında bilinmeyen parametre değerleri her bir ışınım ve sıcaklık değerleri kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 ve 3.10’da bu değerler gösterilmiştir. Elde edilen parametreler ile oluşan I-V ve P-V karakteristik eğrileri sabit ışınım değerlerinde değişen sıcaklık değerlerine bağlı olarak ve sabit sıcaklık değerleri altında değişen ışınım miktarlarına bağlı olarak gösterilmiştir. Kullanılan katalog verileri Çizelge 3.1 ile gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. BP 3235T 235 W modelin katalog verileri.

Katalog Bilgileri	
P_m	235 W
I_{sc}	8.59 A
V_{oc}	37.7 V
V_{mpp}	29.38 V
I_{mpp}	8 A
n_s	60
K_i	0.0006

Yukarıdaki katalog verileri sonucunda STK altında elde edilen sonuçlar Çizelge 3.2 ile Newton-Raphson yöntemiyle bulunan değerler ve GA ile bulunan değerler olarak verilmiştir.

Çizelge 3.2. STK altında ($T = 25^{\circ}\text{C}$ ve $G = 1000 \text{ W/m}^2$) değerler.

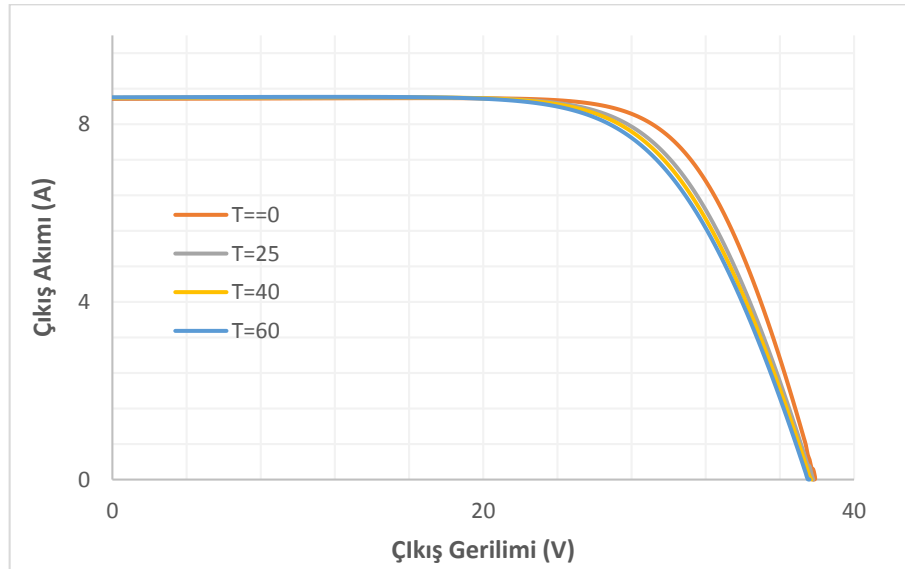
	n	$R_s (\Omega)$	$R_p (\Omega)$
GA	1,495	0,482	952,6880
Newton Raphson Metodu	1,523	0,291	506,014

GA ve Lambert W fonksiyonu yardımıyla bulunana parametre değerleri 0,008 sekizlik bir hata değeriyle maksimum güç çıkışına oldukça yakın bir değer elde edilmesini sağlarken iki hesaplama arasındaki en büyük fark paralel direnç üzerinden olmuştur. Newton Raphson metodundaki denklemler sıcaklık bağımlılığı içermediği ve denklemlerin elde edilmesi sırasında bazı kabuller yapılarak denklemin saf hali bozulduğu için bu farkın olması olası görünmekle beraber GA yöntemiyle elde edilen veriler daha kesin sonuçlar vermekte ve işlem kolaylığı sağlamaktadır.

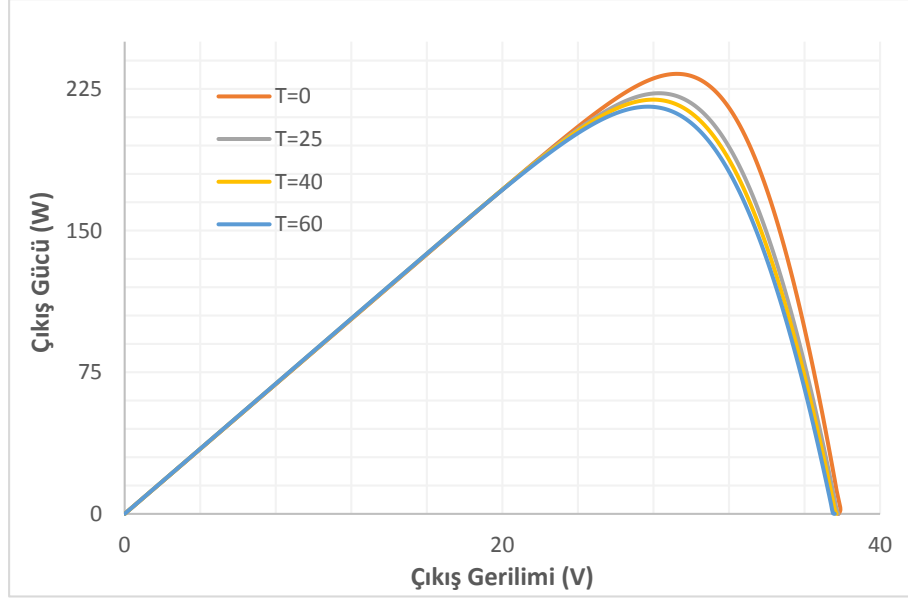
Lambert W fonksiyonu ve GA metoduyla BP 3235T 235W FV model için elde edilen parametre değerlerinin farklı ışınım miktarı ve sıcaklıklar için değerleri ve oluşturdukları karakteristik eğriler aşağıdaki gibi verilmiştir.

Çizelge 3.3. GA ile $G = 1000 \text{ W/m}^2$ için farklı sıcaklıkta bulunan parametre değerleri

T (°C)	n	R_p (Ω)	R_s (Ω)
0	1,458	904,98	0,413
25	1,395	952,688	0,482
40	1,396	854,056	0,493
60	1,200	1020,412	0,500



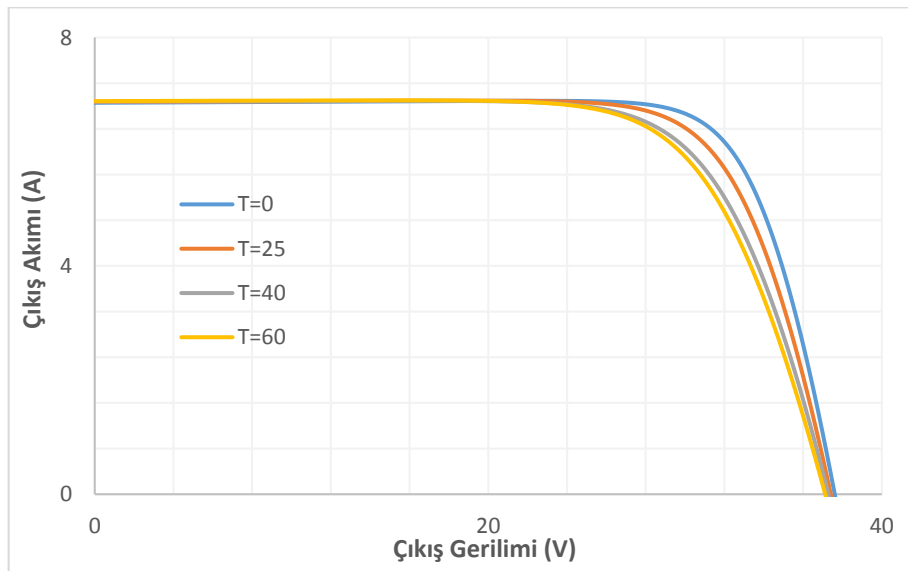
Şekil 3.2. I-V eğrisinin $G = 1000 \text{ W/m}^2$ 'de sıcaklığa bağlı değişimi.



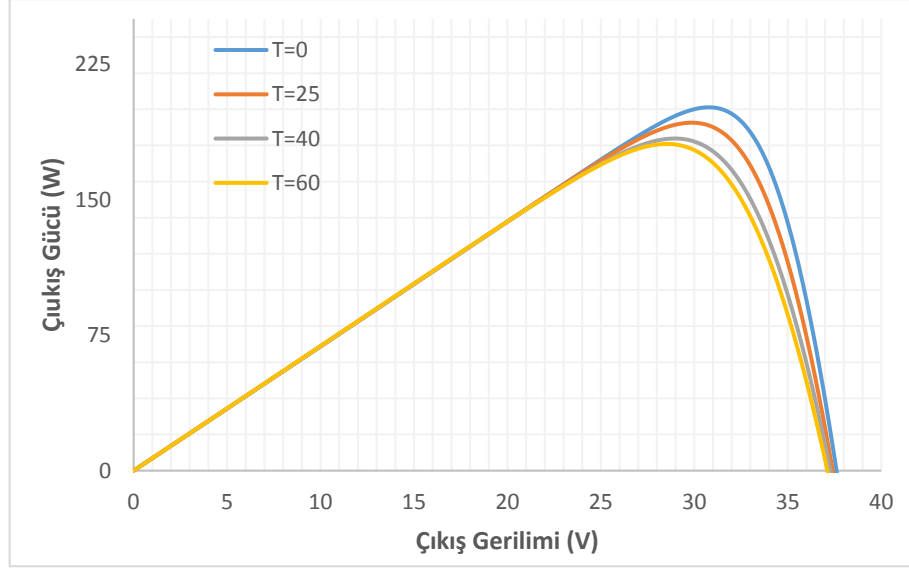
Şekil 3.3. P-V eğrisinin $G = 1000 \text{ W/m}^2$ 'de sıcaklığa bağlı değişimi.

