
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

GÜNEŞ PANELLERİ İÇİN GÖLGELENME DURUMUNDA FARKLI ALGORİTMALAR İLE ÇALIŞAN MPPT TASARIMI VE KARŞILAŞTIRILMASI

Yasin SEZER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MART 2022

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Yasin SEZER
08/03/2022

GÜNEŞ PANELLERİ İÇİN GÖLGELENME DURUMUNDA FARKLI ALGORİTMALAR İLE ÇALIŞAN MPPT TASARIMI VE KARŞILAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Yasin SEZER

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mart 2022

ÖZET

Enerji ihtiyacı özellikle son on yılda hızla artmaktadır. İnsanlığın enerji ihtiyacı büyük oranda çevre için son derece tehlikeli olan fosil veya nükleer kaynaklardan karşılanmakta olup, fosil kaynakların da sınırlı kaynaklar olması da ilerisi için ayrı bir problemdir. Temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına olan talep bu sebeplerden her geçen gün artmaktadır. Güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde her bağlamda en önde gelen enerji kaynağıdır. Güneş enerjisini elektriksel enerjiye dönüştürmedeki verimlilik ve güneş ışınımlarının sürekliliği ile ilgili sınırlamalar olması sebebiyle, güneş enerjisi teknolojisinin etkin kullanımının her geçen gün araştırılması ve geliştirilmesi gereken konudur. Güneş ışınımı ve sıcaklık değişiminin güneş panelinin verimliliği üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Güneş ışınımları azaldığında veya sıcaklık arttığında panellerin verimliliği önemli ölçüde düşmektedir. Verimliliği en üst düzeye çıkartmak için maksimum güç noktası takibi kullanımı bir zorunluluk olmuştur. Mevcut tez çalışmasında, yükselten dönüştürücü topolojisi kullanılarak maksimum güç noktası takibi tasarlanmış ve Matlab Simulink programında benzetim çalışmaları ile doğrulanmıştır. Değiştir ve gözle, arttırılmış iletkenlik, kısa devre akımı, açık devre gerilimi, parçacık sürü optimizasyonu, modifiye parçacık sürü optimizasyonu ve guguk kuşu arama metodu gibi değişken maksimum güç noktası takibi algoritmaları değişken ışınım ve sıcaklık değerlerinde incelenmiştir. Tez çalışması ile; fotovoltaik sistemler için seçim krtieri olabilecek verimlilik, tepki süresi ve güç salınımları gibi diğer önemli parametreler de incelenmiş ve birbirleriyle karşılaştırmaları detaylı olarak analiz edilerek elde edilen sonuçlar literatüre ilave edilmiştir.

Bilim Kodu : 90544
Anahtar Kelimeler : Maksimum güç noktası takibi (MPPT), MPPT algoritmaları, Fotovoltaik sistemler, Gölgelenme şartlarında PV panellerde MPPT, Yükselten dönüştürücü ile MPPT tasarımı, MPPT algoritmalarının karşılaştırılması
Sayfa Adedi : 113
Danışman : Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU

DESIGN AND COMPARISON OF MPPT UNDER SHADING CONDITIONS WITH DIFFERENT ALGORTIHMS FOR SOLAR PANELS

(M. Sc. Thesis)

Yasin SEZER

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

March 2022

ABSTRACT

The need for energy is increasing rapidly, especially last decade. The energy demand for humanity is mostly provided by fossil or nuclear sources, which are extremely dangerous for the environment, and the limited resources of fossil resources is a seperate problem for the future. The demand for clean and sustainable energy sources is increasing every day due to these reasons. Solar power energy production comes foremost among other renewable sources. Because of having some restrictions about efficient conversion of energy from solar energy to electrical energy and consistency of solar radiation, the usage of solar power technology needs to be researched and enhanced every day. The change of solar irradiation and temperature have significant effects on solar panel's efficiency. When the radiation decreases or temperature increases, the efficiency of the solar panel can decrease dramatically. To maximize efficiency, usage of maximum power point tracker has become a necessity. In the current thesis, a Photovoltaic (PV) system with Maximum Power Point Tracking has been designed using the boost converter topology and verified by simulation studies in MATLAB / Simulink programme. Comparison of different MPPT algorithms such as perturb and observe (P&O), incremental conductance (INC), short-circuit current (SCC), open-circuit voltage (OCV), particle swarm optimization (PSO), modified particle swarm optimization (MPSO) and cuckoo search (CS) methods have been examined at varying solar irradiation and for different temperatures. With the thesis work; other important parameters such as efficiency, response time and power oscillations, which can be selection criteria for photovoltaic systems, were also examined and their comparisons with each other were analysed in detail and the results obtained were added to the literature.

Science Code : 90544
Key Words : Maximum power point tracking (MPPT), MPPT algorithms, Photovoltaic (PV) systems, PV MPPT Under Shading Conditions, MPPT design with boost converter, Comparison of MPPT algorithms
Page Number : 113
Supervisor : Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU

TEŞEKKÜR

Bu çalışma boyunca her türlü akademik desteği veren danışmanım Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU'na saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım. Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve tezimin her aşamasında yanımda olan ve bana azim ve güç veren tüm arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xii

SİMGELER VE KISALTMALAR xvi

1. GİRİŞ 1

2. GÜNEŞ ENERJİSİ 3

2.1. Fotovoltaik Sistemler 3

2.2. Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı ve Çalışma Prensipleri 4

2.3. Fotovoltaik Hücre, Modül ve Dizi Tanımlamaları 6

2.4. Panel Verimliliğini Etkileyen Faktörler 7

2.5. Güneş Panellerinin P-V ve I-V Karakteristikleri 8

2.5.1. Sıcaklığın panel verimliliklerine etkisi 8

2.5.2. Gölgelenme ve panel verimliliklerine etkisi 8

3. MAKSİMUM GÜÇ TAKİP SİSTEMLERİ 11

3.1. Darbe Genlik Modülasyonu (PWM) Tekniği 11

3.2. MPPT Tekniği 12

3.3. PWM ve MPPT Tekniklerinin Kıyaslanması 13

3.4. DC/DC Dönüştürücülü MPPT Tabanlı Teknikler 14

3.4.1. Akım veya gerilim kontrolüne dayalı MPPT tekniği 14

3.4.2. Görev döngüsü kontrolüne dayalı MPPT tekniği 15

3.5. Yükselten Dönüştürücü Topolojisi 16

Sayfa

3.5.1. Anahtar kapalı durumda iken eşdeğer devre analizi 18

3.5.2. Anahtar açık durumda iken eşdeğer devre analizi 19

4. MPPT ALGORİTMALARI 21

4.1. MPPT Algoritmalarının Sınıflandırılmaları 22

4.2. Kısa Devre Akımı (SCC) Tekniği ile Maksimum Güç Noktası Takibi 23

4.3. Açık Devre Gerilim (OCV) Tekniği ile Maksimum Güç Noktası Takibi 25

4.4. Değiştir ve Gözle (P&O) Algoritması ile Maksimum Güç Noktası Takibi 27

4.5. Artırılmış İletkenlik (INC) Algoritması ile Maksimum Güç Noktası Takibi 28

4.6. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ile Maksimum Güç Noktası Takibi 31

4.6.1. Parçacık sürü optimizasyonuna genel bakış 31

4.6.2. Parçacık sürü optimizasyonun maksimum güç noktası takip algoritması olarak uygulanması 33

4.7. Modifiye Parçacık Sürü Optimizasyonu (MPSO) ile Maksimum Güç Noktası Takibi 36

4.8. Guguk Kuşu Arama (CS) Algoritması ile Maksimum Güç Noktası Takibi 38

4.8.1. Guguk kuşu arama algoritmasına genel bakış 38

4.8.2. Guguk kuşu arama algoritmasının maksimum güç noktası takibi algoritması olarak kullanımı 40

5. SİSTEM TASARIMI VE MODELLENMESİ 43

5.1. MPPT-Yükselten Dönüştürücü Tasarımı 43

5.2. Fotovoltaik Panel Dizisi, P-V ve I-V Karakteristikleri 46

5.3. Simülasyon Devre Şemaları 49

6. SİMÜLASYON ÇIKTILARI 57

6.1. PV Panele Uygulanan Işınım ve Sıcaklık Girdileri 57

6.2. Değiştir ve Gözle Algoritması Simülasyon Çıktıları 57

6.3. Artırılmış İletkenlik Simülasyon Çıktıları 61

6.4. Kısa Devre Akımı Tekniği Simülasyon Çıktıları 65

Sayfa

6.5. Açık Devre Gerilimi Tekniği Simülasyon Çıktıları 70

6.6. Parçacık Sürü Optimizasyonu Tekniği Simülasyon Çıktıları 75

6.7. Modifiye Parçacık Sürü Optimizasyonu Tekniği Simülasyon Çıktıları 79

6.8. Guguk Kuşu Arama Algoritması Tekniği Simülasyon Çıktıları 83

6.9. Literatür İncelemesi 87

6.10. Benzetim Sonuçlarının Tablo Halinde Kıyaslanması 88

7. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ 105

KAYNAKLAR 109

ÖZGEÇMİŞ ..... **Error! Bookmark not defined.**

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. PWM ve MPPT tekniklerinin avantajlarının kıyaslanması 14

Çizelge 3.2. PWM ve MPPT tekniklerinin dezavantajlarının kıyaslanması..... 14

Çizelge 4.1. MPPT algoritmalarının klasik ve yapay zekâ temelli sınıflandırılması 23

Çizelge 4.2. MPPT algoritmalarının takip tekniklerine göre sınıflandırılması..... 23

Çizelge 5.1. Yükselten dönüştürücü devresi devre elemanları değerleri..... 43

Çizelge 5.2. Mevcut çalışmada kullanılan panel dizisinin farklı sıcaklık ve ışınım değerlerinde beklenen maksimum güç noktası ve maksimum güç noktasındaki akım ve gerilim değerleri 48

Çizelge 6.1. Farklı ışınım ve sıcaklıklar altında PV dizinin açık devre gerilim ölçümleri..... 73

Çizelge 6.2. Değiştir ve gözle ile parçacık sürü optimizasyonu algoritmalarının farklı ışınım değerleri altında verimliliklerinin kıyaslanması 87

Çizelge 6.3. Değiştir ve gözle algoritması devre ölçümleri..... 89

Çizelge 6.4. Değiştir ve gözle algoritması kıyaslama parametreleri 90

Çizelge 6.5. Artırılmış iletkenlik (INC) algoritması devre ölçümleri..... 91

Çizelge 6.6. Artırılmış iletkenlik (INC) algoritması kıyaslama parametreleri 92

Çizelge 6.7. Kısa devre akımı tekniği (SCC) devre ölçümleri 93

Çizelge 6.8. Kısa devre akımı tekniği (SCC) tekniği kıyaslama parametreleri..... 94

Çizelge 6.9. Açık devre gerilimi tekniği (OCV) devre ölçümleri 95

Çizelge 6.10. Açık devre gerilimi tekniği (OCV) kıyaslama parametreleri..... 96

Çizelge 6.11. Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) devre ölçümleri..... 97

Çizelge 6.12. Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) kıyaslama parametreleri 98

Çizelge 6.13. Modifiye parçacık sürü optimizasyonu (MPSO) devre ölçümleri 99

Çizelge 6.14. Modifiye parçacık sürü optimizasyonu (MPSO) kıyaslama parametreleri..... 100

Çizelge 6.15. Guguk kuşu arama (CS) algoritması devre ölçümleri 101

Çizelge 6.16. Guguk kuşu arama (CS) algoritması kıyaslama parametreleri..... 102

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 6.17. Çalışmada kullanılan algoritmaların verimliliklerinin karşılaştırılması... 102

Çizelge 6.18. Çalışmada kullanılan algoritmaların takip tepki sürelerinin karşılaştırılması..... 103

Çizelge 6.19. Çalışmada kullanılan algoritmaların kararlı durum güç salınımlarının karşılaştırılması..... 103

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. Kansas şehrine ait a) günün saatlerine göre güneşlenme miktarı, b) mevsimlere göre güneşlenme miktarı 4

Şekil 2.2. Güneş hücresinin eşdeğer devresi 5

Şekil 2.3. Güneş panellerinin tipik akım-gerilim ve güç-gerilim eğrisi 6

Şekil 2.4. Fotovoltaik hücre, modül, panel ve dizi 7

Şekil 2.5. Tipik bir güneş panelinin 1000 W/m^2 ışınım değerinde, 45 °C ve 25 °C sıcaklıkta a) I-V ve b) P-V eğrisi..... 8

Şekil 2.6. Tipik bir güneş panelinin 25 °C sıcaklıkta sırasıyla 1000 W/m^2, 900 W/m^2 800 W/m^2, 700 W/m^2, 600 W/m^2, 500 W/m^2 ve 400 W/m^2 ışınım değerlerinde a) I-V, b) P-V eğrileri 9

Şekil 3.1. PWM tekniğinin temel blok şeması 12

Şekil 3.2. MPPT tekniği ile maksimum güç noktası izleme temel blok şeması..... 13

Şekil 3.3. Akım veya gerilim kontrolüne dayalı MPPT tekniği 15

Şekil 3.4. Görev döngüsü kontrolüne dayalı MPPT tekniği..... 16

Şekil 3.5. Yükselten dönüştürücü devre şeması 17

Şekil 3.6. Yükselten dönüştürücü anahtar kapalı durumda iken eşdeğer devre şeması . 17

Şekil 3.7. Yükselten dönüştürücü anahtar açık durumda iken eşdeğer devre şeması 17

Şekil 3.8. Yükselten dönüştürücü tipik dalga formları a) indüktör gerilimi, b) indüktör akımı, c) diyot akımı, d) kapasitör akımı 18

Şekil 4.1. Kısa devre akımı tekniği akış şeması 25

Şekil 4.2. Açık devre gerilim tekniği akış şeması 27

Şekil 4.3. Değiştir ve gözle algoritması akış şeması 28

Şekil 4.4. Maksimum güç noktasını ve algoritmanın prensibini gösteren PV eğrisi 30

Şekil 4.5. Arttırılmış iletkenlik (INC) MPPT algoritması akış şeması..... 31

Şekil 4.6. Parçacıkların global en iyi (g*) ve mevcut en iyi (x_i^*) konumlara hareketi... 32

Şekil 4.7. Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) MPPT algoritması akış şeması 35

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.8. Modifiye parçacık sürü optimizasyonu ile maksimum güç noktası takibi akış şeması 37

Şekil 4.9. Levy uçuşu 38

Şekil 4.10. Guguk kuşu arama algoritması ile maksimum güç noktası takibi akış şeması 42

Şekil 5.1. Yükselten dönüştürücü devre şeması 43

Şekil 5.2. Yükselten dönüştürücü giriş kapasitörü parametreleri 44

Şekil 5.3. Yükselten dönüştürücü indüktör parametreleri 44

Şekil 5.4. Yükselten dönüştürücü çıkış kapasitörü parametreleri 45

Şekil 5.5. Yükselten dönüştürücü anahtarlama elemanı parametreleri 45

Şekil 5.6. Yükselten dönüştürücü diyot parametreleri 46

Şekil 5.7. Tez çalışmasında kullanılan 4x4 fotovoltaik panel dizisi özellikleri 46

Şekil 5.8. Tez çalışmasında kullanılan fotovoltaik hücre model parametreleri 47

Şekil 5.9. 25 °C derece sıcaklık değerinde, 1000 W/m^2, 800 W/m^2, 600 W/m^2 ve 400 W/m^2 ışınım değerleri altında panel dizisinin akım-gerilim eğrisi 47

Şekil 5.10. 25 °C derece sıcaklık değerinde, 1000 W/m^2, 800 W/m^2, 600 W/m^2 ve 400 W/m^2 ışınım değerleri altında panel dizisinin güç-gerilim eğrisi 47

Şekil 5.11. 1000 W/m^2 ışınım değerinde, 25 °C ve 45 °C sıcaklık değerleri altında PV dizisinin akım-gerilim eğrisi 48

Şekil 5.12. 1000 W/m^2 ışınım değerinde, 25 °C ve 45 °C sıcaklık değerleri altında PV dizinin güç-gerilim eğrisi 48

Şekil 5.13. Değiştir ve gözle, artırılmış iletkenlik algoritmaları simulink devre şeması 49

Şekil 5.14. Kısa devre tekniği simulink devre şeması 51

Şekil 5.15. Kısa devre tekniği değişim tespit devresi 52

Şekil 5.16. Kısa devre akımı tekniğinde, değişim tespit devresi tarafından üretilen darbe sinyali 52

Şekil 5.17. Açık devre gerilim tekniği simulink devre şeması 53

Şekil 5.18. Açık devre gerilim tekniği değişim tespit devresi 54

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.19. Açık devre gerilim tekniğinde, değişim tespit devresi tarafından üretilen darbe sinyali 54