Çizelge 3.4. GA ile $G = 800 \text{ W/m}^2$ için farklı sıcaklıkta bulunan parametre değerleri.

T (°C)	n	R_p (Ω)	R_s (Ω)
0	1,354	614,956	0,316
25	1,276	720,234	0,342
40	1,296	876,243	0,389
60	1,149	969,306	0,443



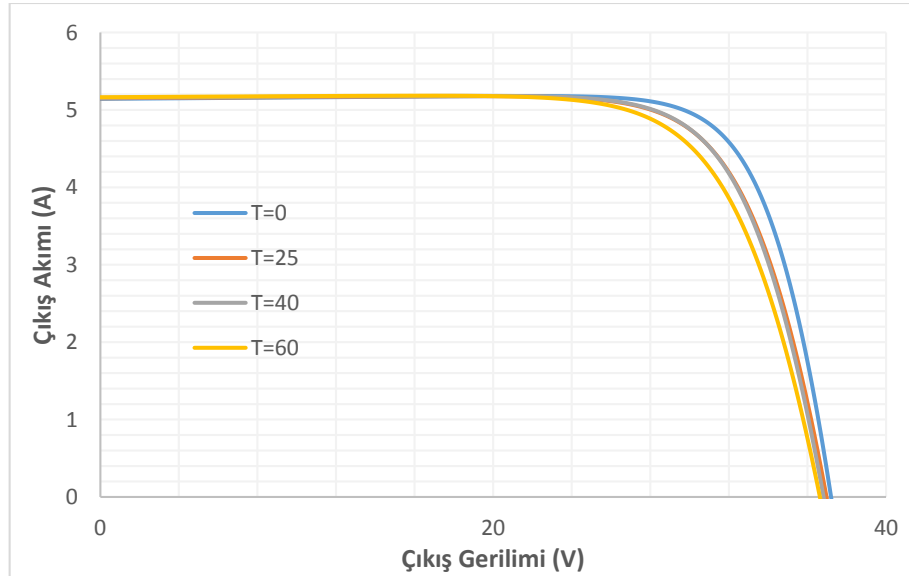
Şekil 3.4. I-V eğrisinin $G = 800 \text{ W/m}^2$ 'de sıcaklığa bağlı değişimi.



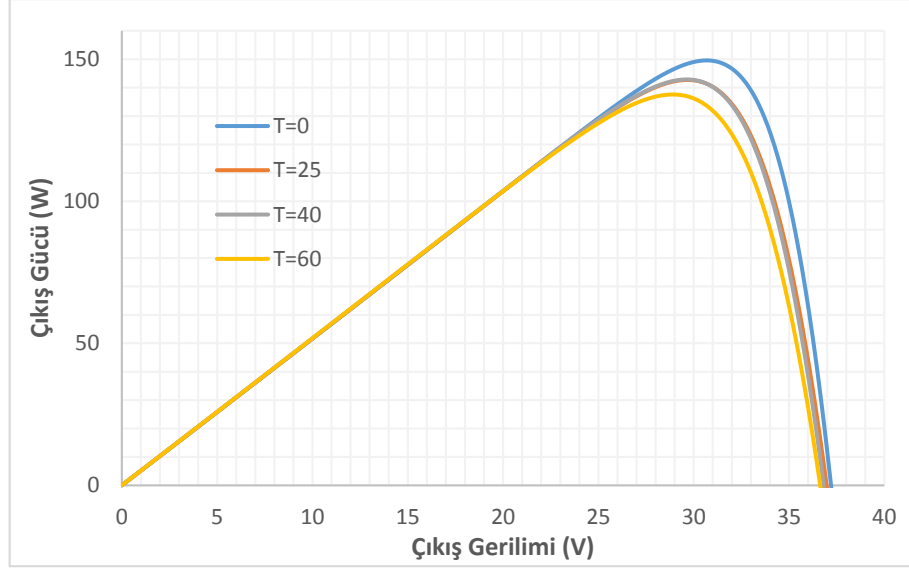
Şekil 3.5. P-V eğrisinin $G = 800 \text{ W/m}^2$ 'de sıcaklığa bağlı değişimi.

Çizelge 3.5. GA ile $G = 600 \text{ W/m}^2$ için farklı sıcaklıkta bulunan parametre değerleri.

T (°C)	n	R_p (Ω)	R_s (Ω)
0	1,473	542,228	0,231
25	1,364	617,008	0,298
40	1,358	666,275	0,296
60	1,276	706,744	0,308



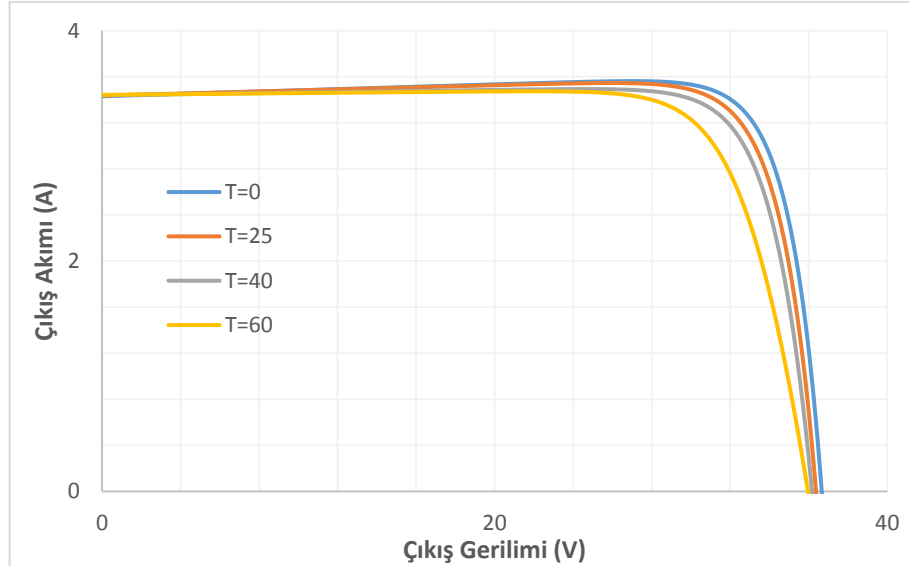
Şekil 3.6. I-V eğrisinin $G = 600 \text{ W/m}^2$ 'de sıcaklığa bağlı değişimi.



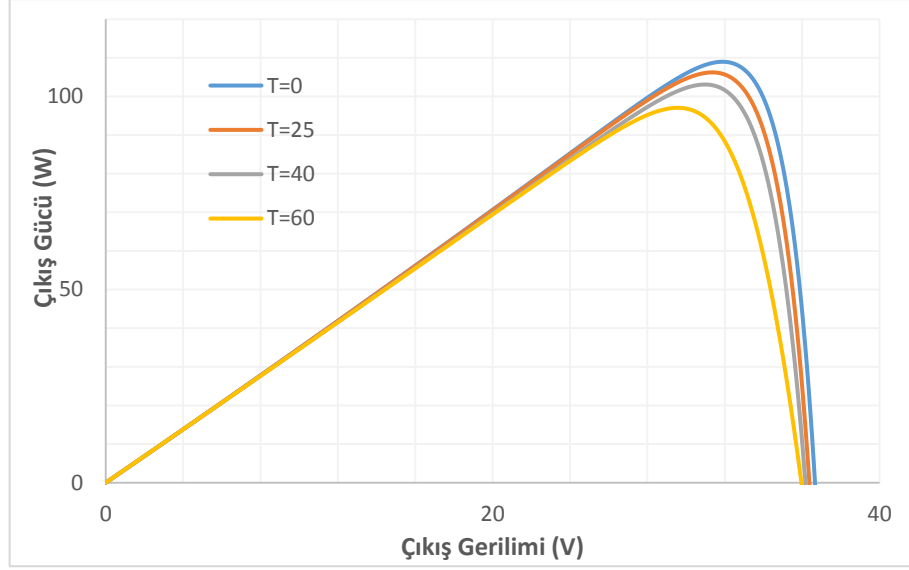
Şekil 3.7. I-V eğrisinin $G = 600 \text{ W/m}^2$ 'de sıcaklığa bağlı değişimi.

Çizelge 3.6. GA ile $G = 400 \text{ W/m}^2$ için farklı sıcaklıkta bulunan parametre değerleri.

T (°C)	α	R_p (Ω)	R_s (Ω)
0	1,161	193,251	0,006
25	1,019	221,505	0,020
40	1,009	429,032	0,094
60	1,016	648,771	0,450



Şekil 3.8. I-V eğrisinin $G = 400 \text{ W/m}^2$ 'de sıcaklığa bağlı değişimi.