Şekil 5.20. Parçacık sürü optimizasyonu, modifiye parçacık sürü optimizasyonu ve guguk kuşu arama algoritmaları için simulink devre şeması 55

Şekil 5.21. Parçacık sürü optimizasyonu, modifiye parçacık sürü optimizasyonu ve guguk kuşu arama algoritmaları için değişim tespit devresi 56

Şekil 5.22. Parçacık sürü optimizasyonu, modifiye parçacık sürü optimizasyonu ve guguk kuşu arama algoritmalarında kullanılan değişim tespit devresi tarafından üretilen darbe sinyalleri 56

Şekil 6.1. PV panel dizisinin zamana bağlı ışınım ve sıcaklık girdileri 57

Şekil 6.2. Değiştir ve gözle algoritması ile zamana göre çıkış gücü grafiği 58

Şekil 6.3. Değiştir ve gözle algoritması ile zamana göre panel gücü grafiği 58

Şekil 6.4. Değiştir ve gözle algoritması ile zamana göre a) çıkış gerilimi, b) çıkış akımı grafiği 59

Şekil 6.5. Değiştir ve gözle algoritması görev döngüsü-zaman grafiği..... 60

Şekil 6.6. Değiştir ve gözle algoritması kararlı durum görev döngüsü 60

Şekil 6.7. Artırılmış iletkenlik algoritması ile zamana göre çıkış gücü grafiği..... 61

Şekil 6.8. Artırılmış iletkenlik (INC) algoritması ile zamana göre panel gücü grafiği .. 62

Şekil 6.9. Artırılmış iletkenlik algoritması ile zamana göre a) çıkış gerilimi, b) çıkış akımı grafiği 63

Şekil 6.10. Artırılmış iletkenlik algoritması görev döngüsü-zaman grafiği 64

Şekil 6.11. Artırılmış iletkenlik algoritması kararlı durum görev döngüsü 64

Şekil 6.12. Kısa devre tekniği ile zamana göre çıkış gücü grafiği 65

Şekil 6.13. Kısa devre akım tekniği ile zamana göre panel gücü grafiği 66

Şekil 6.14. Kısa devre akımı tekniği ile zamana göre a) çıkış gerilimi, b) çıkış akımı grafiği 67

Şekil 6.15. Kısa devre akımı ölçümleri 68

Şekil 6.16. Kısa devre akımı algoritması görev döngüsü-zaman grafiği 69

Şekil 6.17. Kısa devre tekniği kararlı durum görev döngüsü 69

Şekil 6.18. Açık devre gerilimi tekniği ile zamana göre çıkış gücü grafiği 70

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.19. Açık devre gerilimi tekniği ile zamana göre panel gücü grafiği 71

Şekil 6.20. Açık devre gerilim tekniği ile zamana göre a) çıkış gerilimi, b) çıkış akımı grafiği 72

Şekil 6.21. Açık devre gerilimi ölçümleri 73

Şekil 6.22. Açık devre gerilim tekniği görev döngüsü-zaman grafiği 74

Şekil 6.23. Açık devre gerilim tekniği kararlı durum görev döngüsü 74

Şekil 6.24. Parçacık sürü optimizasyonu algoritması ile zamana göre çıkış gücü grafiği 75

Şekil 6.25. Parçacık sürü optimizasyonu algoritması ile zamana göre panel gücü grafiği 76

Şekil 6.26. Parçacık sürü optimizasyonu algoritması ile zamana göre a) çıkış gerilimi, b) çıkış akımı grafiği 77

Şekil 6.27. Parçacık sürü optimizasyonu algoritması görev döngüsü-zaman grafiği..... 78

Şekil 6.28. Parçacık sürü optimizasyonu algoritması kararlı durum görev döngüsü 78

Şekil 6.29. Modifiye parçacık sürü optimizasyonu (MPSO) algoritması ile zamana göre panel gücü grafiği..... 79

Şekil 6.30. Modifiye parçacık sürü optimizasyonu (MPSO) algoritması ile zamana göre panel gücü grafiği..... 80

Şekil 6.31. Modifiye parçacık sürü optimizasyonu (MPSO) algoritması ile zamana göre a) çıkış gerilimi, b) çıkış akımı grafiği..... 81

Şekil 6.32. Modifiye parçacık sürü optimizasyonu (MPSO) algoritması görev döngüsü-zaman grafiği..... 82

Şekil 6.33. Modifiye parçacık sürü optimizasyonu algoritması kararlı durum görev döngüsü 82

Şekil 6.34. Guguk kuşu arama algoritması ile zamana göre çıkış gücü grafiği 83

Şekil 6.35. Guguk kuşu arama algoritması ile zamana göre panel gücü grafiği 84

Şekil 6.36. Guguk kuşu arama algoritması ile zamana göre çıkış gerilimi ve çıkış akımı grafiği 85

Şekil 6.37. Guguk kuşu arama algoritması görev döngüsü-zaman grafiği..... 86

Şekil 6.38. Guguk kuşu arama algoritması kararlı durum görev döngüsü 86

Şekil 6.39. Algoritmaların ışınıma bağlı verimlilik grafiği..... 103

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	**Açıklamalar**
hz	Hertz
kW	KiloWatt
m²	Metrekare
W	Watt

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
ANFIS	Yapay nöro bulanık çıkarım şeması
ANN	Yapay sinir ağları
CS	Guguk kuşu arama
DC	Doğru akım
DCR	DC rezistans
ESR	Eşdeğer seri direnç
FLC	Bulanık mantık kontrolcüsü
GA	Genetik algoritma
GWO	Gri kurt optimizasyonu
INC	Artırılmış iletkenlik
MPPT	Maksimum güç noktası takibi
MPSO	Modifiye parçacık sürü optimizasyonu
OCV	Açık devre gerilimi
PI	Orantılı entegratör
PO	Değiştir ve gözle
PSO	Parçacık sürü optimizasyonu
PV	Fotovoltaik
PWM	Darbe genlik modulasyonu
SCC	Kısa devre akımı

1. GİRİŞ

Enerji üretiminde kullanılan fosil yakıt kaynakları hızla tükenmektedir. Gelişen dünyada her geçen gün artan enerji ihtiyacı neticesinde fosil yakıt ve nükleer enerji kullanımının artması, karbon emisyon ve atmosfere salınan sera gazı miktarının artışına sebep olmaktadır. Bu enerji kaynaklarının kullanımı çevreye zarar vermekte ve fosil yakıtların sınırlı kaynaklar olması, ilerleyen zamanlarda enerji kıtlığına yol açabileceği öngörülmektedir. Bu kaynaklara alternatif olarak güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve hidroelektrik enerji gibi yenilenebilir enerji kaynakları geleceğimiz için sürdürülebilir ve temiz enerji kaynakları olma potansiyeli taşımaktadır [1]. Güneş enerjisi temiz, tükenmeyen, bol miktarda bulunan ve dışarıya bağımlı olmadan kullanılabilecek bir enerji çeşidi olması sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelmektedir.

Güneş enerjisinden ısı harici elektrik enerjisi olarak faydalanabilmek için fotovoltaik güneş panelleri gerekmektedir. PV paneller, güneşten gelen fotonları DC gerilim ve DC akım'a dönüştürmeye yarayan materyallerdir.

Güneş enerjisini elektriksel enerjiye dönüştürmedeki verimlilik ve güneş ışınımlarının sürekliliği ile ilgili kısıtlamalar olması sebebiyle, güneş enerjisi teknolojisinin kullanımının her geçen gün araştırılması ve geliştirilmesi önem arz etmektedir. PV panellerin ısınma ve gölgelenme sebebiyle verimliliği ciddi miktarda düşebilmektedir. P-V ve I-V eğrilerinin lineer olmaması sebebiyle, panelden elde edilebilecek maksimum gücün belirli bir noktası bulunmakta ve bu noktadan bir miktar sapıldığında dahi, ciddi güç düşüşleri, başka bir deyişle verimlilikte önemli miktarda kayıplar ortaya çıkmaktadır. Panel verimliliğinin sıcaklık ve gölgelenme gibi durumlara karşı çok duyarlı olmasından dolayı, Maksimum Güç Noktası İzleme (MPPT) çalışmaları ile panelden alınabilecek gücün maksimum seviyede olması sağlanmaktadır. Panelden maksimum verimliliği elde edebilmek amacıyla panel çıkışına genellikle bir DC-DC dönüştürücü bağlanarak, dönüştürücünün anahtarlama elemanının kapısına optimizasyon algoritmalarının çıktısı olan görev döngüsü uygulanması sayesinde maksimum güç noktası takip edilebilmektedir.

Maksimum güç noktası izleme tekniği temelde DC/DC dönüştürücü ve kontrolcü devresi olarak iki temel elemandan oluşmaktadır. DC/DC dönüştürücü olarak düşüren, yükselten ve düşüren-yükselten gibi farklı dönüştürücüler kullanılabilmektedir [2]. Kontrol devresinde

kullanılan algoritmanın çıkışı, darbe genlik modülasyonu şeklinde görev döngüsü olarak dönüştürücü devrelerinin kapılarına uygulanır [2].

Literatürde Değiştir ve Gözlemle (P&O), Arttırılmış iletkenlik (INC), Parçacık sürü optimizasyonu (PSO), Modifiye parçacık sürü optimizasyonu (MPSO), Kısa devre akımı (SCC) metodu, Açık devre gerilimi (OCV) metodu, Guguk kuşu arama (CS) algoritması, Bulanık mantık kontrolcüsü (FLC), Yapay nöro bulanık çıkarım şeması (ANFIS), Yapay sinir ağı (ANN), Gri kurt optimizasyonu (GWO) ve Genetik algoritma (GA) gibi pek çok çeşitte optimizasyon türleri bulunmaktadır [2]. Bu algoritmalar birbirlerine göre hızlı takip tepki süreleri, pürüzsüz güç eğrileri, kararlı durumdaki güç salınımları, değişen durumlara tepki süreleri ve verimlilik bakımından birbirleriyle kıyaslanır ve sistem için en optimum olanı seçilmesi hedeflenir [3].

Bu çalışmada yükselten dönüştürücü ile bir maksimum güç noktası izleyici devresi tasarlanmıştır. 3.2 kW güç elde edebilmek için 200 W gücünde bir panel, 4 seri ve 4 paralel bağlantı dizisi şeklinde kullanılmıştır. Farklı kategorilerde sınıflandırılan P&O, INC, SCC, OCV, PSO, MPSO ve CS maksimum güç noktası izleme algoritmalarının çıktıları MPPT devresinin kontrolcüsünde darbe genlik modülasyon sinyalinin görev döngüsü olarak kullanılmıştır. Bu çalışmanın amacı, bu algoritmalar arasında MATLAB/Simulink benzetim ortamında aynı dönüştürücü parametreleri kullanılarak değişken güneş ışınımları ve farklı sıcaklıklar ile rezistif bir yük altında kıyaslama yaparak avantaj ve dezavantajları üzerine önerilerde ve literatüre katkıda bulunmaktır.

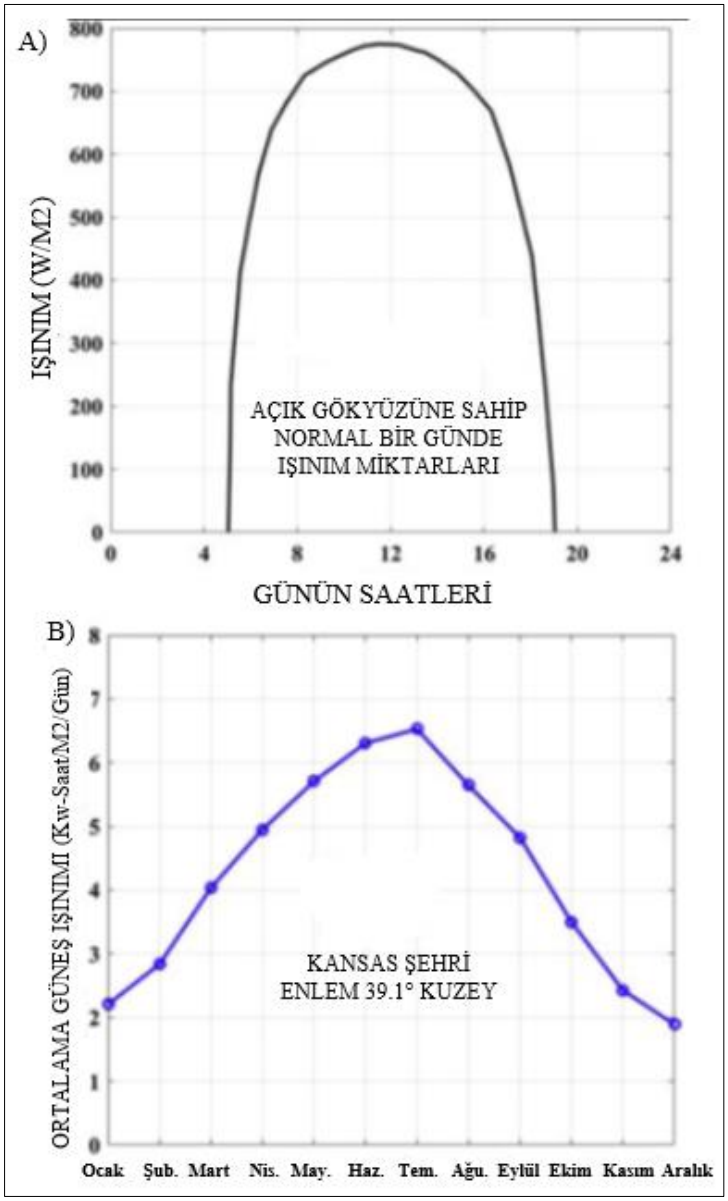
2. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş dünyamızdaki en önemli enerji kaynaklarından birisidir. Güneş ışınımı 1.7 x 10^{17} W değerinde güce sahip olmakla birlikte %34'ü geri yansır, %42'si doğrudan ısıya dönüşür, %23'ü su buharında depolanır ve %0.023 kadarlık kısmını ise bitkiler kullanır [5]. İnsanlığın enerji için kaynak kullanımı ise çoğunlukla fosil yakıtlardan, nükleer enerjilerden ve jeotermal enerji gibi kaynaklardan tedarik edilmektedir. İhtiyaç duyulan enerji kullanımı için son yıllara kadar doğrudan güneşten faydalanılabilecek verimli, dikkate değer bir dönüşüm yolu bulunmamaktadır. Bunların sebepleri arasında dönüşüm için yeterince verimli cihazların olmayışı, birçok bölgede coğrafi durumlardan dolayı güneş ışınımının farklı değerlere sahip oluşu ve güneş enerjisinin mevsimden mevsime, günden güne ve de yeryüzündeki farklı noktalarda farklı değerlere sahip olması yer almaktadır [5].

2.1. Fotovoltaik Sistemler

Fotovoltaik sistemler güneş ışınlarından aldığı enerjiyi doğrudan elektriğe çeviren sistemlere verilen isimdir. Fotovoltaik sistemlerin giriş kaynağı güneş enerjisi, yani güneşten saçılan ışınımlardır. Güneş, 6000 Kelvin değerinde yüzey sıcaklığına sahip siyah cisim olarak elektromanyetik radyasyon saçar. Elektromanyetik radyasyon saçma sebebi ise içerisinde hidrojeni helyuma dönüştüren nükleer reaksiyonların gerçekleşmesidir [5].

Güneş ışıması olayı, belirli yerdeki birim alan başına düşen güneşlenme miktarı ile ilgili bir olaydır. Güneşlenme miktarı dünyanın konumuna, günün saatine, mevsimlere, güneş ışınlarının geliş açısına, bulutlanma ve diğer çevresel faktörlere bağlı olarak değişir . Şekil 2.1'de günün saatlerine ve mevsimlere göre güneşlenme miktarının birim metrekare başına güç (W/m^2) cinsinden Kansas şehrine ait örnek bir değişimi verilmiştir [5].



Şekil 2.1. Kansas şehrine ait a) günün saatlerine göre güneşlenme miktarı, b) mevsimlere göre güneşlenme miktarı [5]

Güneş panelleri tasarımlarında güneşlenme miktarının değişimleri, bulutlanma, sıcaklık değişimleri ve diğer çevresel faktörler gözetilerek en kötü koşullarda dahi sistemin güvenilir bir şekilde çalışması gözetilmelidir.