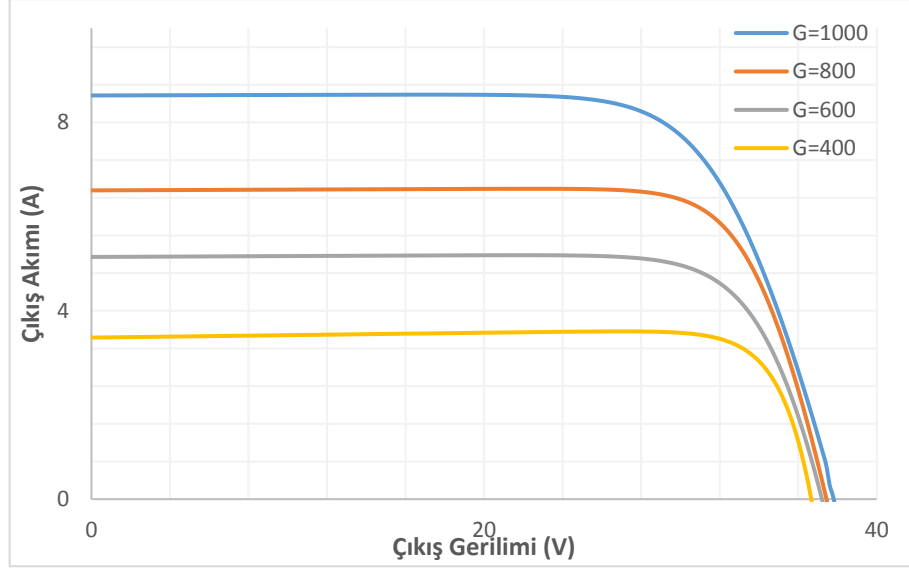


Şekil 3.9. P-V eğrisinin $G = 400 \text{ W/m}^2$ de sıcaklığa bağlı değişimi.

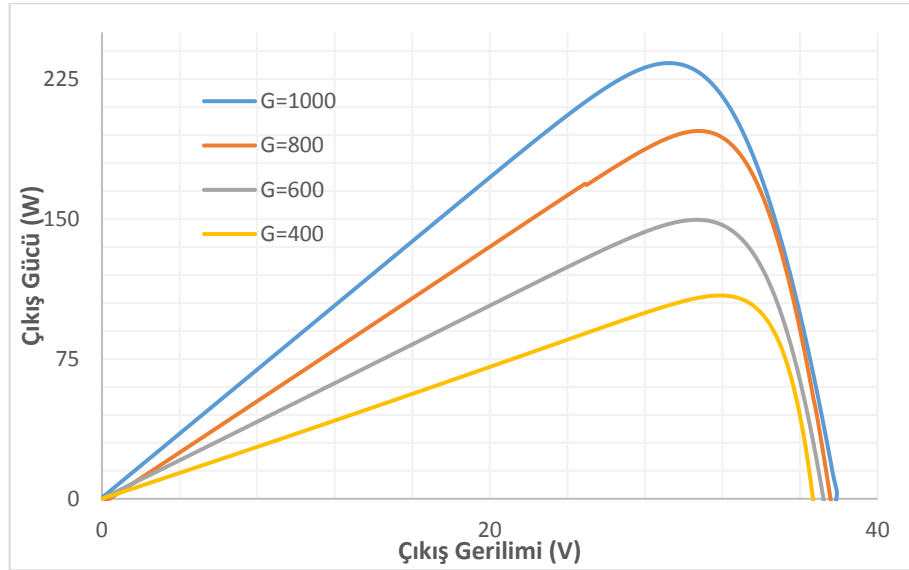
Sabit ışınım değerlerinin sıcaklık değişiminden etkilenmesine dayalı parametre değerlerinin hesaplanması ve karakteristik eğrilerinin oluşturulmasından sonra bu kez sabit sıcaklık değerlerinde ışınım değerlerinin değişimine bağlı elde edilen parametre değerleri ve I-V, P-V karakteristik eğrileri aşağıdaki verilmiştir.

Çizelge 3.7. GA ile $T = 0^\circ\text{C}$ 'de farklı ışınımlar için bulunan parametre değerleri.

$G \text{ (W/m}^2\text{)}$	n	$R_p \text{ (}\Omega\text{)}$	$R_s \text{ (}\Omega\text{)}$
400	1,161	193,251	0,006
600	1,473	542,228	0,231
800	1,354	614,956	0,316
1000	1,458	904,398	0,413



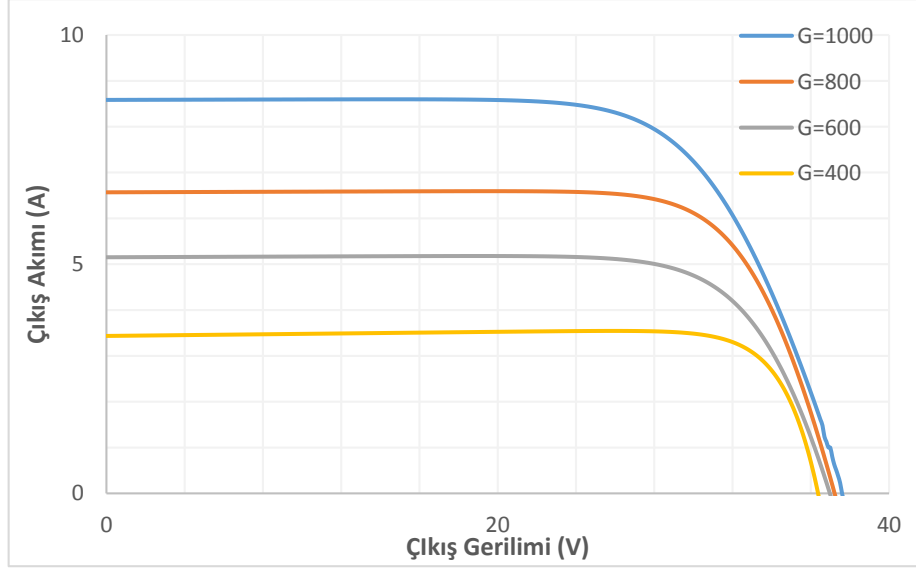
Şekil 3.10. I-V eğrilerinin $T = 0^{\circ}\text{C}$ 'de ışınım miktarına bağlı değişimi.



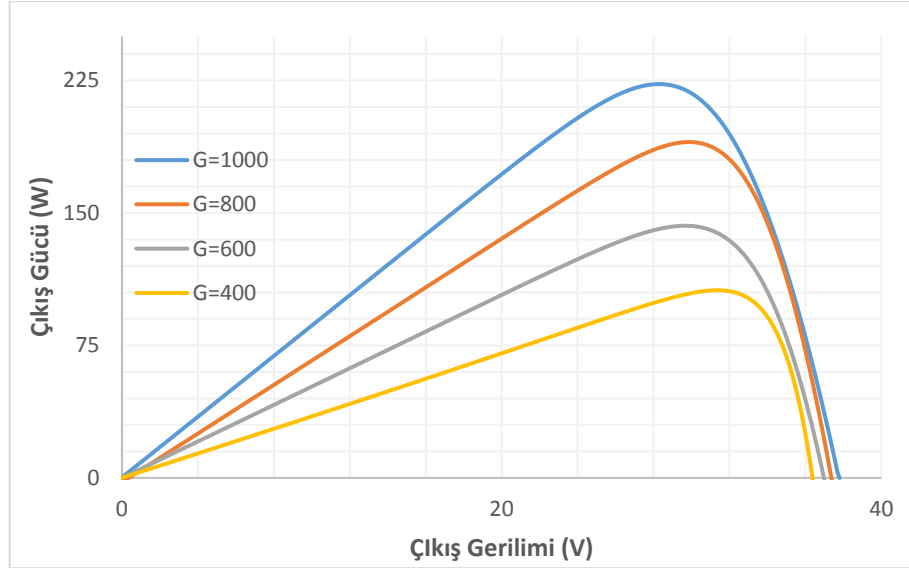
Şekil 3.11. P-V eğrilerinin $T = 0^{\circ}\text{C}$ 'de ışınım miktarına bağlı değişimi.

Çizelge 3.8. GA ile $T = 25^{\circ}\text{C}$ 'de farklı ışınımlar için bulunan parametre değerleri.

$G (W/m^2)$	n	$R_p (\Omega)$	$R_s (\Omega)$
400	1,019	221,505	0,020
600	1,364	617,008	0,298
800	1,276	720,234	0,342
1000	1,395	952,688	0,482



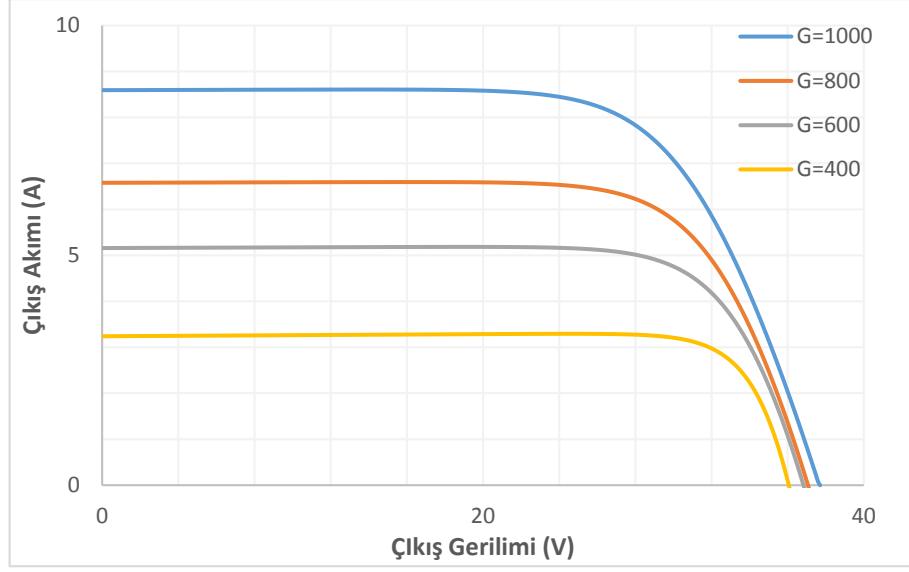
Şekil 3.12. I-V eğrisinin $T = 25^{\circ}\text{C}$ 'de ışınım miktarına bağlı değişimi.