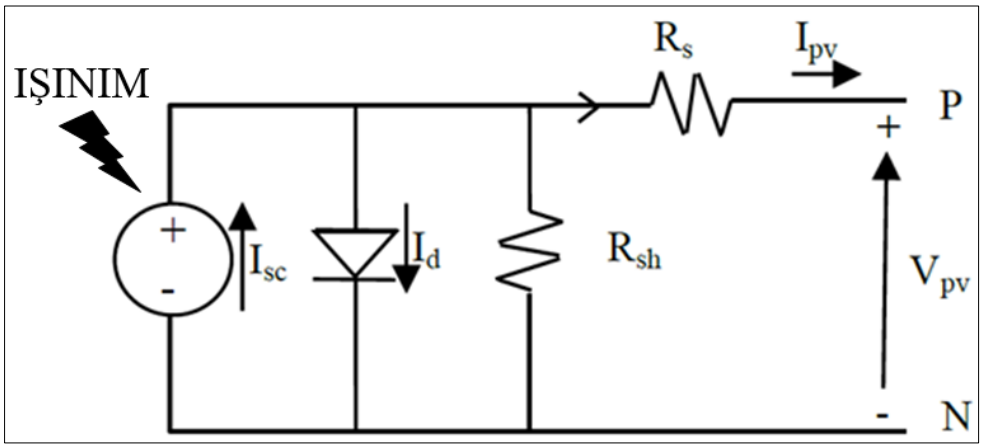
2.2. Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı ve Çalışma Prensipleri

Güneş hücresi, güneşten elektrik enerjisi dönüşümünde kullanılan en temel elemandır. Güneş enerjisinin elektriğe çevrilmesinde çok önemli bir rol oynar. Enerji dönüşümünde

tatmin edici bir performans için hücrelerin en verimli şekilde dönüşüm yapması gerekmektedir.

Temel olarak güneş hücreleri güneşten gelen fotonları emer ve bunun sonucunda DC gerilim ve DC akım üretir. Bu işlem ilk olarak güneş hücresinin elektronları bir üst enerji seviyesine taşıyacak olan ışık soğurma işlemiyle, daha sonrasında ise bu yüksek enerjili elektronların hareketi ile elektron akımı oluşur. Güneş hücrelerinin temel adımları sırası ile fotonların emilimi sayesinde oluşan taşıyıcıların üretimi, bu taşıyıcıların birleşimi ile akım üretilmesi ve panel üzerinde gerilim üretimi şeklinde gerçekleşir.

Güneş panellerinin yapıtaşını oluşturan olan güneş paneli hücreleri temel olarak p-n birleşiminden oluşan bir yarı iletkendir. Güneş hücresinin eşdeğer devresi Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Güneş hücresinin eşdeğer devresi

Güneş hücresinin I-V karakteristiği Eşitlik 2.1'de verilmiştir.

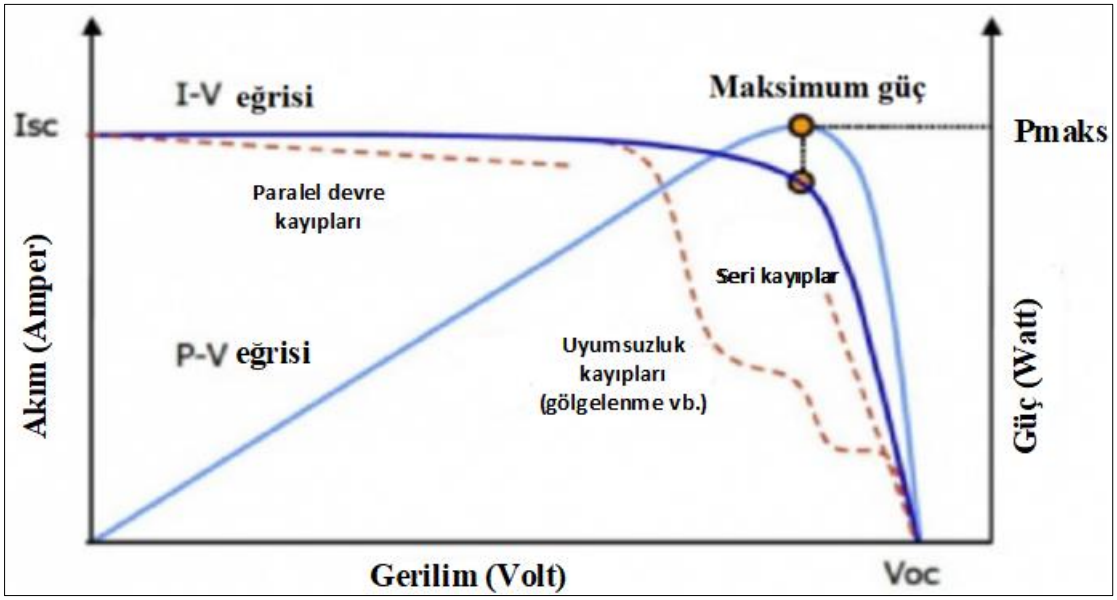
$$Ipv = I_{SC} - I_o(\exp(\frac{q(V_{pv} + RsI)}{nKT}) - 1) - \frac{V_{PV}+R_sI}{R_{SH}} \quad (2.1)$$

Denklem'de yer alan parametre kısaltmalarının açılımı aşağıdaki gibidir.

- Vpv ve Ipv sırasıyla hücre terminallerindeki çıkış gerilimini ve akımı gösterir.
- Rs ve R_{SH} sırasıyla seri ve paralel dirençlerdir.
- q elektron yükü (1.602 x 10-19).

- Isc hücre üzerine düşen ışık neticesinde meydana gelen akım.
- Io diyot ters saturasyon akımı.
- n seri bağlı hücre sayısı.
- K Boltzmann sabiti (8,61 x 10-5) ve T ise Kelvin cinsinden sıcaklık değeridir.

Eşitlik 2.1'de gösterildiği üzere fotovoltaik hücrelerin I-V karakteristiği lineer değildir ve ışınım miktarına, sıcaklığa ve yüke göre değişiklik göstermektedir. Şekil 2.3'te tipik bir güneş hücresinin akım-gerilim ve güç-gerilim eğrisi verilmiştir [4].

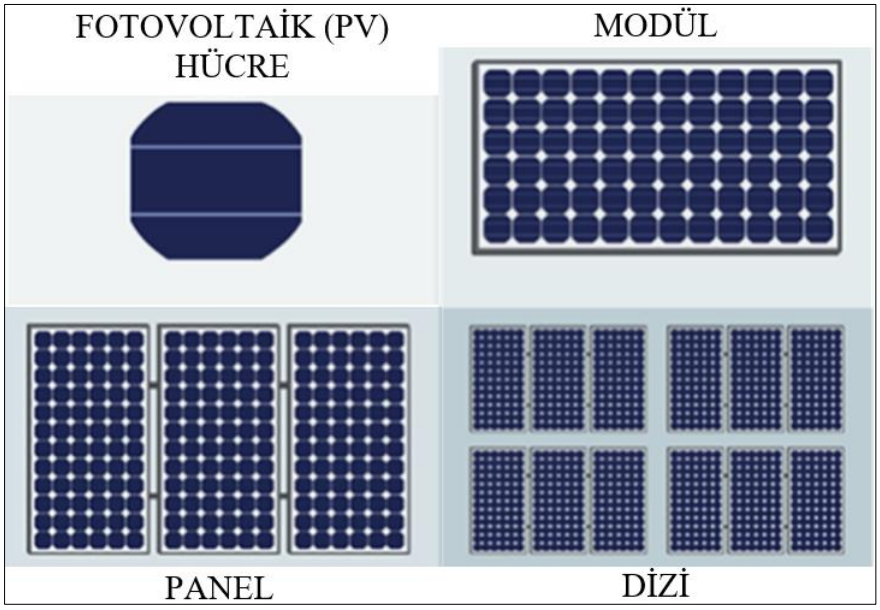


Şekil 2.3. Güneş panellerinin tipik akım-gerilim ve güç-gerilim eğrisi [4]

Şekil 2.3'ten görüldüğü üzere güneş hücreleri sadece belirli bir noktada maksimum güce sahiptirler.

2.3. Fotovoltaik Hücre, Modül ve Dizi Tanımlamaları

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde istenilen gerilim ve akım seviyelerinin elde edilebilmesi için birçok güneş hücresi seri, paralel veya seri-paralel bağlantılar yapılarak kullanılır. Birçok hücrenin birleşimi ile meydana gelen yapılara çevresel etkilere karşı koruma katmanları eklenerek fotovoltaik modüller oluşturulur. Fotovoltaik paneller ise bir veya daha fazla modülün bir araya getirilerek bağlantılarının yapılmış ve sahada kuruluma hazır hale getirilmiş şekilde oluşturulan yapılardır. Fotovoltaik diziler ise birçok sayıda modül veya panel içeren, güç üretmeye hazır birimlerdir.



Şekil 2.4. Fotovoltaik hücre, modül, panel ve dizi [6]

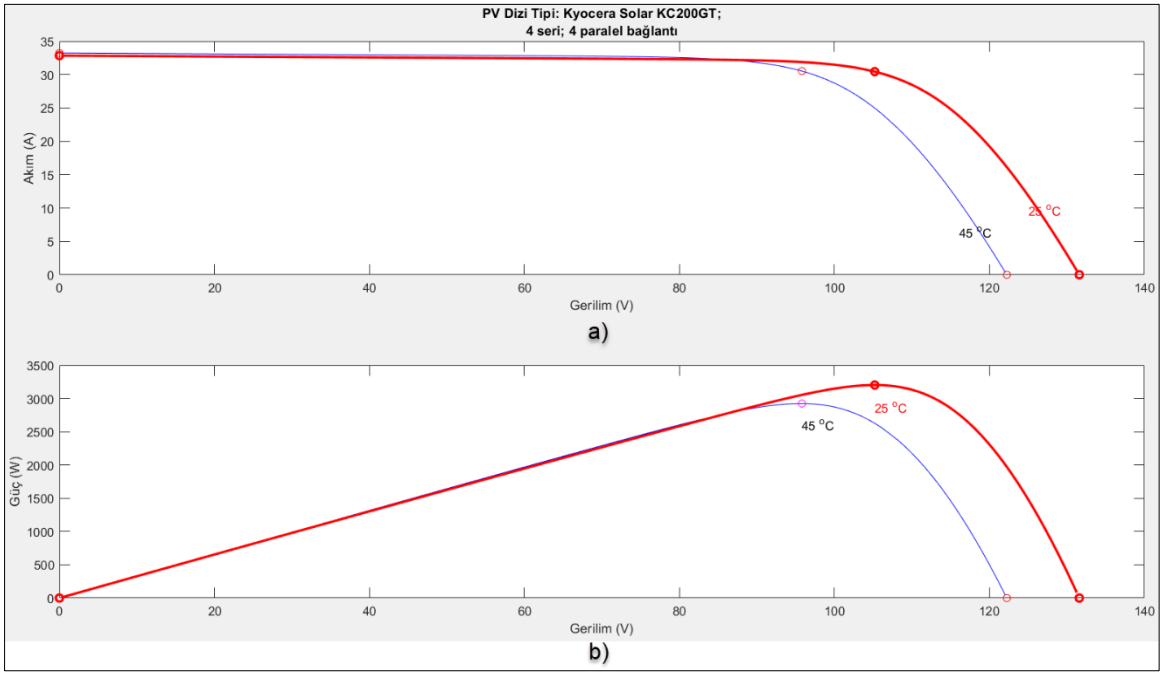
2.4. Panel Verimliliğini Etkileyen Faktörler

Güneş panellerinden alınabilecek maksimum verim; seri direnç kaynaklı kayıplar, paralel direnç kaynaklı kayıplar, sıcaklık etkisi, güneş ışımasının değeri, arka yüzey yansımaları, içsel kayıplar, absorbe edilemeyen fotonlardan dolayı oluşan kayıplar, panel üretiminde yerleştirilen yansıma karşıtı filmlerden kaynaklı kayıplar ve doluluk faktörü kaynaklı kayıplar sebebiyle günümüzde toplamda %29 seviyelerinde bulunmaktadır. Daha yüksek verimlilikte çalışan güneş panelleri üretilebilse de mevcut durumda ticari olarak kullanılan silikon panellerin verimlilik seviyeleri, ortalama %20 ile %25 seviyesi aralığındadır [6]. Verimliliği düşüren çoğu faktör panellerin üretiminden veya yarı iletken malzemelerin karakteristiklerinden kaynaklı faktörlerdir. Panellerin çıkış gücü, açık devre gerilimi, maksimum güç noktasındaki gerilimi, kısa devre akımı, maksimum güçteki kısa devre akımı gibi önemli parametreler nominal olarak 1000 W/m^2 ışıma değeri ve 25° derece sıcaklık altında test edilip verilmektedir [5]. Güneş panellerinden alınabilecek verim ayrıca Eşitlik 2.1'e göre çıkıştaki yüke de bağlıdır. Yük karakteristiği, ışıma değeri ve sıcaklık değeri değiştikçe panelden alınabilecek verimde çok ciddi miktarlarda düşmektedir. Üretimsel veya kullanılan yarı iletken malzeme kaynaklı verimliliği değiştirmek büyük miktarlarda mümkün değildir. Ancak yük karakteristiğinin değişikliğinden, ışıma değerinin düşmesinden veya sıcaklık yükselmesinden kaynaklı panel gücünün düşmesine karşı önlemler alınabilmektedir [7].

2.5. Güneş Panellerinin P-V ve I-V Karakteristikleri

2.5.1. Sıcaklığın panel verimliliklerine etkisi

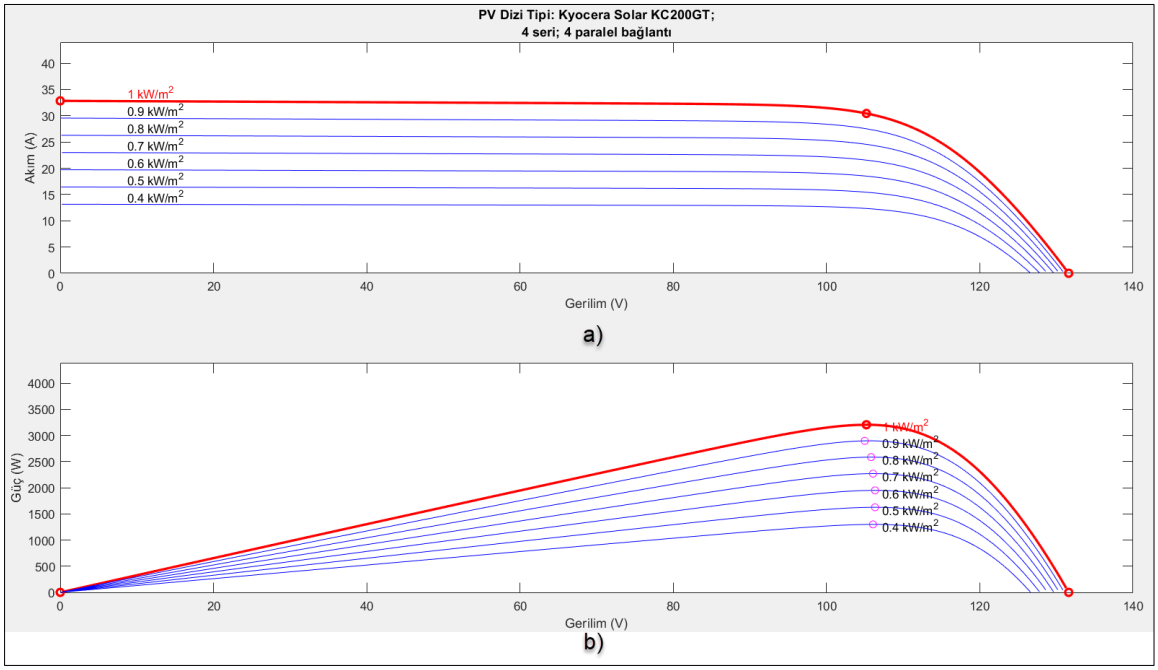
Güneş panelleri aynı ışınım değerinde ve farklı sıcaklık değerlerinde farklı maksimum güç değerlerine sahiptir. Şekil 2.5'te tipik bir güneş panelinin 1000 W/m^2 ışınım değerinde, 45° ve 25° ortam sıcaklığı değerlerinde farklı I-V ve P-V karakteristiklerinin, dolayısıyla farklı maksimum güç noktası değerlerinin olduğu görülmektedir. Sıcaklık yükseldikçe, panelden alınabilecek maksimum gücün değeri azalmaktadır.



Şekil 2.5. Tipik bir güneş panelinin 1000 W/m^2 ışınım değerinde, 45° ve 25° sıcaklıkta a) I-V ve b) P-V eğrisi

2.5.2. Gölgelenme ve panel verimliliklerine etkisi

Güneş panelleri aynı sıcaklık değerinde ve farklı ışınım değerlerinde farklı maksimum güç değerlerine sahiptir. Şekil 2.6'da tipik bir güneş panelinin 25° ortam sıcaklığı değerinde ve farklı ışınım değerlerindeki farklı I-V ve P-V karakteristiklerinin, dolayısıyla farklı maksimum güç noktalarının olduğu gösterilmiştir. Işınım değerleri düştükçe panelden alınabilecek maksimum güç azalmaktadır.