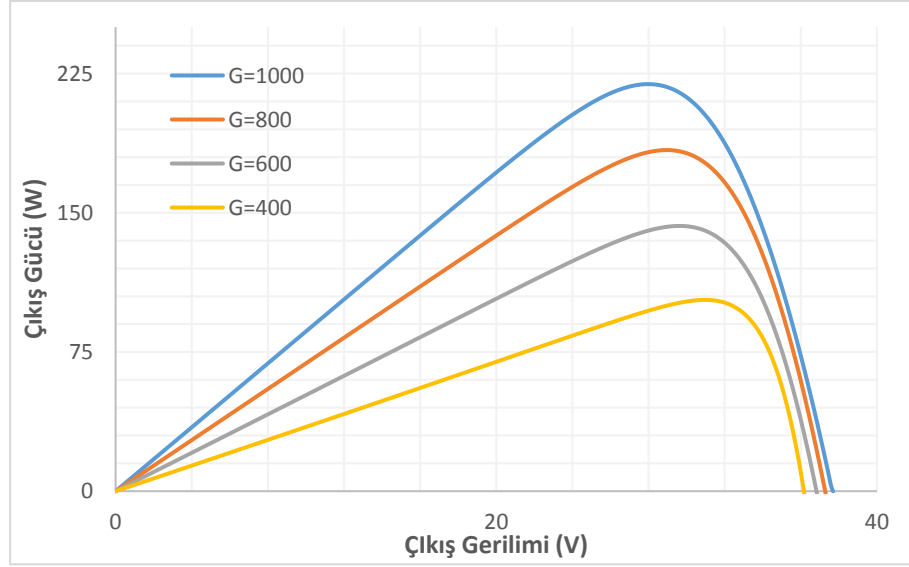
Şekil 3.13. P-V eğrisinin $T = 25^{\circ}\text{C}$ 'de ışınım miktarına bağlı değişimi.

Çizelge 3.9. GA ile $T = 40^{\circ}\text{C}$ 'de farklı ışınımlar için bulunan parametre değerleri.

$G (W/m^2)$	n	$R_p (\Omega)$	$R_s (\Omega)$
400	1,009	429,032	0,094
600	1,358	666,275	0,296
800	1,296	876,243	0,389
1000	1,396	854,056	0,493



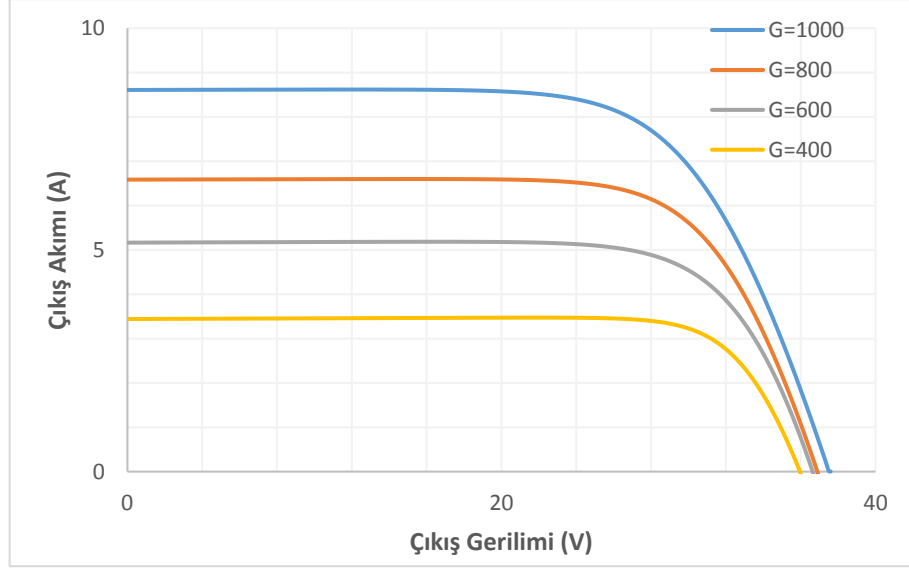
Şekil 3.14. I-V eğrisinin $T = 40^{\circ}\text{C}$ 'de ışınlım miktarına bağlı değişimi.



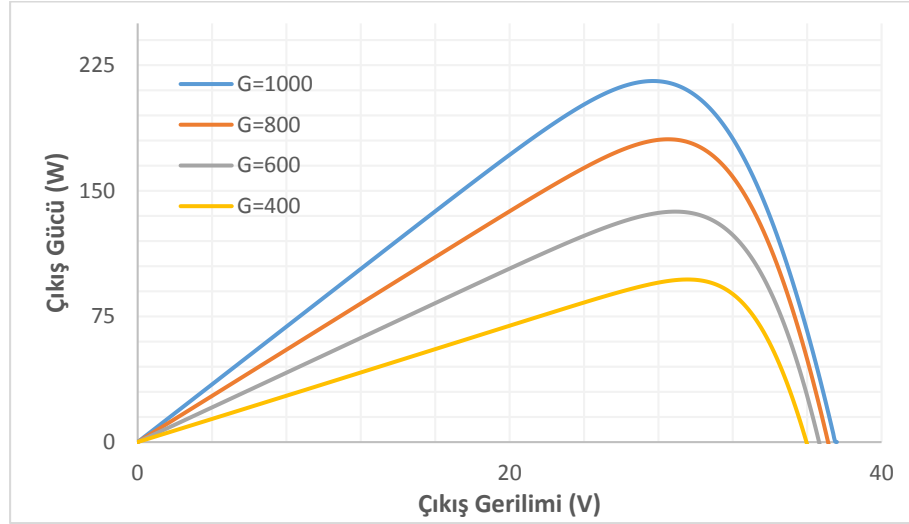
Şekil 3.15. P-V eğrisinin $T = 40^{\circ}\text{C}$ 'de ışınlım miktarına bağlı değişimi.

Çizelge 3.10. GA ile $T = 60^{\circ}\text{C}$ 'de farklı ışınlımlar için bulunan parametre değerleri.

G (W/m^2)	n	R_p (Ω)	R_s (Ω)
400	1,016	648,771	0,450
600	1,276	706,744	0,308
800	1,149	969,306	0,443
1000	1,200	1020,412	0,500



Şekil 3.16. I-V eğrisinin $T = 60^{\circ}\text{C}$ 'de ışınım miktarına bağlı değişimi.

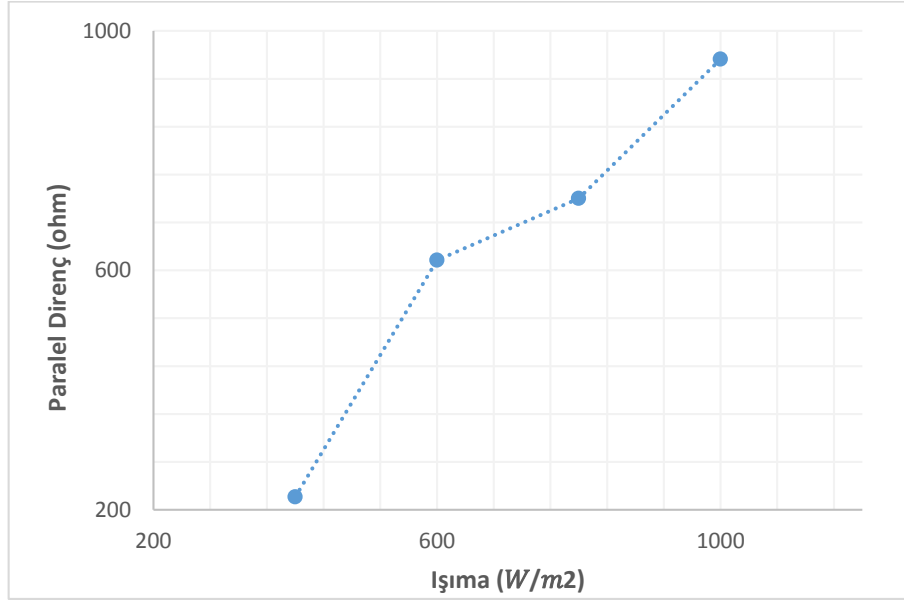


Şekil 3.17. P-V eğrisinin $T = 60^{\circ}\text{C}$ 'de ışınım miktarına bağlı değişimi.

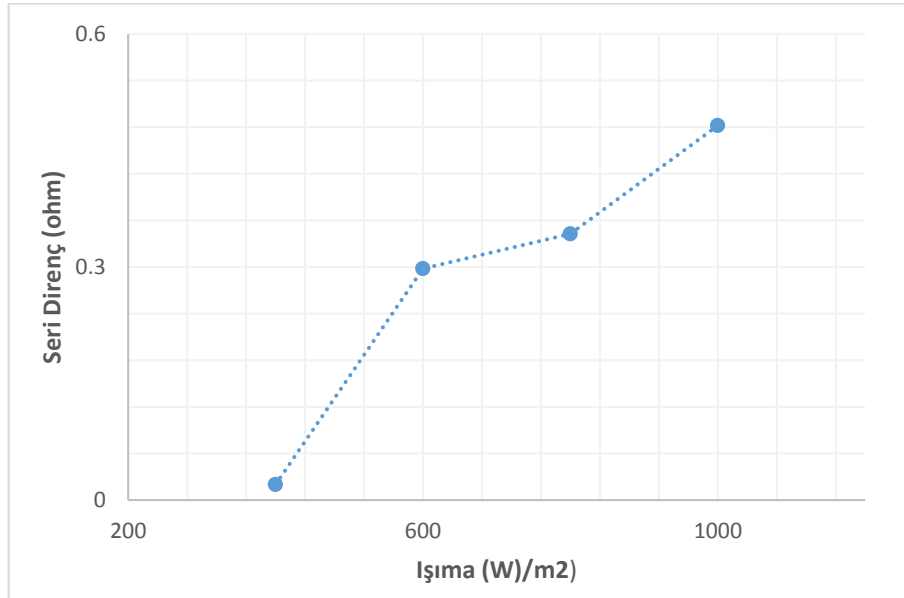
Lambert W fonksiyonu ve GA metoduyla elde edilen parametre değerlerinin ve bu parametre değerleriyle elde edilen karakteristik eğrilerin literatürde yapılan çalışmalar ile benzerlik göstermektedir (Guimard ve diğ. 2002).