Şekil 2.6. Tipik bir güneş panelinin 25° sıcaklıkta sırasıyla 1000 W/m^2 , 900 W/m^2 , 800 W/m^2 , 700 W/m^2, 600 W/m^2, 500 W/m^2 ve 400 W/m^2 ışınım değerlerinde a) I-V, b) P-V eğrileri

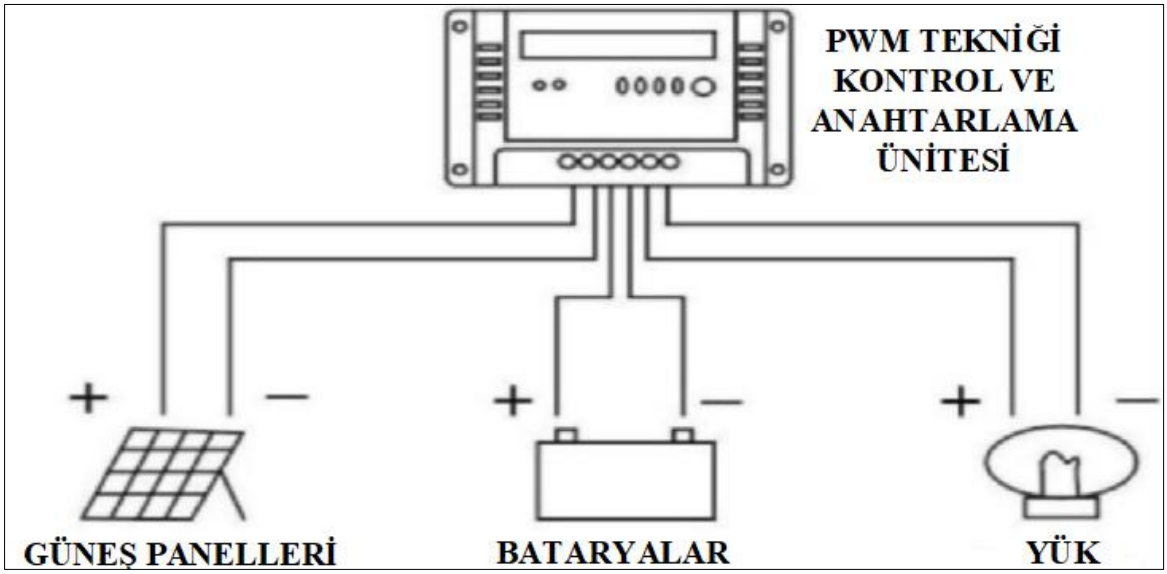
3. MAKSİMUM GÜÇ TAKİP SİSTEMLERİ

Güneş panelleri değişken durumlara karşı oldukça hassastır. Gün içindeki sıcaklık ve ışınım değerlerinin değişimi, mevsimsel değişimlerden kaynaklı bulutlanma ve sıcaklık değişimleri veya panel üzerinde herhangi bir sebepten oluşabilecek gölgelenme neticesinde güç değerlerinin düşmesi ciddi sıkıntılar meydana getirecektir. Bu durum güneş panelinin maksimum gücünü yüke aktarabilecek maksimum güç takip sistemleri ihtiyacını doğurmaktadır. Darbe Genlik Modülasyonu (PWM) ve maksimum güç noktası izleyici (MPPT) bu takip sistemlerinden en çok kullanılanlar arasında yer alır [9].

3.1. Darbe Genlik Modülasyonu (PWM) Tekniği

Darbe genlik modülasyonu ile maksimum güç takip izleme metodu, temel olarak güneş panelini bataryalara bağlayan ve bu batarya gerilimlerinin kontrolünü sağlayan bir teknik olarak özetlenebilir. Bataryaların mevcut durumu ve yeniden şarj edilme ihtiyacına göre, panelden gerekli akımı çekmek amacıyla anahtarların görev döngüsü ayarlanır. Bataryalar toplam kapasitesine yaklaşana kadar sürekli doldurulur. Toplam kapasitesine yaklaşıldıkça bataryalara aktarılan güç yavaşça azaltılır. Bataryaların toplam kapasitesi tamamen dolduktan sonra çok küçük miktarlarda ihtiyaç duyulan güç, çıkışa aktarılır. PWM tekniği ile bataryaların tamamen doldurulması ve tamamen dolduktan sonra ihtiyaç duyulan küçük dalgalanma güçlerinin çıkışa aktarılması, anahtarlama elemanlarının görev döngüsünün ayarlanarak çıkışta istenilen gerilim seviyelerinin elde edilmesi amaçlanır. Şekil 2.7’de PWM tekniğinin temel blok şeması gösterilmiştir.

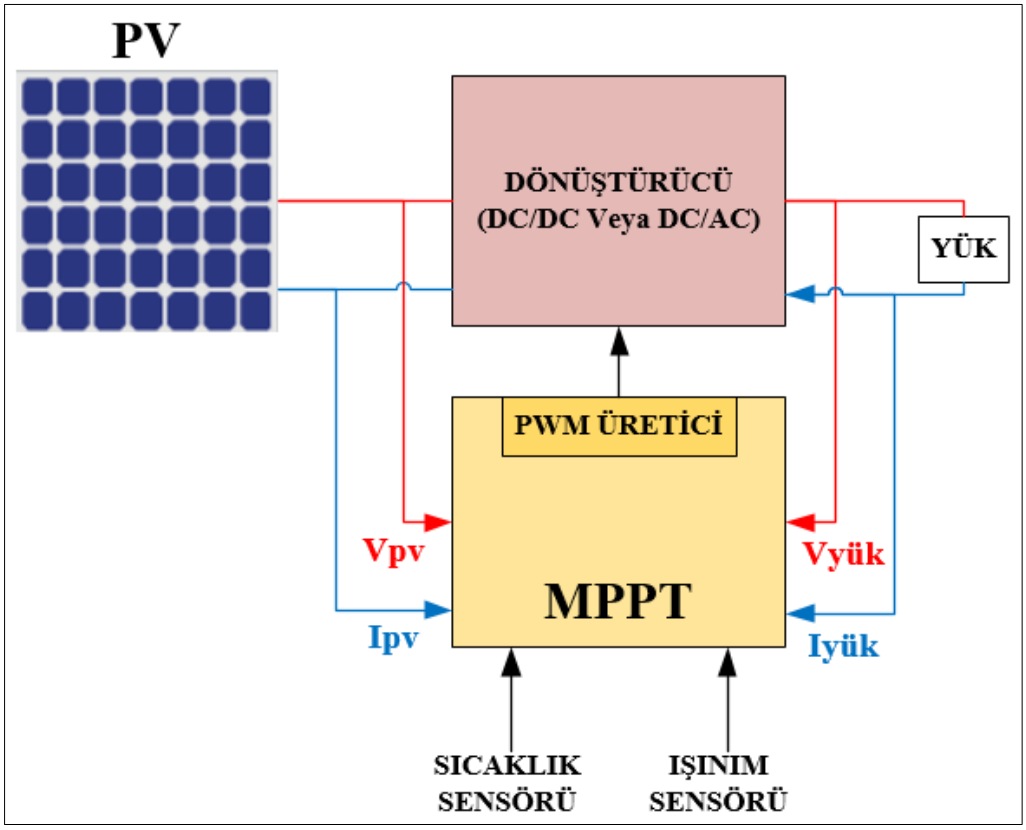
PWM tekniğinde panel gerilimleri ile yük gerilimlerinin eşleşmesi gerekmektedir. Bu sebeple çok yüksek güçlü sistemlerde kullanılması uygun değildir. Bu yüzden, PWM tekniği ile maksimum güç noktası izleme sistemleri daha çok düşük panel gerilimleri ve küçük bataryaların yeteceği küçük güçlü sistemlerde kullanımlar için uygundur [9].



Şekil 3.1. PWM tekniğinin temel blok şeması [9]

3.2. MPPT Tekniği

Maksimum güç noktası izleyici (MPPT) tekniği, PWM tekniğinden farklı olarak bir DC/DC dönüştürücü ve bu dönüştürücünün kontrolcü devresi kullanılarak güneş panelinin sıcaklık ve ışınım gibi değişen ortam koşullarında çıkış gücünün maksimum noktasında kullanılabilmesini sağlamaktır. PWM tekniğine göre yaklaşık olarak %30-% 40 daha verimli bir tekniktir [9]. Ancak, ilk kurulum maliyeti MPPT tekniğinde PWM tekniğine kıyasla daha yüksektir [10]. MPPT tekniğinde düşüren dönüştürücü veya yükselten dönüştürücü gibi farklı dönüştürücüler kullanılabilmektedir [11]. Düşüren veya yükselten dönüştürücülerde, ideal durumda, güç çarpanı değişmemektedir. Giriş geriliminin çıkış geriliminden daha yüksek olduğu dönüştürücüler, düşüren dönüştürücüler olarak adlandırılır. Bu dönüştürücülerde giriş akımı çıkış akımından daha düşüktür. Yükselten dönüştürücülerde ise düşüren dönüştürücülerin tam tersi olarak giriş gerilimi, çıkış geriliminden daha düşüktür. Giriş akımı ise çıkış akımından daha büyüktür. Güneş panelleri için MPPT tasarımında yükselten dönüştürücü kullanımı ile düşüren dönüştürücü kullanımına kıyasla daha yüksek verim alınabilmektedir [12]. MPPT tekniği ile maksimum güç noktası izleme temel blok şeması Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. MPPT tekniği ile maksimum güç noktası izleme temel blok şeması [11]

3.3. PWM ve MPPT Tekniklerinin Kıyaslanması

Fotovoltaik sistemlerde temel olarak kullanılan PWM ve MPPT maksimum güç noktası izleme tekniklerinin birbirlerine göre bazı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. PWM tekniğinin MPPT sistemlere kıyasla daha ucuz olması, basit soğutma teknikleri ile daha dayanıklı hale gelebilmesi ve daha uzun ömürlü çalışma beklentisi gibi avantajları bulunurken, fotovoltaik sistemin gerilimi ile batarya gerilimlerinin eşit olması zorunluluğundan kaynaklanan zorluklar ve sınırlı kapasitelerde çalıştırılabilmesi gibi dezavantajları bulunmaktadır [13]. MPPT tekniğinin PWM tekniğine kıyasla %30 seviyelerinde daha yüksek verimlilik değerlerine sahip olması, daha yüksek kapasitelerde kullanılabilir olması, I-V karakteristiklerindeki değişiklikleri düzeltmek için kullanılabiliyor oluşu ve yüksek verimlilik değerlerine rağmen karmaşık olmayışı gibi avantajları bulunurken, daha pahalı olması ve fiziksel olarak daha büyük boyutlarda olması gibi dezavantajları bulunmaktadır [13]. Çizelge 3.1'de PWM ve MPPT sistemlerinin birbirlerine kıyasla avantajları, Çizelge 3.2'de PWM ve MPPT sistemlerinin birbirlerine kıyasla dezavantajları verilmiştir.

Bu çalışmada sistemin kapasitesine bağımlı olmayan ve daha verimli çalışan bir teknik olması sebebiyle MPPT sistemi kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. PWM ve MPPT tekniklerinin avantajlarının kıyaslanması [13]

PWM	MPPT
MPPT sisteminden daha ucuzdur.	MPPT kontrolü ile %30 seviyesine varan daha yüksek verimlilik elde edilebilir.
60 Amper seviyelerine kadar PWM tekniği ile sistem kurulma imkânı sağlar.	Batarya tanklarının kullanıldığı PWM tekniğine kıyasla daha yüksek kapasitelerdeki PV dizilerinde kullanılabilir.
Bir soğutma plakası kullanımı ile birlikte dayanıklı hale gelebilir.	Güneş panellerinin I-V Karakteristiklerinin değişimlerinin düzeltilmesinde kullanılabilir.
Yüksek akım ve gerilim değerleri kontrol edilebilir.	Fotovoltaik panellerin maksimum güç noktasına çok yakın değerlerde güçler çekilebilmesine imkân sağlar.
Daha uzun sürelerde çalışabilir.	Sistemin çıkışı oldukça verimli olmasına rağmen, sistemi daha basit bir hale getirir.

Çizelge 3.2. PWM ve MPPT tekniklerinin dezavantajlarının kıyaslanması [13]

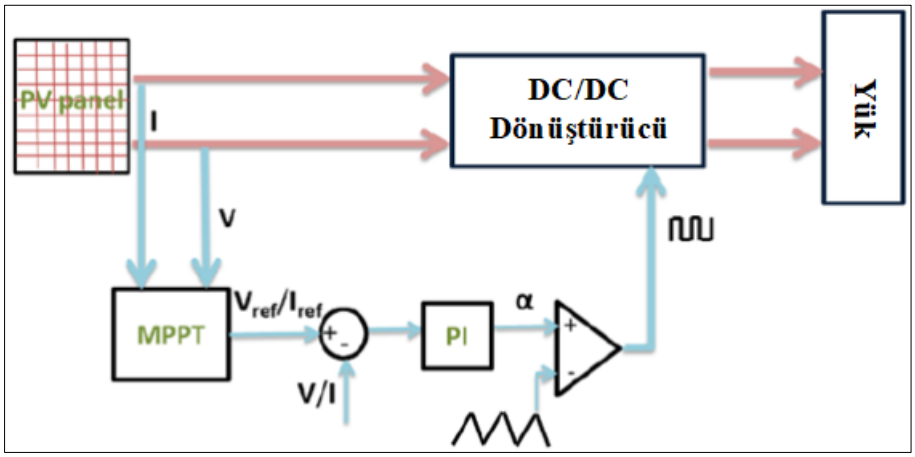
PWM	MPPT
Güneş panelinin nominal giriş voltajı ile batarya tanklarının nominal gerilimi eşit olmalıdır.	MPPT tekniği, PWM tekniğine kıyasla daha pahalıdır.
Literatürde 60 Amper DC kapasite üzerine çıkabilmiş bir PWM kontrolcü mevcut değildir. Bir diğer deyişle, yüksek güçlü sistemler için uygun değildir.	MPPT tekniği genellikle fiziksel boyut olarak daha çok yer kaplamaktadır.
Büyüyen sistemler için sınırlı kapasiteye sahiptir.	MPPT kontrolü üreticilerinin kılavuzları olmadan, özellikle sabit parametrelere dayanan metotlar için, uygun fotovoltaik dizilerinin kalibrasyonu zorlu olabilir.
60 Amper ve yukarı kapasiteli fotovoltaik paneller için verimli olarak kullanılamamaktadır.	

3.4. DC/DC Dönüştürücülü MPPT Tabanlı Teknikler

3.4.1. Akım veya gerilim kontrolüne dayalı MPPT tekniği

Akım veya gerilim kontrolüne dayalı MPPT tekniği referans akım ve referans gerilim değerlerini bularak, bu değerlerin anlık durumda ölçülen panel gerilim ve akım değerleri kıyaslanması ile aradaki hatayı bulma prensibine dayalı olarak çalışır [14]. Bu hata değeri, orantılı entegratör (PI) regülatörü kullanılarak görev döngüsünü hesaplamak için kullanılır. PI regülatörü ve karşılaştırıcı devresi kullanılarak görev döngüsü çıktısı ve PWM sinyali,

DC/DC dönüştürücü devresinin anahtarlama elemanının kapısına uygulanarak, panelden alınabilecek maksimum gücün kullanılabilmesi amaçlanır [14]. Şekil 3.3'te akım veya gerilim kontrolüne dayalı MPPT tekniği görseli verilmiştir.



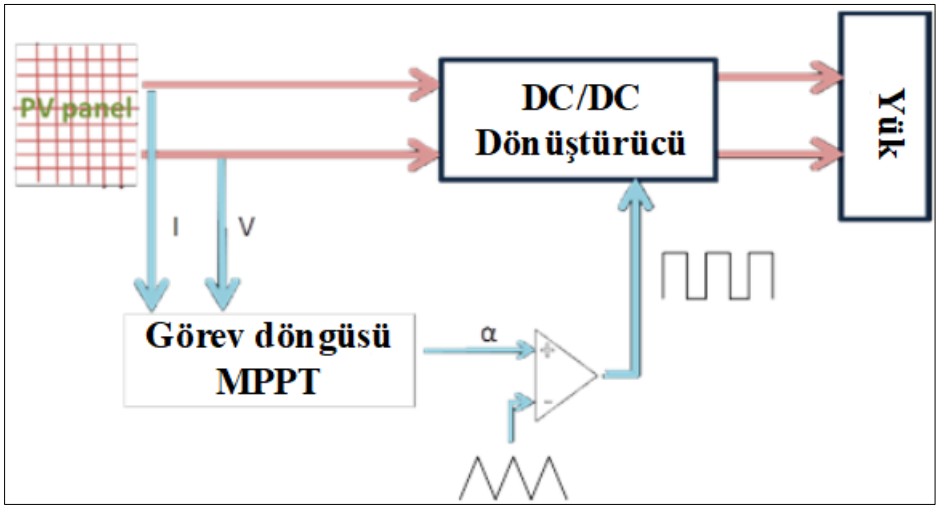
Şekil 3.3. Akım veya gerilim kontrolüne dayalı MPPT tekniği [14]

3.4.2. Görev döngüsü kontrolüne dayalı MPPT tekniği

Görev döngüsü kontrolüne dayalı MPPT tekniği, oldukça popüler kullanıma sahip bir diğer teknik olup, DC/DC dönüştürücünün görev döngüsünü ayarlamaya dayalı bir yöntemle çalışmaktadır. Bu yöntemde PI regülatörü kullanılmadan, DC/DC dönüştürücünün görev döngüsü doğrudan MPPT kontrolcüsü ile ayarlanır. Şekil 3.4'te görev döngüsü kontrolüne dayalı MPPT tekniğinin çalışma prensibi görseli verilmiştir. Bu yöntem kullanılarak, akım veya gerilim tekniğine dayalı MPPT kontrolüne göre birtakım avantajlar sağlanır. Bu avantajlar aşağıdaki gibidir;

- MPPT tasarımı daha sade bir hale getirilir.
- Hesaplama zamanı azaltılır.
- PI regülatör kullanılmaması sebebiyle, uygun görev döngüsü değerini bulabilmek amacıyla regülatör ayarlaması için fazladan çaba sarf edilmesi gerekmez.

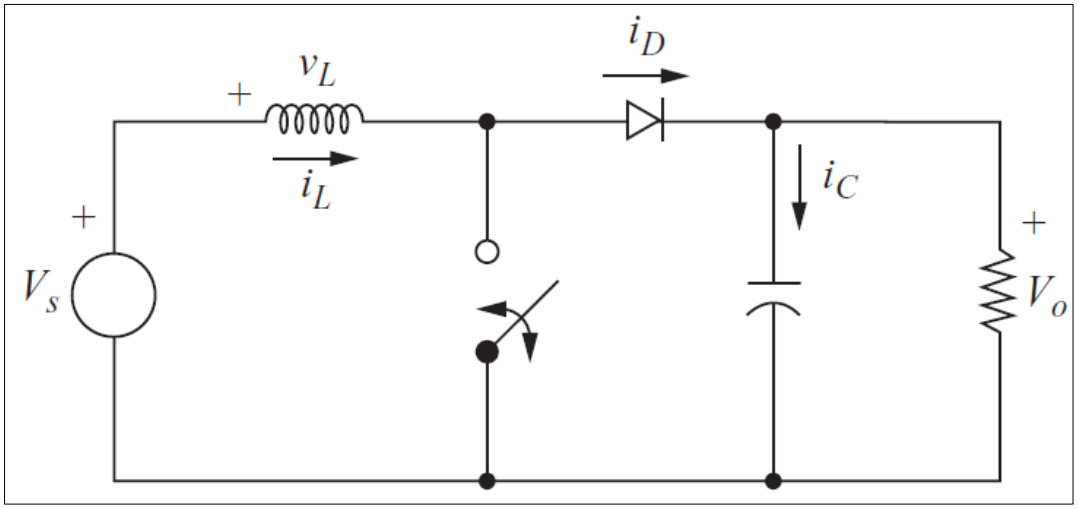
Bu nedenlerden dolayı, görev döngüsüne dayalı MPPT tekniği ile optimum sonuçları basitçe bulabilmek mümkün olmaktadır. Görev döngüsüne dayalı MPPT tekniği, akım veya gerilim kontrolüne dayalı MPPT tekniğine göre daha yüksek verimliliğe sahiptir [15].



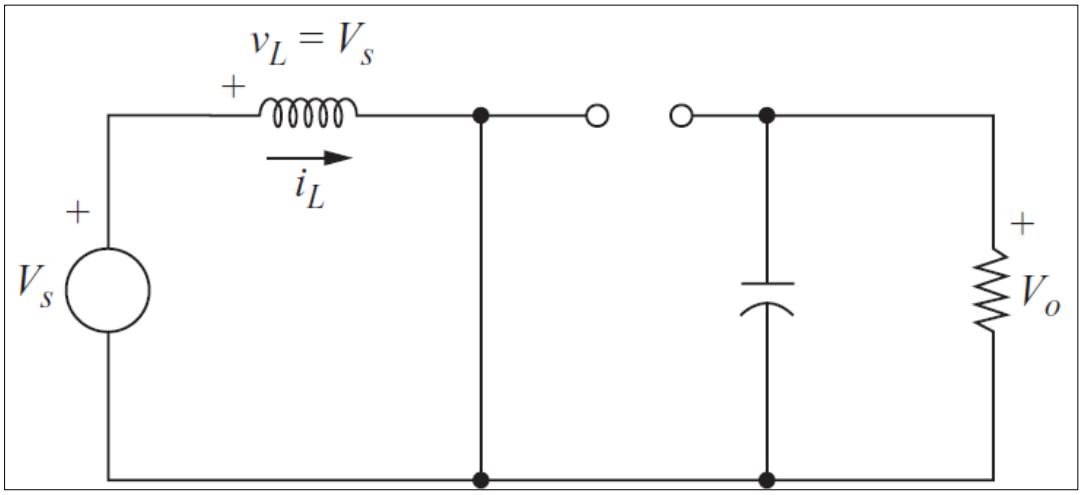
Şekil 3.4. Görev döngüsü kontrolüne dayalı MPPT tekniği [14]

3.5. Yükselten Dönüştürücü Topolojisi

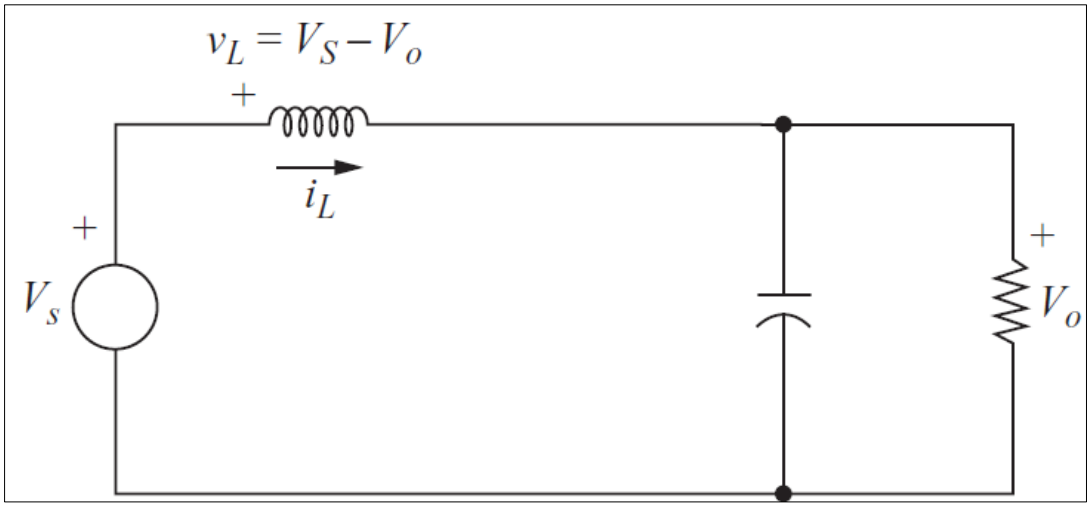
Yükselten dönüştürücü, anahtarlama tekniği ile çıkış geriliminin kontrol edildiği bir DC/DC dönüştürücüdür [14]. Çıkış geriliminin kontrolü, anahtarlama elemanının PWM sinyali kullanılarak periyodik olarak açılıp kapanması ile yapılır. PWM sinyali görev döngüsü, istenilen çıkış gerilim seviyesini elde etmek amacıyla uygun değer ayarlanması için kullanılır. Yükselten dönüştürücünün çıkış gerilimi giriş geriliminden daha yüksek olduğu için "yükselten dönüştürücü" olarak adlandırılmaktadır. Devre analizlerinin yapılabilmesi için yükselten dönüştürücünün anahtar kapalı ve anahtar açık durumlarında iken eşdeğer devre şemalarından yararlanılır [16]. Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de sırasıyla yükselten dönüştürücünün devre şeması, yükselten dönüştürücünün anahtar kapalı durumda iken eşdeğer devre şeması, yükselten dönüştürücünün anahtar açık durumda iken eşdeğer devre şeması ile yükselten dönüştürücü tipik dalga formları verilmiştir.



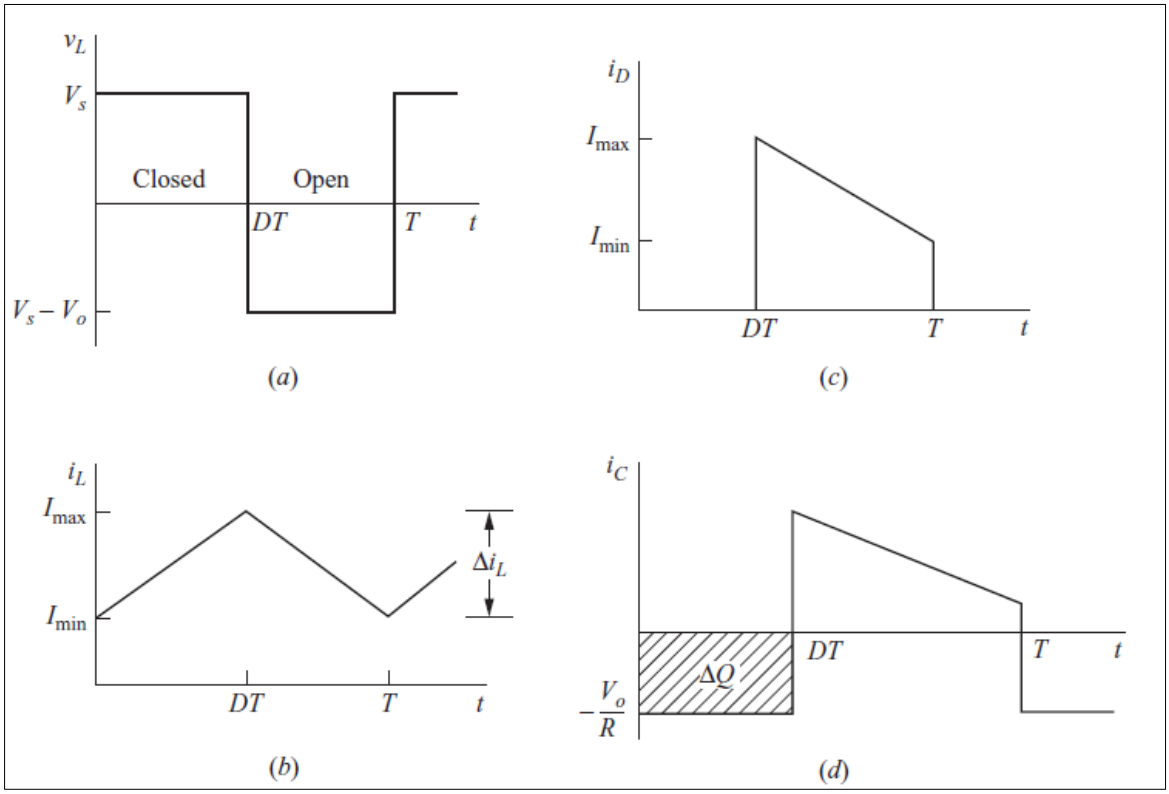
Şekil 3.5. Yükselten dönüştürücü devre şeması [16]



Şekil 3.6. Yükselten dönüştürücü anahtar kapalı durumda iken eşdeğer devre şeması [16]



Şekil 3.7. Yükselten dönüştürücü anahtar açık durumda iken eşdeğer devre şeması [16]



Şekil 3.8. Yükselten dönüştürücü tipik dalga formları a) indüktör gerilimi, b) indüktör akımı, c) diyot akımı, d) kapasitör akımı [16]

Yükselten dönüştürücü için önemli devre parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan formüller aşağıdaki bölümlerde verilmektedir.

3.5.1. Anahtar kapalı durumda iken eşdeğer devre analizi

Anahtar kapalı durumda iken diyot ters kutuplanmış durumdadır. Kirchhoff kanununa göre indüktör gerilimi Eşitlik 3.1'de verilmiştir.

$$V_L = V_{S=L} \frac{\Delta I_L}{\Delta t} \tag{3.1}$$

Akımdaki değişim sabittir. Bu yüzden akım, anahtar kapatıldığı andan itibaren lineer olarak yükselir. İndüktör akımındaki değişim Eşitlik 3.2'de verilmiştir.

$$\Delta I_{L,\,closed} = \frac{VsDT}{L} \tag{3.2}$$

3.5.2. Anahtar açık durumda iken eşdeğer devre analizi

Anahtar kapalı durumdan açık duruma geçtiğinde indüktör akımı aniden değişim göstermez. Bu yüzden indüktör akımının akabileceği bir yol yaratmak için diyot ileri gerilim moduna geçer. Çıkış geriliminin sabit olduğu varsayılarak, indüktör gerilimi Eşitlik 3.3'te ve indüktör akımındaki değişim Eşitlik 3.4'te verilmiştir.

$$V_L = V_S - V_O = L\frac{\Delta I_L}{\Delta t} \tag{3.3}$$

$$\Delta I_{L,\,open} = \frac{(Vs - Vo)(1-D)T}{L} \tag{3.4}$$

Kararlı durumdaki çalışma için, indüktör akımındaki net değişimin sıfıra eşit olması gerekmektedir. Eşitlik 3.2 ve Eşitlik 3.4 kullanılarak;

$$\frac{VsDT}{L} + \frac{(Vs - Vo)(1-D)T}{L} = 0 \tag{3.5}$$

Böylelikle çıkış geriliminin giriş gerilimi ve PWM sinyalinin görev döngüsü ile bağıntılı formülü elde edilebilir. Çıkış geriliminin, giriş gerilimi ve görev döngüsü ile ilişkisi Eşitlik 3.6'da, indüktör değeri Eşitlik 3.9'da, çıkış kapasitörünün değeri Eşitlik 3.10'da ve giriş kapasitörünün değeri Eşitlik 3.11'de verilmiştir.

$$V_O = \frac{Vs}{1-D} \tag{3.6}$$

$$I_L = \frac{V_S}{(1-D)^2 R} = \frac{V_O{}^2}{V_S R} = \frac{V_O . I_O}{V_S} \tag{3.7}$$

$$L\min = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \tag{3.8}$$

$$\mathrm{L} = \frac{Vs.D.T}{\Delta I_L} = \frac{Vs.D}{\Delta I_L . f} \tag{3.9}$$

$$Cout = \frac{D}{R(\Delta V_o / V_O) f} \tag{3.10}$$

$$Cin = \frac{D}{8 * f^2 * L * 0.01} \tag{3.11}$$

Devre parametreleri aşağıdaki gibidir.

- V_L indüktör gerilimi,
- V_S giriş gerilimi (PV panel çıkış gerilimi),
- V_O yük üzerindeki gerilim (çıkış gerilimi),
- D anahtarlama elemanının kapısına uygulanan PWM sinyalinin görev döngüsü,
- ΔI_L indüktör akımının değişimi ve ΔV_O çıkış gerilimindeki dalgalanma,
- T ve f PWM sinyalinin periyot ve frekans değerleri,
- L, C_{out} ve C_{in} indüktör, çıkış kapasitörü ve giriş kapasitörü değerleridir.

4. MPPT ALGORİTMALARI

Maksimum güç noktası izleme teknikleri olmadan güneş panellerinden maksimum gücü elde edebilmek mümkün olmamaktadır. Bu sebepten dolayı, dinamik olarak maksimum güç noktasını ayarlayabilecek tekniklerin kullanımı bir gerekliliktir [17]. Maksimum güç noktası izleyicilerinin temel amacı mümkün olan en hızlı sürede maksimum güce en yakın noktada çalışmayı garantileyebilmek, daha düşük salınımlar ve yüksek doğruluk oranlarını yakalayabilmektir.

MPPT tekniğinde kullanılan DC/DC dönüştürücüler, verimli bir dönüşüm işlemi için anahtarlarına uygulanan darbe genlik modülasyonu tekniği ile kontrol edilmektedir. Bu darbe genlik modülasyonunun görev döngüsü ve kullanılan dönüştürücü tipine göre çıkış gerilimi istenilen seviyede tutulmaktadır. PV panel dizilerinin parametreleri veya çıkış parametreleri ile MPPT kontrolü olmak üzere, temelde ikiye ayrılabilir.