Çizelgelerde verilen parametre değerleri incelendiğinde n , R_s ve R_p değerlerinin sıcaklık ve ışınım miktarlarındaki değişikliklerden etkilendiği gözlenmiştir. Işınım miktarındaki artış R_s ve R_p parametre değerlerinde artışa sebep olmakla birlikte maksimum güç çıkışını da arttırmaktadır. Işınım miktarındaki değişim diyot idealite faktörü üzerinde de etkili olmuştur. Işınım miktarının artması idealite faktörü, n 'in de artmasını sağlamıştır.

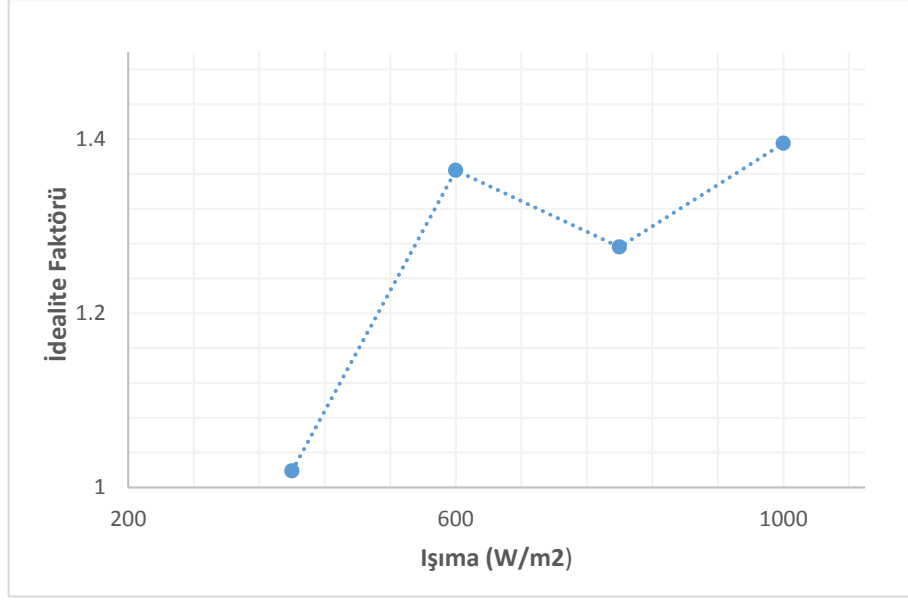
25°C sabit sıcaklık altında ışınım miktarındaki değişiminin n , R_s ve R_p parametreleri üzerindeki etkisi Şekil 3.18, 3.19 ve 3.20’de gösterilmiştir.



Şekil 3.18. R_p 'nin ışınım miktarına bağlı değişimi.



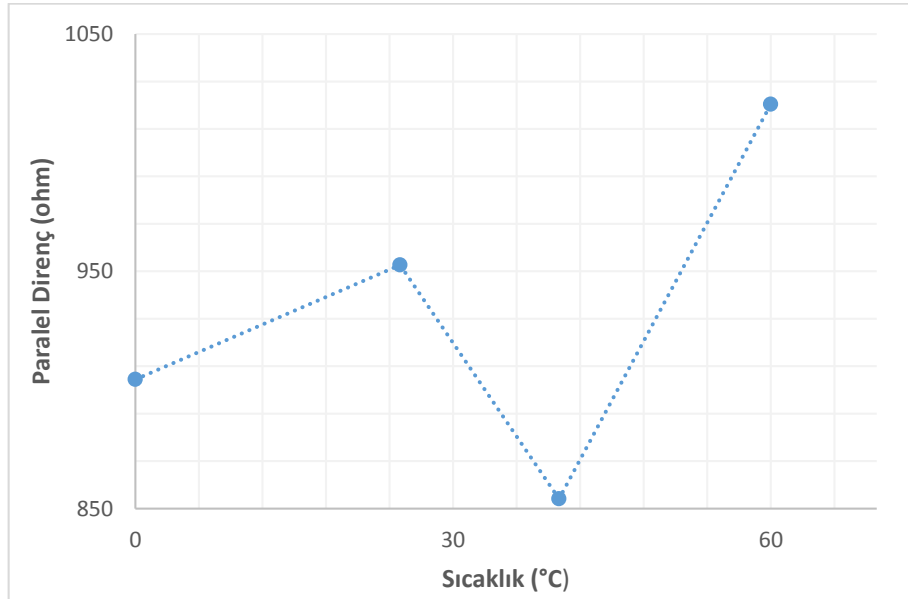
Şekil 3.19. R_s 'in ışınım miktarına bağlı değişimi.



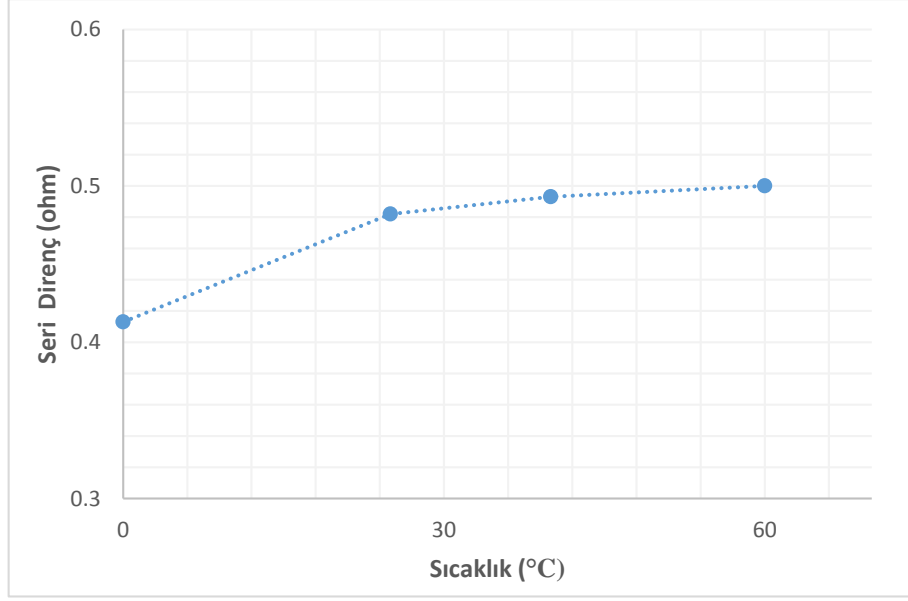
Şekil 3.20. n 'in ışıma miktarına bağlı değişimi.

Sıcaklık miktarındaki artış R_s ve R_p değerlerinde yine artışa sebep olurken, sıcaklık miktarı arttıkça literatürdeki çalışmalara benzer bir biçimde n değerinde azalma gözlemlenmiştir (Sites ve Mauk 1989),(Pysch ve diğ. 2007).

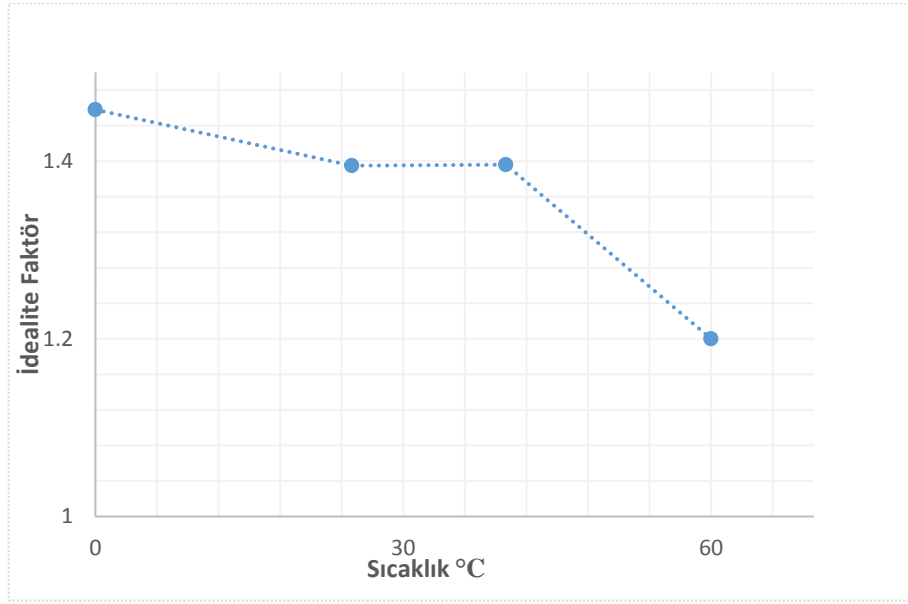
1000 W/m^2 sabit ışıma miktarı altında sıcaklık değişiminin n , R_s ve R_p parametreleri üzerindeki etkisi Şekil 3.21, 3.22 ve 3.23 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.21. R_p 'nin sıcaklık miktarıyla değişimi.



Şekil 3.22. R_s 'in sıcaklık miktarına bağlı değişimi.



Şekil 3.23. n 'in sıcaklık miktarına bağlı değişimi.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması, güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten FV sistemlerin bilinmeyen parametrelerinin tahmini üzerine yapılmıştır. Çalışma tek diyot devre modeli temel alınarak yapılmıştır.

FV sistemlerin katalog verilerinde yer almayan üç parametre değerinin, seri direnç R_s , paralel direnç R_p ve diyot idealite faktörü n , akım-gerilim ve gerilim-güç karakteristik eğrilerini nasıl etkilediği gözlemek için Matlab/Simulink ortamın tek diyot devre modeli tasarlanmış ve her bir değişkenin etkisi gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre R_s değerinin küçülmesi sistemin çıkış gücünü pozitif yönde etkilerken R_p 'nin belli bir değere kadar büyük olması çıkış gücünü arttırdığı gözlemlenmiştir. n 'nin ise 1 ile 2 aralığında bire daha yakın olan küçük değerler alması maksimum çıkış değerinin artmasına sebep olduğu görülmüştür.

Genel bir FV hücrenin akım-gerilim denklemlerinin karmaşık yapılarından dolayı değerleri bilinmeyen parametreleri elde etmesi oldukça zor ve yoğun bir matematiksel işlem gerektirdiğinden matematiksel ifadeler çalışma kolaylığı sağlayabilmek için Lambert W fonksiyonuyla açık hale getirilmiş ve literatüre kazandırılmıştır.

Elde edilen, Lambert W fonksiyonu içeren açık akım-gerilim denklemiyle, katalog verilerinde yer almayan üç parametre değeri, katalog verilerinde yer alan maksimum güç V_{mpp} , açık devre akımı I_{sc} , açık devre gerilimi V_{oc} parametre değerlerinden faydalanılarak GA yardımıyla tahmin edilmiştir. Parametre tahmin işlem süreci 30 bit uzunluğunda 100 adet stringten rastgele meydana getirilmesiyle birlikte başlamıştır. Eşleşme havuzunun elemanlarının seçimi uygunluk değerlerine dayalı olarak turnuva seçim kriterine göre yapılmış ve seçilen bireyler 0,8 olasılık ile çaprazlanmaya ve 0,1 olasılık ile ise mutasyona tabi tutulmuşlardır. Bu genetik operatörlerle birlikte elitist seçim stratejisi bireyler üzerine uygulanmıştır. Elde edilen parametre değerleri hem nümerik yöntemle elde edilen değerler ile karşılaştırıldığında maksimum güç çıkışı için daha uygun parametre değerleri üretebildiği gözlenirken, daha önceden yapılan çalışmalar ile karşılaştırıldığında uyum gösterdiği gözlemlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

- Abbasbandy, S. Improving Newton-Raphson method for nonlinear equations by modified Adomian decomposition method. *Applied Mathematics and Computation*, 145, (2003) 887–893. doi:10.1016/S0096-3003(03)00282-0
- Ahmad, M., Talukder, A.-A., & Tanni, M. A. Estimation of important parameters of photovoltaic modules from manufacturer's datasheet. *2012 International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV)*, (2012) 571–576. doi:10.1109/ICIEV.2012.6317335
- Altas, I. H., & Sharaf, A. M.. A novel on-line MPP search algorithm for PV arrays. *IEEE Transactions on Energy Conversion*. (1996) doi:10.1109/60.556374
- Andrews, R. W., Pollard, A., & Pearce, J. M.. Improved parametric empirical determination of module short circuit current for modelling and optimization of solar photovoltaic systems. *Solar Energy*, 86, (2012) 2240–2254. doi:10.1016/j.solener.2012.04.016
- Bouzidi, K., Chegaar, M., & Bouhemadou, A.. Solar cells parameters evaluation considering the series and shunt resistance. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91, (2007) 1647–1651. doi:10.1016/j.solmat.2007.05.019
- Campbell, R. C.. A circuit-based photovoltaic array model for power system studies. In *2007 39th North American Power Symposium, NAPS* (2007) 97–101. doi:10.1109/NAPS.2007.4402293
- Celik, A. N.. Effect of different load profiles on the loss-of-load probability of stand-alone photovoltaic systems. *Renewable Energy*, 32, (2007) 2096–2115. doi:10.1016/j.renene.2006.11.002
- Chakrasali, R. L., Sheelavant, V. R., & Nagaraja, H. N.. Network approach to modeling and simulation of solar photovoltaic cell. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, (2013) 84–88. doi:10.1016/j.rser.2013.01.001
- Chegaar, M., Ouennoughi, Z., & Hoffmann, A.. New method for evaluating illuminated solar cell parameters. *Solid-State Electronics*, 45, (2001) 293–296. doi:10.1016/S0038-1101(00)00277-X
- Chen, Y., Wang, X., Li, D., Hong, R., & Shen, H.. Parameters extraction from commercial solar cells I-V characteristics and shunt analysis. *Applied Energy*, 88, (2011) 2239–2244. doi:10.1016/j.apenergy.2010.12.048
- Chenni, R., Makhlof, M., Kerbache, T., & Bouzid, A.. A detailed modeling method for photovoltaic cells. *Energy*, 32, (2007) 1724–1730. doi:10.1016/j.energy.2006.12.006

- Chouder, A., Silvestre, S., Taghezouit, B., & Karatepe, E.. Monitoring, modelling and simulation of PV systems using LabVIEW. *Solar Energy*, 91, (2013) 337–349. doi:10.1016/j.solener.2012.09.016
- Dawkins, R.. *The Selfish Gene. 30th Anniversary Edition--with a new Introduction by the Author* (1976) 384.
- De Soto, W., Klein, S. A., & Beckman, W. A.. Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance. *Solar Energy*, 80, (2006) 78–88. doi:10.1016/j.solener.2005.06.010
- Dondi, D., Brunelli, D., Benini, L., Pavana, P., Bertacchini, A., & Larcher, L.. Photovoltaic cell modeling for solar energy powered sensor networks. In *Proceedings of the 2nd IEEE International Workshop on Advances in Sensors and Interfaces, IWASI*. (2007) doi:10.1109/IWASI.2007.4420017
- Elshatter, T. F., Elhagry, M. T., Abou-Elzahab, E. M., & Elkousy, A. A. T.. Fuzzy modeling of photovoltaic panel equivalent circuit. *Conference Record of the Twenty-Eighth IEEE Photovoltaic Specialists Conference* (2000) (Cat. No.00CH37036). doi:10.1109/PVSC.2000.916219
- Emel, G. G.. Genetik Algoritmalar Ve Uygulama Alanları Özet, (2002) 129–152.
- Fanney, A. H., & Dougherty, B. P.. Building Integrated Photovoltaic Test Facility. *Journal of Solar Energy Engineering*. (2001) doi:10.1115/1.1385823
- Ghani, F., Duke, M., & Carson, J.. Extraction of solar cell modelling parameters using the Lambert W- function. In *50th Annual Conference, Australian Solar Energy Society*. (2012)
- Gow, J. A., & Manning, C. D.. Development of a photovoltaic array model for use in power-electronics simulation studies. *IEE Proceedings - Electric Power Applications*. (1999) doi:10.1049/ip-epa:19990116
- Green, M. A., Emery, K., King, D. L., Igari, S., & Warta, W.. Solar cell efficiency tables (Version 26). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*. (2005) doi:10.1002/pip.651
- Guimard, D., Grand, P. P., Bodereau, N., Cowache, P., Guillemoles, J.-F., Lincot, D., ... Mogensén, P.. Copper indium diselenide solar cells prepared by electrodeposition. *Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, (2002). doi:10.1109/PVSC.2002.1190659
- Haupt, R., & Haupt, S.. The binary genetic algorithm. *Practical Genetic Algorithms, Second ...*, (1998) 27–50. doi:10.1002/0471671746.ch2
- Hernanz, J. R.. Modelling of photovoltaic module. ... *Energies and Power* Retrieved from <http://icrepq.com/icrepq'10/619-Hernanz.pdf> (2010)

- Hua, C., & Shen, C.. Study of maximum power tracking techniques and control of DC/DC converters for photovoltaic power system. In *PESC Record - IEEE Annual Power Electronics Specialists Conference* 1, (1998) 86–93. doi:10.1109/PESC.1998.701883
- Ikegami, T., Maezono, T., Nakanishi, F., Yamagata, Y., & Ebihara, K.. Estimation of equivalent circuit parameters of PV module and its application to optimal operation of PV system. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 67, (2001) 389–395. doi:10.1016/S0927-0248(00)00307-X
- Ishaque, K., & Salam, Z.. An improved modeling method to determine the model parameters of photovoltaic (PV) modules using differential evolution (DE). *Solar Energy*, 85(9), (2011) 2349–2359. doi:10.1016/j.solener.2011.06.025
- Ishaque, K., Salam, Z., Taheri, H., & Syafaruddin.. Modeling and simulation of photovoltaic (PV) system during partial shading based on a two-diode model. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 19, (2011) 1613–1626. doi:10.1016/j.simpat.2011.04.005
- Jain, A., & Kapoor, A.. Exact analytical solutions of the parameters of real solar cells using Lambert W-function. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 81, (2004) 269–277. doi:10.1016/j.solmat.2003.11.018
- Jain, A., & Kapoor, A.. A new method to determine the diode ideality factor of real solar cell using Lambert W-function. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 85, (2005) 391–396. doi:10.1016/j.solmat.2004.05.022
- Jervase, J. A., Bourdoucen, H., & Al-Lawati, A.. Solar cell parameter extraction using genetic algorithms. *Measurement Science and Technology*. (2001) doi:10.1088/0957-0233/12/11/322
- Joshi, A. S., Tiwari, A., Tiwari, G. N., Dincer, I., & Reddy, B. V.. Performance evaluation of a hybrid photovoltaic thermal (PV/T) (glass-to-glass) system. *International Journal of Thermal Sciences*, 48, (2009) 154–164. doi:10.1016/j.ijthermalsci.2008.05.001
- Jung, W., & Guziewicz, M.. Schottky diode parameters extraction using Lambert W function. *Materials Science and Engineering B: Solid-State Materials for Advanced Technology*, 165, (2009) 57–59. doi:10.1016/j.mseb.2009.02.013
- Karaboğa, D.. *Yapay zeka optimizasyon algoritmaları* (2004) 199.
- Karaboga, D., & Ozturk, C.. A novel clustering approach: Artificial Bee Colony (ABC) algorithm. *Applied Soft Computing Journal*, 11, (2011) 652–657. doi:10.1016/j.asoc.2009.12.025
- Karatepe, E., Boztepe, M., & Colak, M.. Neural network based solar cell model. *Energy Conversion & Management*, 47, (2006) 1159–1178. Retrieved from 10.1016/j.enconman.2005.07.007\https://reddog.rmu.edu/login?url=http://search.e

bscohost.com/login.aspx?direct=true&db=aph&AN=19685919&site=ehost-live&scope=site