Kontrolcü devresinde kullanılan MPPT algoritması çıktısı, anahtarlama elemanının kapısına uygulanacak olan darbe genlik modülasyonu tekniğinin görev döngüsü olarak kullanılır. MPPT algoritmasından görev döngüsü olarak gönderilen ve PWM üretici kullanılarak belirlenen frekansta üretilen darbe genlik modülasyonu ile anahtarlama elemanı periyodik olarak açıp kapatılarak çıkışta istenilen gerilim seviyesi elde edilir.

Çok sayıda MPPT algoritması önerilmekte ve kullanılmaktadır [2]. Bunlardan en çok kullanılanları klasik ve temelde yapay zekâya dayalı olarak iki temel kategoride sınıflandırılabilir. Değiştir ve gözle (PO), modifiye değiştir ve gözle (MPSO), arttırılmış iletkenlik (INC), modifiye arttırılmış iletkenlik (MINC), parazitik kapasitans (PC), geri bildirim gerilim ve akım kontrolü, yük akımı veya yük gerilimi maksimizasyon metodu, yokuş tırmanış algoritması (HC), lineer akım kontrol (LCC), beta parametre metodu, taramalı tablo metodu, dalgacık korelasyon kontrol (RCC), kısa devre akımı (SCC) ve açık devre gerilimi (OCV) metotları klasik olan MPPT algoritmaları sınıflandırmasına sokulabilir. İkinci grupta ve temelde yapay zekâya dayalı algoritmalar olan yapay sinir ağları (YSA), bulanık mantık kontrolcüsü (FLC), parçacık sürü optimizasyonu (PSO), genetik algoritma (GA), gri kurt optimizasyonu (GWO), yapay arı kolonisi (ABC), sinüs kosinüs algoritması (SCA), ateş böceği algoritması (FFA), yerçekimsel arama algoritması (GSA), örümcek maymun algoritması (SMO), kedi sürü optimizasyonu (CSO), modifiye kedi sürü

optimizasyonu (MCSO), karınca kolonisi optimizasyonu (ACO), yapay balık sürü algoritması (AFSO), güve alev optimizasyonu (MFO), Jaya algoritması (JA) ve guguk kuşu algoritması (CS) MPPT algoritmaları bulunmaktadır [2, 18, 19, 20]. Bu kadar çok sayıda algoritma çeşidi hem seçimi hem de PV sistem uygulamalarında adaptasyonunu zorlaştırmaktadır. Metotlar arasında komplekslik, ihtiyaç duyulan sensör miktarı, dijital ve analog uygulama çeşitleri, yakınsama hızı ve kararlı duruma geçme süresi, takip kabiliyeti ve maliyet açısından farklılıklar bulunmaktadır. Algoritmalardaki takip tepki süresi veya verimlilikteki artışlar ve algoritmaların geliştirilmesi, sistem kararlılığını ve verimini arttırmak üzerine kategorize edilmişlerdir [21].

4.1. MPPT Algoritmalarının Sınıflandırılmaları

MPPT algoritmaları, temelde klasik ve yapay zekâ temelli olarak iki farklı kategoride sınıflandırılabilirler. Yapay zekâ temelli algoritmalar klasik metotlara kıyasla daha kompleks ve uygulaması daha zor, klasik metotlar ise yapay zekâ temelli algoritmalara kıyasla daha basit ve uygulaması daha kolay metotlardır. Çizelge 4.1’de klasik metotlar ve yapay zekâ temelli metotların sınıflandırılması verilmiştir.

Çizelge 4.1. MPPT algoritmalarının klasik ve yapay zekâ temelli sınıflandırılması

MPPT ALGORİTMALARININ SINIFLANDIRILMASI	
KLASİK METOTLAR	YAPAY ZEKÂ TEMELLİ METOTLAR
Değiştir ve gözle (DG)	Parçacık sürü optimizasyonu (PSO)
Modifiye değiştir ve gözle (MDG)	Modifiye parçacık sürü optimizasyonu (MPSO)
Yokuş tırmanış (HC)	Yapay sinir ağları (YSA)
Arttırılmış iletkenlik (INC)	Bulanık mantık kontrolcüsü (FLC)
Modifiye arttırılmış iletkenlik (MINC)	Genetik algoritma (GA)
Kısa devre akımı (SCC)	Gri kurt optimizasyonu (GWO)
Açık devre gerilimi (OCV)	Yapay arı kolonisi (ABC)
Beta parametre metodu	Sinüs kosinüs algoritması (SCA)
Lineer akım kontrol (LCC)	Ateşböceği algoritması (FFA)
Taramalı tablo metodu	Yerçekimsel arama algoritması (GSA)
Dalgacık korelasyon kontrol (RCC)	Örümcek maymun algoritması (SMO)
Geribildirim gerilim ve akım kontrolü	Kedi sürü optimizasyonu (CSO)
Yük akımı veya yük gerilimi maksimizasyon metodu	Modifiye kedi sürü optimizasyonu (MCSO)
	Karınca kolonisi optimizasyonu (ACO)
	Yapay balık sürü optimizasyonu (AFSO)
	Güve alev optimizasyonu (MFO)
	Jaya algoritması (JA)
	Guguk kuşu algoritması (CS)

Çizelge 4.2. MPPT algoritmalarının takip tekniklerine göre sınıflandırılması

TAKİP TEKNİKLERİNE GÖRE MPPT ALGORİTMALARININ SINIFLANDIRILMASI			
SABİT PARAMETRELERE DAYALI TAKİP TEKNİĞİ	MATEMATİKSEL HESAPLAMALARA DAYALI TAKİP TEKNİĞİ	AKILLI TAHMİNLERE (YAPAY ZEKÂ) DAYALI TAKİP TEKNİĞİ	DENEME VE YANILMA METODUNA DAYALI TAKİP TEKNİĞİ
Kısa devre metodu (SCC)	Arttırılmış iletkenlik metodu (INC)	Parçacık sürü optimizasyonu (PSO)	Değiştir ve gözle metodu (PO)
		Modifiye parçacık sürü optimizasyonu (MPSO)	
Açık devre gerilimi metodu (OCV)		Guguk kuşu arama algoritması (CS)	

4.2. Kısa Devre Akımı (SCC) Tekniği ile Maksimum Güç Noktası Takibi

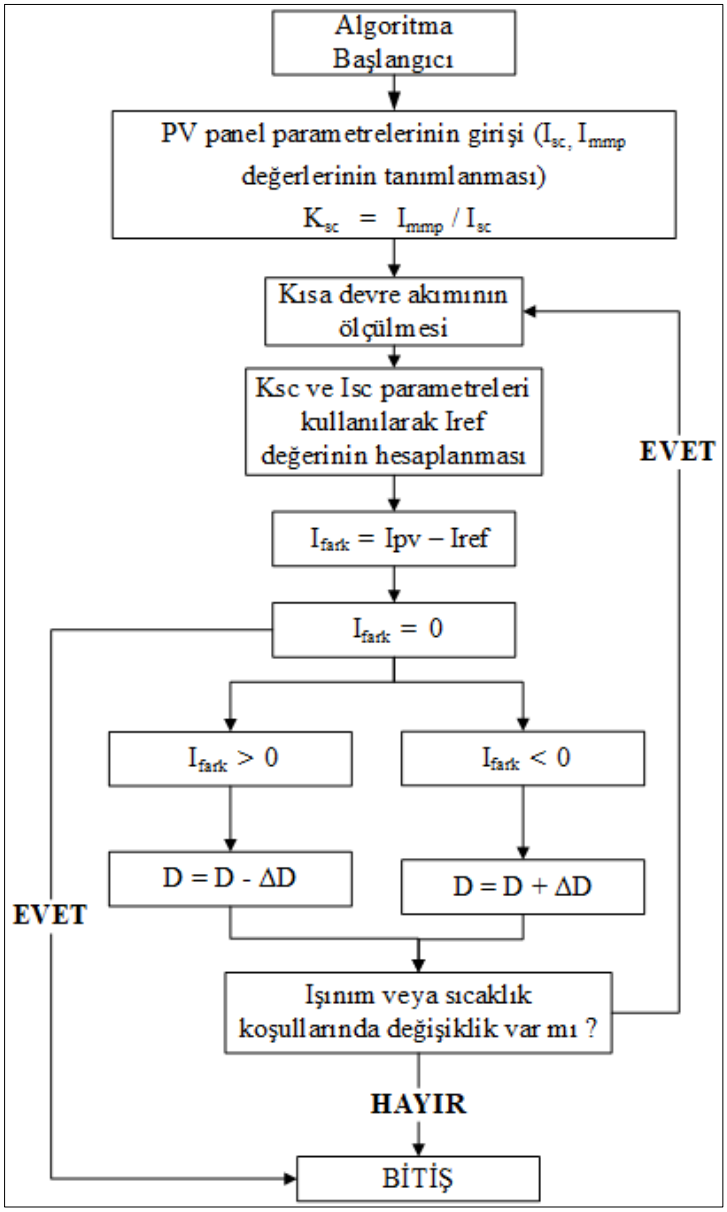
Kısa devre akımı MPPT tekniği panel parametrelerinin sabit olması yaklaşımına dayanan bir tekniktir. Panelin ilgili ışınım ve sıcaklık değerlerindeki değişimi tespit edilerek, bu

değişimlerde kısa devre ölçümleri alınır. Kısa devre akımı ile maksimum güç noktasındaki akım değeri arasındaki ilişki Eşitlik 4.1'de verilmiştir.

$$I_{mmp} = K_{sc} * I_{sc} \quad (4.1)$$

Eşitlik 4.1'den panelin kısa devre akımı ile maksimum güç noktasındaki akım değeri K_{sc} sabit değeri ile hesaplanabilmektedir. I_{mmp} ve I_{sc} değerleri sırasıyla panelin maksimum güç noktasındaki akım değeri ile kısa devre akım değerleridir. Kısa devre akımı ve maksimum güç noktasındaki akım değeri gibi panel parametreleri, sistemde kullanılacak panelin üretici veri formlarında verilmektedir. K_{SC} değeri tipik olarak %78-% 92 arasında değişmektedir [2]. Bu metot ile çalışırken değişen çevresel durumlara karşı sistemin normal çalışması kesilerek, kısa devre akımı ölçümü alınmalıdır ve bu alınan ölçüm kaydedilmelidir. Çevresel değişiklikler durumunda ölçümlerin tekrar alınması gerektiği için, çevresel değişiklik tespitinde sürekli yeni ölçümler alınıp, alınan ölçümler kaydedilmelidir. Sistem için çevresel değişimleri algılayabilecek değişim dedektör devresi ve ölçüm için fazladan anahtarlama elemanı gerekmektedir.

Bu metotta izleme hassasiyeti K_{sc} sabit değerine bağlıdır. Panel dizilerinin içerisinde farklı panellerin kullanımı ve dolayısıyla farklı parametrelere sahip panellerin sabit değeri değiştireceği ve bu şekilde doğru hesaplama yapılamayacağı açıktır. Bu durumda, K_{sc} değeri nominal değerinden uzaklaşacak ve ölçüm hassasiyetini azaltacaktır. Bu durumun sonucunda, maksimum güç noktasından sapma olacaktır. Ayrıca panellerin yaşlanma etkisi sebebiyle bu sabitin değişmesi sonucunda, zamanla bu tekniğin gerçek ölçüm hassasiyetini kaybetmesi gibi bir dezavantajı bulunmaktadır [2]. Şekil 4.1'de SCC tekniğinin akış şeması verilmiştir.



Şekil 4.1. Kısa devre akımı tekniği akış şeması

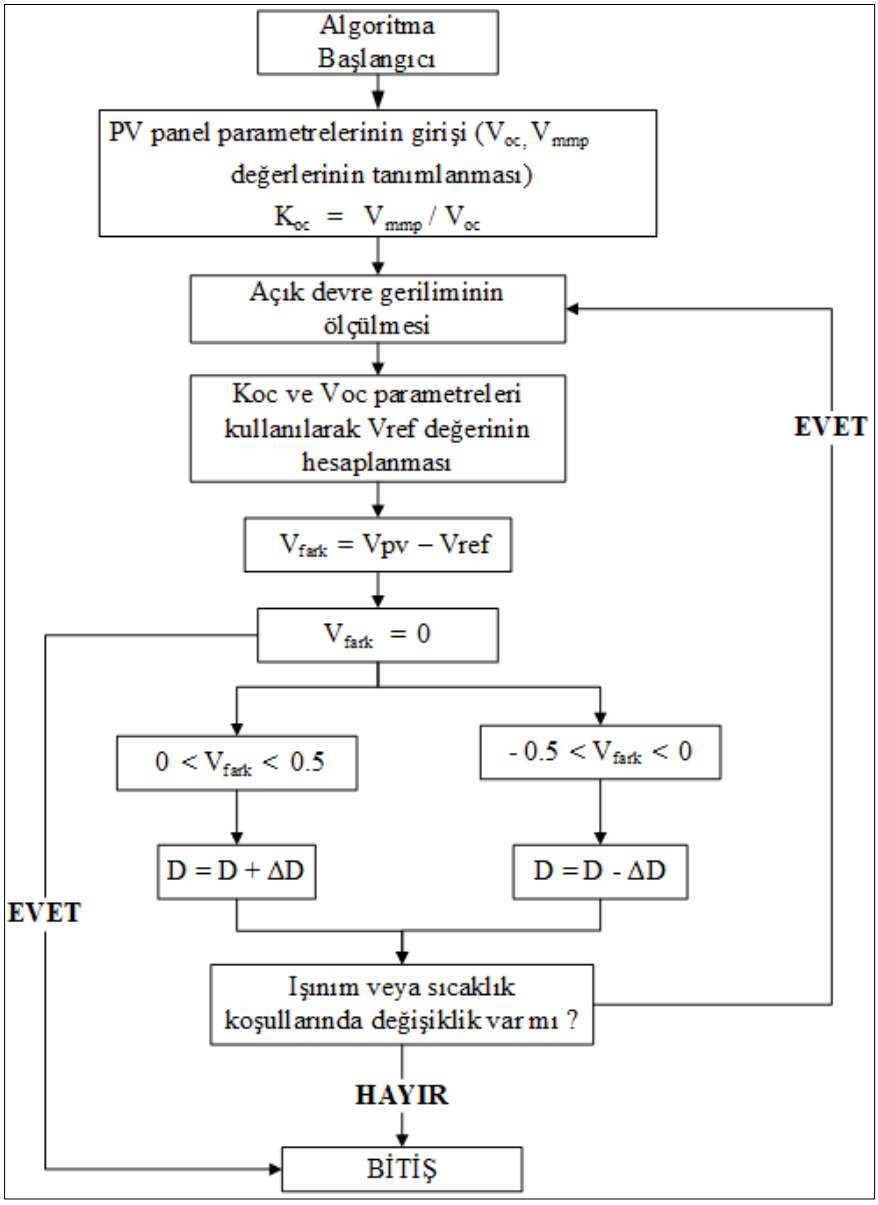
4.3. Açık Devre Gerilim (OCV) Tekniği ile Maksimum Güç Noktası Takibi

Açık devre gerilim MPPT tekniği, kısa devre akımı MPPT tekniğine benzer olarak panel parametrelerinin sabit olduğu yaklaşımına dayanan bir tekniktir. Panelin ilgili ışınım ve sıcaklık değerlerindeki değişimi tespit edilerek, bu değişimlerde açık devre gerilim ölçümleri alınır. Kısa devre akımı ile maksimum güç noktasındaki akım değeri arasındaki ilişki Eşitlik 4.2'de verilmiştir.

$$Vref = Koc * Voc \quad (4.2)$$

Eşitlik 4.2'den görüleceği üzere panelin açık devre gerilimi ile maksimum güç noktasındaki gerilim değeri K_{OC} sabit değeri ile hesaplanabilmektedir. V_{mmp} ve V_{OC} değerleri sırasıyla panelin maksimum güç noktasındaki gerilim değeri ile açık devre gerilim değerleridir. Açık devre gerilimi ve maksimum güç noktasındaki gerilim değeri gibi panel parametreleri, sistemde kullanılacak panelin üretici veri formlarında verilmektedir. K_{OC} değeri tipik olarak %73-% 80 arasında değişmektedir [2]. Bu metot ile çalışırken değişen çevresel durumlara karşı sistemin normal çalışması kesilerek, açık devre gerilim ölçümü alınmalıdır ve bu alınan ölçüm kaydedilmelidir. Çevresel değişiklikler durumunda ölçümlerin tekrar alınması gerektiği için, çevresel değişiklik tespitinde sürekli yeni ölçümler alınıp, alınan ölçümler kaydedilmelidir. Sistem için çevresel değişimleri algılayabilecek değişim dedektör devresi ve ölçüm için fazladan anahtarlama elemanı gerekmektedir.