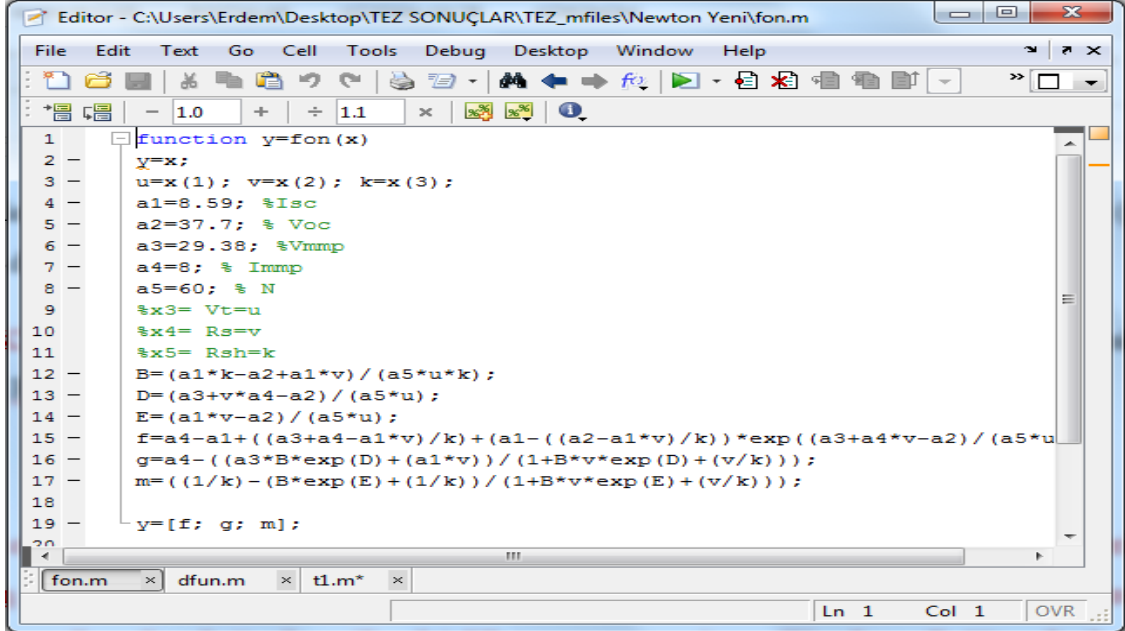
- Khan, F., Singh, S. N., & Husain, M.. Effect of illumination intensity on cell parameters of a silicon solar cell. In *Solar Energy Materials and Solar Cells* 94, (2010) 1473–1476. doi:10.1016/j.solmat.2010.03.018
- Liu, S., & Dougal, R. A.. Dynamic multiphysics model for solar array. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 17, (2002) 285–294. doi:10.1109/TEC.2002.1009482
- Luque, A., & Hegedus, S.. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering.* (2011) doi:10.1002/9780470974704
- Matagne, E., Chenni, R., & Bachtiri, R. El.. A photovoltaic cell model based on nominal data only. *2007 International Conference on Power Engineering, Energy and Electrica l(2007) Drives.* doi:10.1109/POWERENG.2007.4380173
- Melanie, M.. An Introduction to Genetic Algorithms. *Computers Mathematics with Applications*, 32, (1996) 133. doi:10.1016/S0898-1221(96)90227-8
- Mellit, A., Mekki, H., & Shaari, S.. FPGA-based neural network for simulation of photovoltaic array: Application for estimating the output power generation. In *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference.* (2008) doi:10.1109/PVSC.2008.4922514
- Moldovan, N., Picos, R., & Garcia-moreno, E.. Parameter Extraction of a Solar Cell Compact Model usign Genetic Algorithms, *00(C)*, (2009) 379–382.
- Neto, L. de V. M., Oliveira, L. G. M. de, Cabral, C. V. T., Filho, D. O., Cortizo, P. C., & Diniz, A. S. A. C.. Development of models for test performance of PV modules. *3rd World Conference onPhotovoltaic Energy Conversion, Proceedings of*, 3. (2003)
- Picault, D., Raison, B., Bacha, S., de la Casa, J., & Aguilera, J.. Forecasting photovoltaic array power production subject to mismatch losses. *Solar Energy*, 84, (2010) 1301–1309. doi:10.1016/j.solener.2010.04.009
- Priyanka, Lal, M., & Singh, S. N.. A new method of determination of series and shunt resistances of silicon solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91, (2007) 137–142. doi:10.1016/j.solmat.2006.07.008
- Pysch, D., Mette, A., & Glunz, S. W.. A review and comparison of different methods to determine the series resistance of solar cells. *Sol. Energ. Mat. Sol. C.*, 91, (2007) 1698–1706. doi:10.1016/j.solmat.2007.05.026
- Rawlins, G. J. E.. *Foundations of Genetic Algorithms. Foundations of Genetic Algorithms* 21, (1991) 341. doi:10.1007/978-3-540-73482-6
- Rodrigues, E. M. G., Melício, R., Mendes, V. M. F., & Catalão, J. P. S.. Simulation of a Solar Cell considering Single-Diode Equivalent Circuit Model. In *International*

- Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'11)*. (2011)
Retrieved from <http://www.icrepq.com/icrepq'11/339-rodrigues.pdf>
- Şen, Z.. *Genetik Algoritmalar ve En İyi Yöntemleri* Su Vakfı Yayınları. (2004) 142.
- Singh, G. K.. Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: A review. *Energy*. (2013) doi:10.1016/j.energy.2013.02.057
- Sites, J. R., & Mauk, P. H.. Diode quality factor determination for thin-film solar cells. *Solar Cells*. (1989) doi:10.1016/0379-6787(89)90050-1
- Storn, R., & Price, K.. Differential evolution - A simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of Global Optimization*, 11, (1997) 341–359. doi:10.1023/A:1008202821328
- Tan, Y. T., Kirschen, D. S., & Jenkins, N.. A model of PV generation suitable for stability analysis. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 19, (2004) 748–755. doi:10.1109/TEC.2004.827707
- Villalva, M. G., Gazoli, J. R., & Ruppert Filho, E.. Modeling and circuit-based simulation of photovoltaic arrays. In *2009 Brazilian Power Electronics Conference, COBEP2009* (2009) 1244–1254. doi:10.1109/COBEP.2009.5347680
- Walker, G.. Evaluating Mppt Converter Topologies Using A Matlab Pv Model. *Journal of Electrical Electronics Engineering*, 21, (2001) 49–56. doi:10.7237/
- Weisstein, E. W.. Lambert W-Function. *MathWorld--A Wolfram Web Resource*. (2012)
Retrieved from <http://mathworld.wolfram.com/LambertW-Function.html>
- Xiao, W., Dunford, W. G., & Capel, A.. A novel modeling method for photovoltaic cells. In *PESC Record - IEEE Annual Power Electronics Specialists Conference 3*, (2004) 1950–1956. doi:10.1109/PESC.2004.1355416
- Ye, M., Wang, X., & Xu, Y.. Parameter extraction of solar cells using particle swarm optimization. *Journal of Applied Physics*, (2009) 105. doi:10.1063/1.3122082
- Yorukoglu, M., & Celik, A. N.. A critical review on the estimation of daily global solar radiation from sunshine duration. *Energy Conversion and Management*, 47, (2006) 2441–2450. doi:10.1016/j.enconman.2005.11.002