Bu metodun en büyük avantajlarından birisi oldukça basit olmasıdır. Ancak ölçüm aşamasında fazladan kullanılan anahtarlama elemanı sebebiyle güç kayıpları olmaktadır. Şekil 4.2'de açık devre gerilim tekniğinin akış şeması verilmiştir.

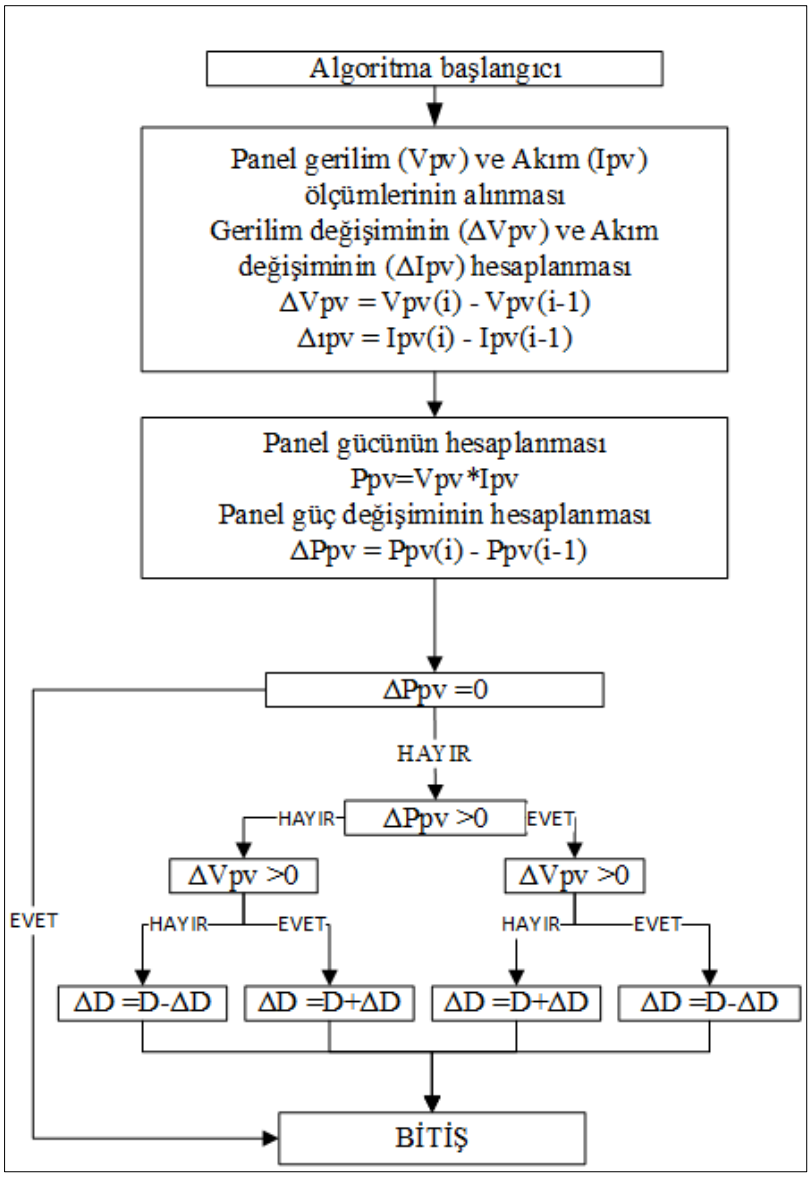


Şekil 4.2. Açık devre gerilim tekniği akış şeması

4.4. Değiştir ve Gözle (P&O) Algoritması ile Maksimum Güç Noktası Takibi

Değiştir ve gözle MPPT algoritması en çok kullanılan maksimum güç noktası izleme algoritmalarından birisidir. Bu teknikte, fotovoltaik panel dizisine küçük bir değişim uygulanır ve uygulanan bu küçük değişim panel gücünde bir değişikliğe sebep olur. Panelin gücü periyodik olarak ölçülür ve bir önceki güç değeri ile kıyaslanır. Eğer çıkış gücü artarsa, aynı şekilde işleme devam edilir. Artış bitene kadar bu işleme devam edilir. PV dizisinin voltajındaki artış güçte artışa sebep oluyorsa, hâlâ P-V karakteristiğinin sol tarafında olunduğunu, yani henüz maksimum güce ulaşılamadığını gösterir. Maksimum gücü yakalayabilmek için, gerilimi artırma işlemine devam edilmesi gerekir. Tam tersi

gerilimdeki artış panel gücünde düşüşe sebep oluyorsa, P-V eğrisinin sağ tarafında olunduğunu ifade etmektedir. Bu sefer, maksimum güce yaklaşabilmek için tersi yönde, gerilimi azaltacak şekilde değişim uygulanır. PO MPPT tekniği basit, uygulanması kolay ve yüksek doğrulukla birlikte, düşük maliyetlidir [22]. Şekil 4.3'te değiştir ve gözle algoritmasının akış şeması verilmiştir.



Şekil 4.3. Değiştir ve gözle algoritması akış şeması

4.5. Artırılmış İletkenlik (INC) Algoritması ile Maksimum Güç Noktası Takibi

Arttırılmış iletkenlik algoritmasında kontrolcü, voltaj değişiminin etkisini görebilmek için, PV dizisindeki gerilim ve akımın kademeli değişimlerini ölçer.Bu teknik, gücün gerilim ile

değişiminin (ΔP/ΔV) ne yönde olduğunu belirleyebilmek için, PV dizisinin arttırılmış iletkenliğini (ΔI/ΔV) kullanır. INC tekniği artırılmış iletkenliği (ΔI/ΔV) dizi iletkenliği (I/V) ile kıyaslayarak maksimum güç noktasını hesaplar. Artırılmış iletkenlik ile dizi iletkenliği eşit olduğu zaman (ΔI/ΔV = I/V), bulunan çıkış gerilimi maksimum güç noktasındaki gerilimdir. Kontrolcü çevresel etmenlerin değişimine kadar bu gerilim değerini tutar ve işlem sürekli olarak devam eder. INC algoritması maksimum güç noktasında, güç değişimi ile gerilim değişiminin oranlarının sıfır olduğu (ΔP/ΔV=0) temeline dayanarak çalışmaktadır. Bu tekniğin kullanımı için gerilim ve akım ölçümleri gerektiğinden, sadece gerilim ve akım sensörü yeterlidir [23]. Matematiksel olarak INC tekniği aşağıdaki şekilde tanımlanabilir;

$$P=VI \tag{4.3}$$

$$\Delta P/\Delta V= \Delta(VI)/\Delta V \tag{4.4}$$

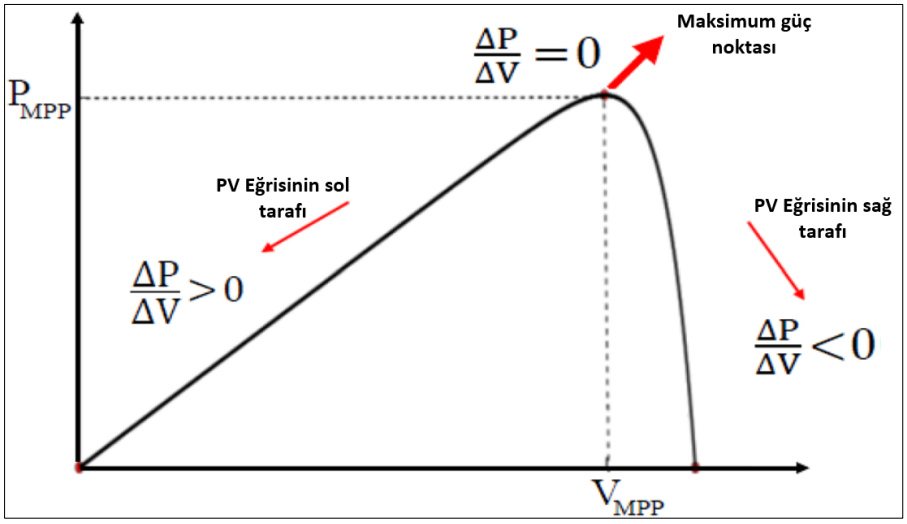
$$\Delta P/\Delta V =I\Delta V/\Delta V + V\Delta I/\Delta V \tag{4.5}$$

$$\Delta P/\Delta V = I + V(\Delta I/\Delta V) \tag{4.6}$$

$$(1/V)\ \Delta P/\Delta V = I/V + \Delta I/\Delta V \tag{4.7}$$

Normalde kaynağın gerilimi pozitiftir. Bu algoritmanın temel amacı, iletkenliğin artırılmış iletkenliğe eşit olduğu noktayı bulmaktır. Gücün değişiminin, gerilimin değişimine oranının sıfır olduğu nokta, maksimum güç noktası, sıfırdan büyük olduğu nokta P-V eğrisinin sol tarafı ve sıfırdan küçük olduğu nokta ise P-V eğrisinin sağ tarafıdır [23].

Eğer $\Delta P/\Delta V > 0$ ise; P-V eğrisinin sol tarafında olunduğunu,
Eğer $\Delta P/\Delta V = 0$ ise, P-V eğrisinin maksimum güç noktasında olunduğunu,
Eğer $\Delta P/\Delta V < 0$ ise, P-V eğrisinin sağ tarafında olunduğunu göstermektedir.



Şekil 4.4. Maksimum güç noktasını ve algoritmanın prensibini gösteren PV eğrisi

INC algoritması, panel gücünün gerilim ile değişimini baz alarak ve bu değişimi sıfıra eşitleyerek çalışmaktadır. Anlık iletkenlik ile artırılmış iletkenlik arasındaki ilişki aşağıdaki gibi açıklanabilir;

Maksimum güç noktasında iken;

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V} \tag{4.8}$$

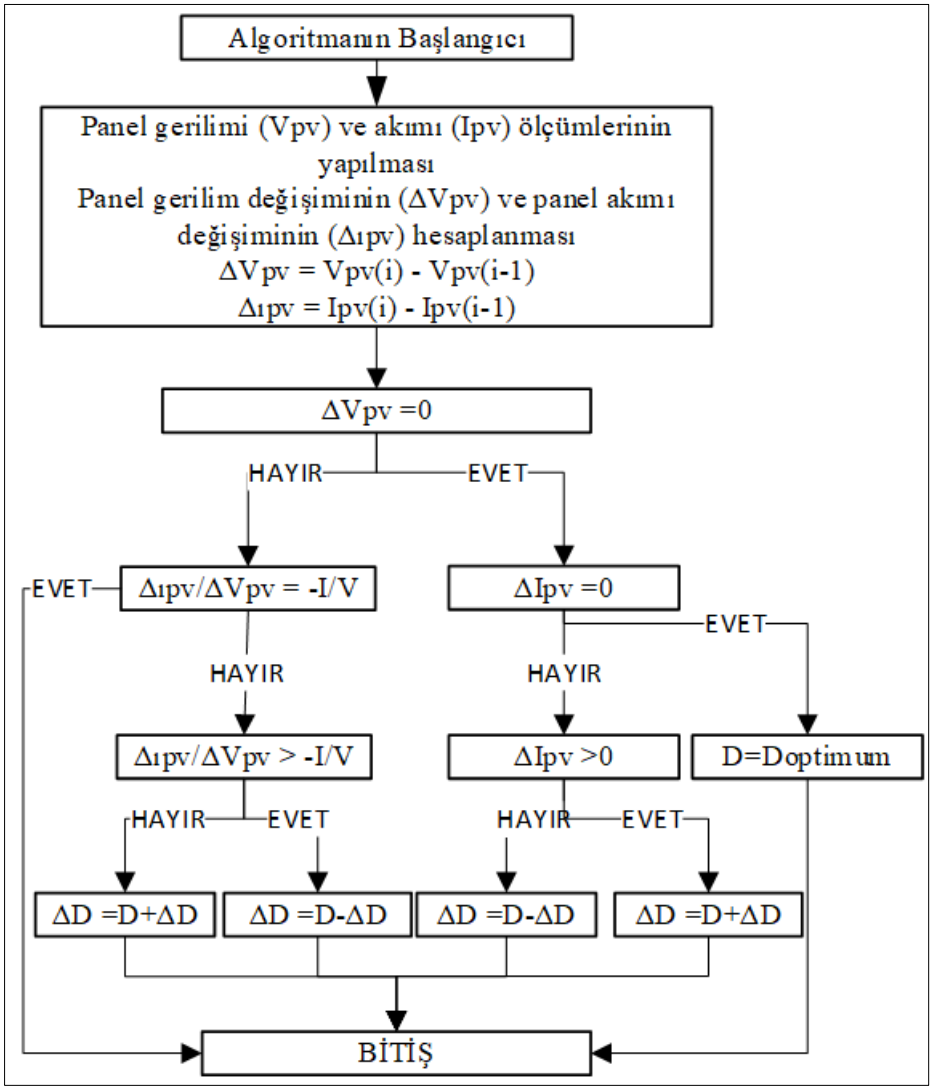
Maksimum güç noktasının sol tarafında iken;

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} > -\frac{I}{V} \tag{4.9}$$

Maksimum güç noktasının sağ tarafında iken;

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} < -\frac{I}{V} \tag{4.10}$$

Yukarıdaki denklemlerde gösterilen koşulların kontrolü sonucunda elde edilen ve maksimum güç noktasının gerilim değeri olarak hesaplanan değer, DC/DC dönüştürücü devresi yardımıyla sisteme uygulanır. Şekil 4.4'te artırılmış iletkenlik MPPT algoritmasının akış şeması verilmiştir.



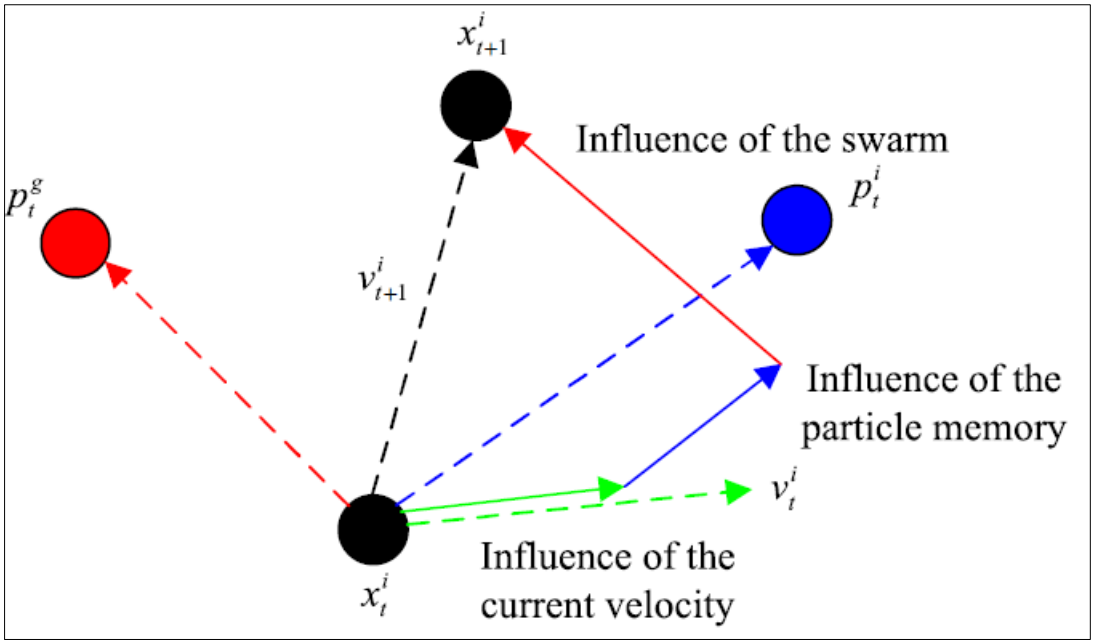
Şekil 4.5. Arttırılmış iletkenlik (INC) MPPT algoritması akış şeması

4.6. Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ile Maksimum Güç Noktası Takibi

4.6.1. Parçacık sürü optimizasyonuna genel bakış

Parçacık sürü optimizasyonu, parçacıklara dayanan olasılıksal bir tekniktir. 1995 yılında Kennedy ve Eberhart tarafından geliştirilen ve sürü zekâsına dayanan bu teknik oldukça popüler hale gelmiş ve çok çeşitli alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. PSO algoritması parçacık olarak adlandırılan bireysel ajanların yörüngelerini ayarlayarak amaç fonksiyonunun alanını arar. Sürü parçacıklarının hareketi iki önemli temel bileşenden oluşur; olasılıksal bileşen ve belirleyici bileşen. Her parçacık mevcut küresel en iyi değere (G_{best}) ve geçmişindeki kendi en iyi konumuna (X_i) doğru çekilirken, aynı zamanda rastgele hareket etme eğilimi de gösterir [24].