6. EKLER

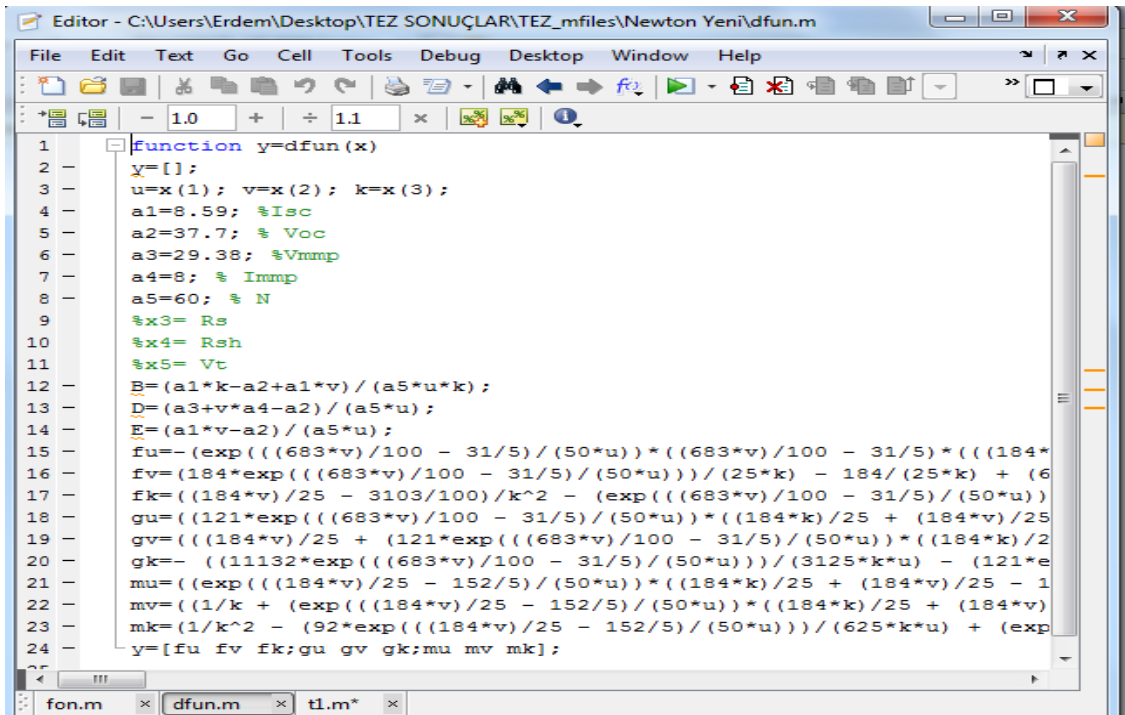
EK-1

1) Fonksiyonun ve Değişkenlerin Tanımlanması



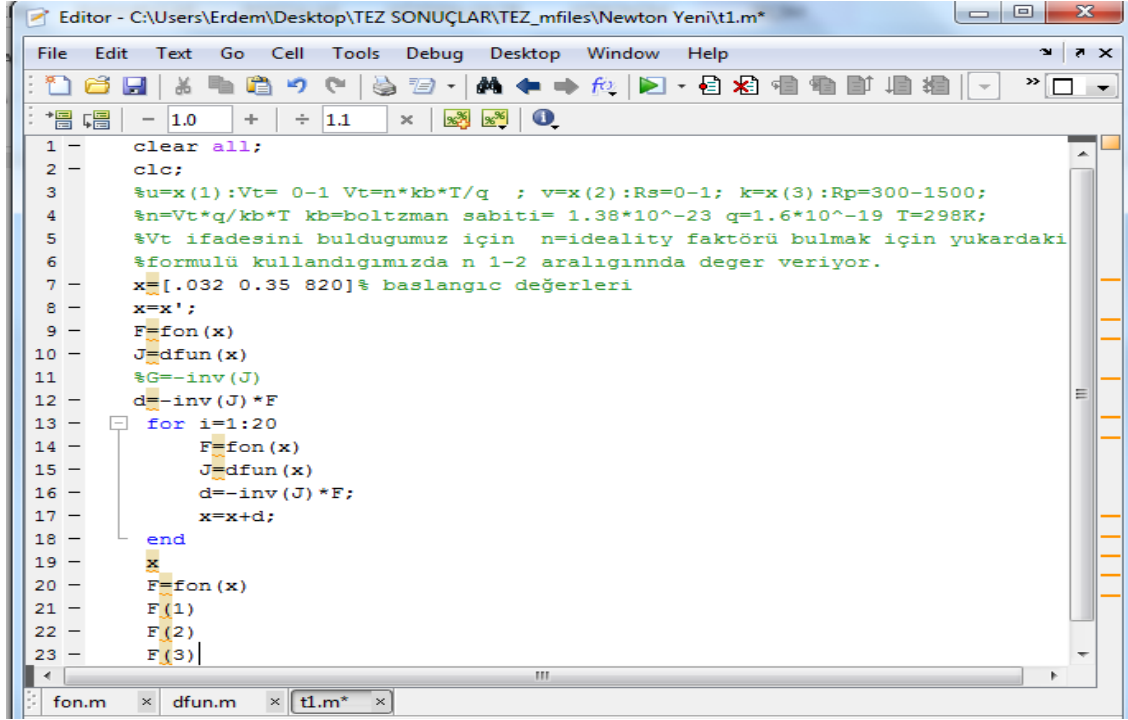
```
Editor - C:\Users\Erdem\Desktop\TEZ SONUÇLAR\TEZ_mfiles\Newton Yeni\fon.m
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
- 1.0 + ÷ 1.1 x % % %
1 function y=fon(x)
2 y=x;
3 u=x(1); v=x(2); k=x(3);
4 a1=8.59; %Isc
5 a2=37.7; % Voc
6 a3=29.38; %Vmmp
7 a4=8; % Immp
8 a5=60; % N
9 %x3= Vt=u
10 %x4= Rs=v
11 %x5= Rsh=k
12 B=(a1*k-a2+a1*v)/(a5*u*k);
13 D=(a3+v*a4-a2)/(a5*u);
14 E=(a1*v-a2)/(a5*u);
15 f=a4-a1+((a3+a4-a1*v)/k)+(a1-((a2-a1*v)/k))*exp((a3+a4*v-a2)/(a5*u);
16 g=a4-((a3*B*exp(D)+(a1*v))/(1+B*v*exp(D)+(v/k)));
17 m=((1/k)-(B*exp(E)+(1/k))/(1+B*v*exp(E)+(v/k)));
18
19 y=[f; g; m];
20
fon.m x dfun.m x t1.m* x Ln 1 Col 1 OVR
```

2) Fonksiyonun türevinin tanımlanması ve türev işlemi



```
Editor - C:\Users\Erdem\Desktop\TEZ SONUÇLAR\TEZ_mfiles\Newton Yeni\dfun.m
File Edit Text Go Cell Tools Debug Desktop Window Help
- 1.0 + ÷ 1.1 x % % %
1 function y=dfun(x)
2 y=[];
3 u=x(1); v=x(2); k=x(3);
4 a1=8.59; %Isc
5 a2=37.7; % Voc
6 a3=29.38; %Vmmp
7 a4=8; % Immp
8 a5=60; % N
9 %x3= Rs
10 %x4= Rsh
11 %x5= Vt
12 B=(a1*k-a2+a1*v)/(a5*u*k);
13 D=(a3+v*a4-a2)/(a5*u);
14 E=(a1*v-a2)/(a5*u);
15 fu=-exp(((683*v)/100-31/5)/(50*u))*((683*v)/100-31/5)*(((184*
16 fv=(184*exp(((683*v)/100-31/5)/(50*u)))/(25*k)-184/(25*k)+(6
17 fk=((184*v)/25-3103/100)/k^2-(exp(((683*v)/100-31/5)/(50*u))
18 gu=((121*exp(((683*v)/100-31/5)/(50*u))*((184*k)/25+(184*v)/25
19 gv=((184*v)/25+(121*exp(((683*v)/100-31/5)/(50*u))*((184*k)/2
20 gk=-((11132*exp(((683*v)/100-31/5)/(50*u)))/(3125*k*u)-(121*e
21 mu=((exp(((184*v)/25-152/5)/(50*u))*((184*k)/25+(184*v)/25-1
22 mv=(1/k+exp(((184*v)/25-152/5)/(50*u))*((184*k)/25+(184*v)
23 mk=(1/k^2-(92*exp(((184*v)/25-152/5)/(50*u)))/(625*k*u)+(exp
24 y=[fu fv fk;gu gv gk;mu mv mk];
25
fon.m x dfun.m x t1.m* x
```


3) Başlangıç değerlerinin Seçimi ve İşlem Süreci



```
1 - clear all;
2 - clc;
3 - %u=x(1):Vt= 0-1 Vt=n*kb*T/q ; v=x(2):Rs=0-1; k=x(3):Rp=300-1500;
4 - %n=Vt*q/kb*T kb=boltzman sabiti= 1.38*10^-23 q=1.6*10^-19 T=298K;
5 - %Vt ifadesini bulduğumuz için n=ideality faktörü bulmak için yukardaki
6 - %formülü kullandığımızda n 1-2 aralığında değer veriyor.
7 - x=[.032 0.35 820] % başlangıç değerleri
8 - x=x';
9 - F=fon(x)
10 - J=dfun(x)
11 - %G=-inv(J)
12 - d=-inv(J)*F
13 - for i=1:20
14 -     F=fon(x)
15 -     J=dfun(x)
16 -     d=-inv(J)*F;
17 -     x=x+d;
18 - end
19 - x
20 - F=fon(x)
21 - F(1)
22 - F(2)
23 - F(3)
```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Erdem ELİBOL
Uyruğu : TC
Doğum tarihi ve yeri : 21.02.1987 Düzce
Telefon : 0380 41121 15
Faks :
E-posta : erdemelibol@duzce.edu.tr

Eğitim

<i>Derece</i>	<i>Eğitim Birimi</i>	<i>Mezuniyet tarihi</i>
Yüksek Lisans	Düzce Üniversitesi Elektrik Elektronik Müh.	-
Lisans	Ankara Üniversitesi Fizik Müh.	2010
Lise	Düzce Arsal Anadolu Lisesi	2005

İş Deneyimi

<i>Yıl</i>	<i>Yer</i>	<i>Görev</i>
2010-2014	Düzce Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce (KPDS: 70)

Yayımlar

1. N. TUTKUN, N. ÇELEBİ, F. TAŞPINAR, D. MADEN, E. ELİBOL, S. ALKAN
,Bölgesel doğal gaz tüketiminin hibrit Genetik algoritma yöntemi ile kısa vadeli tahmini, 2. Anadolu Sempozyumu, (2013)
2. ELİBOL E. Ve TUTKUN N.,Stokastik yöntem ve Lambert W fonksiyonu kullanarak tipik bir fotovoltaiik panelin tek diyot devre modeline göre bilinmeyen parametrelerinin tahmin edilmesi,UGHEK2014 ,(2014) S15.