Parçacık önceden bulunmuş herhangi bir konumdan daha iyi bir konum bulduğu zaman, konumunu yeni en iyi mevcut olarak günceller. Tüm parçacıkların iterasyonlar boyunca kendilerine ait mevcut en iyi konumları bulunmaktadır. Bu optimizasyon algoritmasındaki amaç belirli bir iterasyon sayısından sonra, konumu güncelleyecek ve yeni güncellemeler olana kadar tüm mevcut en iyi konumlar arasında global en iyi konumu (Gbest) belirlemektir [25].



Şekil 4.6. Parçacıkların global en iyi (g*) ve mevcut en iyi (x_i^*) konumlara hareketi [25]

Parçacık sürü optimizasyonu hesaplamaları aşağıdaki gibidir [26];

1. Parçacık sayısı, maksimum iterasyon sayısı, ağırlık ve öğrenme faktörleri tanımlanır.
2. Parçacık sürüleri tanımlanır, her parçacığın pozisyonları ve süratleri rastgele atanır.
3. Parçacıkların ilk pozisyonu, her parçacığın uygunluğunu değerlendirmek için amaç fonksiyonuna yerleştirilir.
5. Her parçacığın uygunluk değerleri ve kayıtlı bireysel en iyi pozisyonları (Pbest) daha iyi pozisyonları seçmek ve Pbest pozisyonunu güncellemek için kıyaslanır.
6. Parçacıkların bireysel en iyi pozisyonu (Pbest) ve parçacıkların global en iyi pozisyonu (Gbest) karşılaştırılır. Eğer Pbest pozisyonu Gbest pozisyonundan daha iyi konumda ise, Gbest değeri güncellenir.
7. Parçacık sürat ve pozisyonlarını güncellemek için aşağıdaki çekirdek formüller kullanılır;

$$V_i^{j+1} = W * V_i^{J} + C_1 * rand1() * (P_{best} - P_i^{j}) + C_2 * rand2() * (G_{best} - G_i^{j}) \quad (4.11)$$

$$P_i^{j+1} = V_i^{J+1} + P_i^{j} \quad (4.12)$$

V_i^{J} ve P_i^{j} sırasıyla i parçacığının j iterasyonundaki sürat ve pozisyonudur. Rand1 ve rand2 değerleri 0 ile 1 arasında rastgele sayılar üretir. Rastgele üreteçleri parçacık sürülerinin çeşitlilik sayısını artırmak amacıyla kullanılır. W ağırlık, C_1 ve C_2 değerleri öğrenme katsayıları, Pbest parçacıkların bireysel en iyi pozisyonları ve Gbest sürünün global en iyi pozisyonudur [26].

7. Algoritmayı durdurma koşulları sağlandıysa takip durdurulur. Eğer sağlanmadıysa, 4 ile 6 arasındaki adımlar tekrar edilir. Durdurma koşulları maksimum iterasyon sayısına ulaşma veya global optimum en iyi pozisyonun konumlandırılmasıdır.

4.6.2. Parçacık sürü optimizasyonun maksimum güç noktası takip algoritması olarak uygulanması

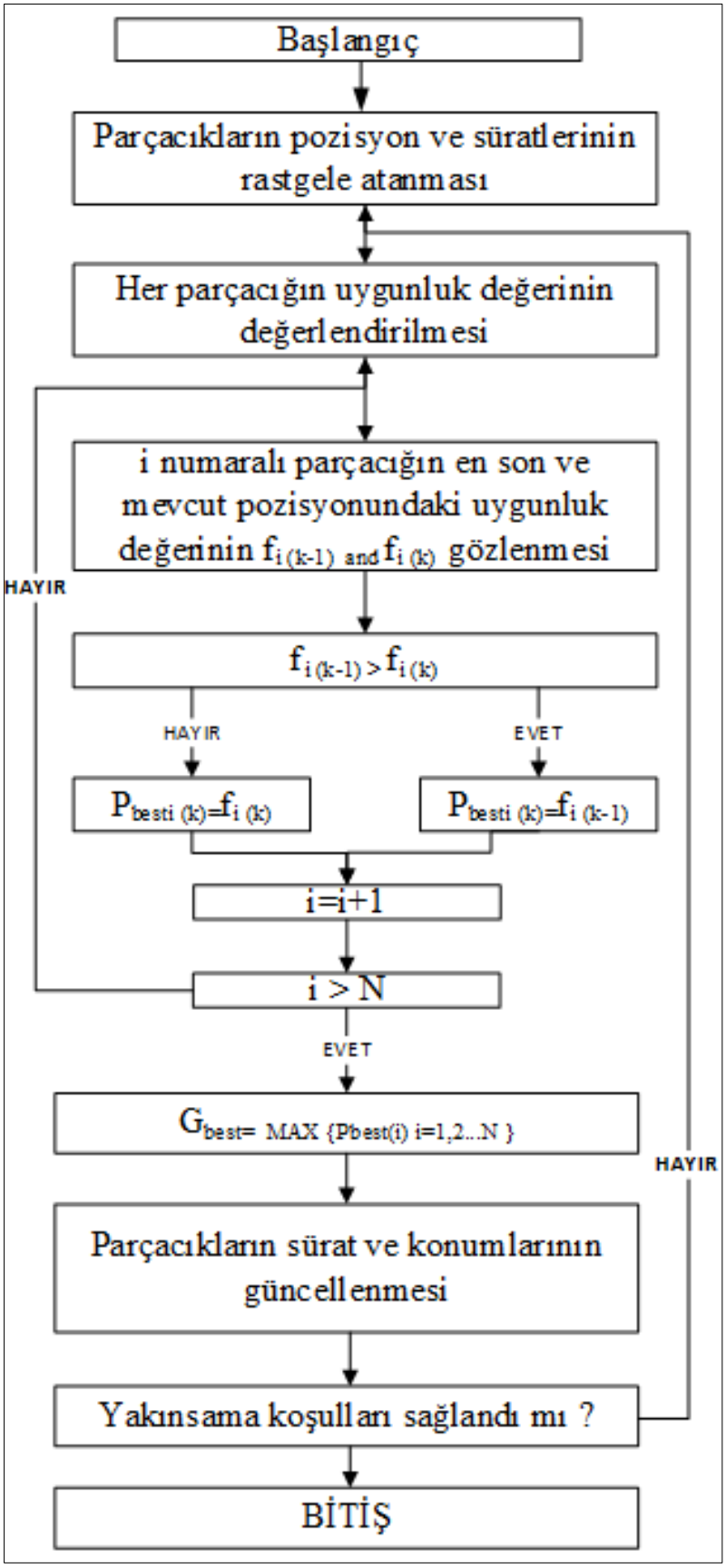
Parçacık sürü optimizasyonu yapay zekâ temelli algoritmalar arasında yapılan kıyaslamalarda MPPT uygulamalarında yüksek doğruluk, hızlı tepki ve yüksek verimlilik değerleri sebebiyle sıklıkla tercih edilmektedir [27].

Maksimum güç noktası takibinde kullanılacak olan parçacık sürü optimizasyonu hesaplama adımları aşağıdaki gibi tanımlanabilir [28];

1. Maksimum güç noktası takibi amacıyla uygulanacak olan parçacık sürü optimizasyonu tekniğinde, dönüştürücünün görev döngüsü parçacık pozisyonu olarak, çıkış gücü uygunluk değerleri değerlendirme fonksiyonu olarak tanımlanır. Parçacıkların başlangıç pozisyonları ve süratleri rastgele atanır.
2. Parçacığın uygunluk değeri, parçacığın pozisyonunu temsil eden görev döngüsü kontrolcü tarafından dönüştürücüye gönderilir.
3. Her parçacığın uygunluk değerleri, bireysel en iyi konumları (Pbest) ve global en iyi konumları (Gbest), bir önceki uygunluk değeri ile hesaplanan yeni uygunluk değeri arasında kıyaslama yaparak yeniden güncellenir. Bu aşamada eğer önceki Pbest ve Gbest konumlarından daha iyi konumlar elde edilirse, Pbest ile Gbest konumları güncellenir.

4. Tüm parçacıklar değerlendirildikten sonra, sürüdeki her parçacığın sürat ve konumları Eşitlik (4.11) ve Eşitlik (4.12) kullanılarak güncellenir.
5. Yakınsama kriteri, maksimum iterasyon sayısına ulaşma veya global en iyi konumu bulmak olabilir. Eğer yakınsama kriteri karşılanırsa, işlemler sonlandırılır. Eğer karşılanmazsa, 2 ile 5 numaralı adımlar arasındaki işlemler tekrar yapılır.
6. Fotovoltaik sistemlerde uygunluk değeri sabit değildir, çevresel koşullar ve yükün değişimine bağlı olarak değişir. Bu yüzden bu değişiklikler meydana geldiği zaman tüm işlemler tekrar başlatılmalı ve hesaplamalar tekrardan yapılmalıdır.

Şekil 4.6'da parçacık sürü optimizasyonunun Maksimum güç noktası takibi için kullanılan akış şeması verilmiştir.



Şekil 4.7. Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) MPPT algoritması akış şeması

4.7. Modifiye Parçacık Sürü Optimizasyonu (MPSO) ile Maksimum Güç Noktası Takibi

Parçacık sürü optimizasyonun verimli bir algoritma olmasına karşın, birtakım problemler mevcuttur. Görev döngüsü değerlerinin rastgele başlatılması sonucunda yakınsama süreleri uzamaktadır. Görev döngüsü değerlerinin belirli alanlarda sınırlanarak başlatılması, takip tepki süresini kısaltabilecektir. Bu sebepten klasik parçacık sürü optimizasyonundan farklı olarak görev döngüsü değerinin, maksimum güç noktası takibindeki görev döngüsü değerine yakın değerlerde başlatılabileceği yeni formüller ve bu formüllerin uygulandığı yeni bir algoritma gerekmektedir. Görev döngüsü hesaplamaları aşağıdaki denklemlere göre yapılır [34];

$$d1=\frac{\sqrt{\eta_b xR_{LMİN}}}{\sqrt{R_{pv\max}}+\sqrt{\eta_b xR_{LMİN}}} \tag{4.13}$$

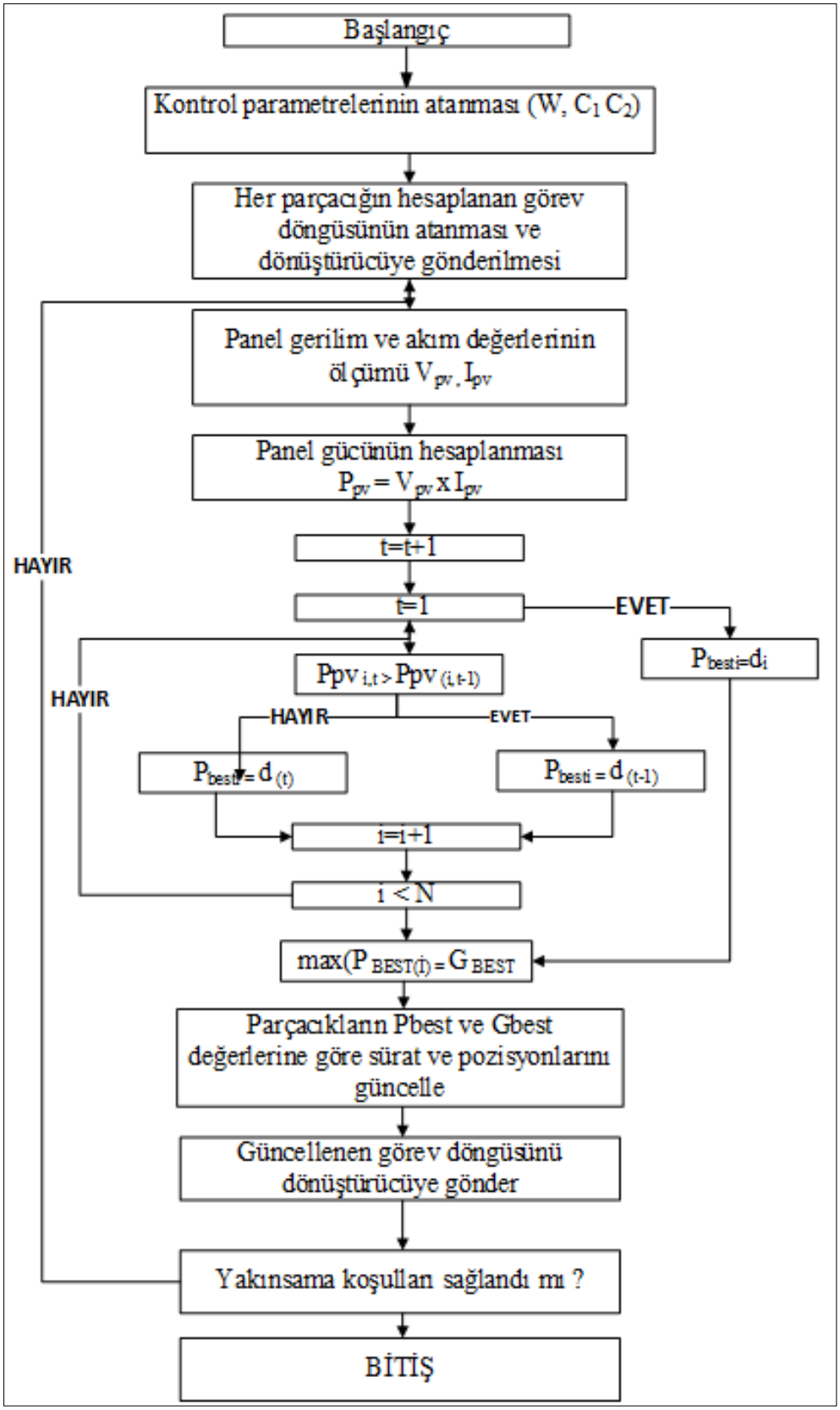
$$d2=1-\sqrt{\frac{Rin}{Ro}} \tag{4.14}$$

$$Rin=\frac{V_{mpp}}{I_{m\,pp}} \tag{4.15}$$

$$d3=\frac{\sqrt{\eta_b xR_{LMAX}}}{\sqrt{R_{pv\min}}+\sqrt{\eta_b xR_{LMAX}}} \tag{4.16}$$

η_b dönüştürücü verimliliği, $R_{pv\min}$ panelin minimum rezistansı, $R_{pv\max}$ panelin maksimum rezistans değeri, Rin değeri panelin iç direnci, R_{LMAX} çıkışın maksimum rezistans değeri ve $R_{LMİN}$ çıkışın minimum rezistans değeridir [34].

Modifiye parçacık sürü optimizasyonu algoritmasında panel parametrelerinden hesaplanabilecek görev döngüsü ilk atama değerleri algoritma içerisinde rastgele atama yerine kullanılacak ve takip tepki süresinin kısaltılması hedeflenecektir. Şekil 4.7'de modifiye parçacık sürü optimizasyonu algoritması akış şeması verilmiştir.



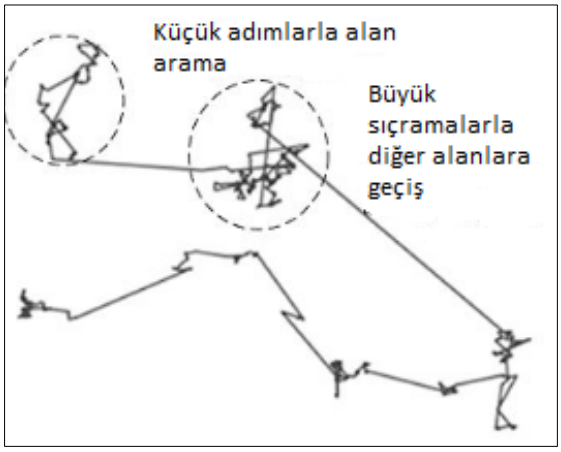
Şekil 4.8. Modifiye parçacık sürü optimizasyonu ile maksimum güç noktası takibi akış şeması

4.8. Guguk Kuşu Arama (CS) Algoritması ile Maksimum Güç Noktası Takibi

4.8.1. Guguk kuşu arama algoritmasına genel bakış

Guguk kuşu arama algoritması doğadan ilham alan en yeni algoritmalardan birisidir. 2009 yılında Xin-She Yang ve Suash Deb tarafından geliştirilmiştir [24]. Guguk kuşu arama algoritması ismini aldığı guguk kuşunun hayatına dayanır. Bu algoritma kuşların kendilerine has yavrulama ve yumurtlamalarını bırakması temeline dayanır. Yetişkin guguk kuşları diğer kuşların habitatlarına yumurtalarını bırakır. Bu yumurtalar büyür ve olgun guguk kuşları haline gelirler. Guguk kuşu sürülerinin göçü ve çevresel özellikler onları yeniden üreyebilecekleri ve yumurtlayabilecekleri en iyi ortama sürükler. En iyi ortamı bulmak amaç fonksiyonu olarak tanımlanır [29].

Bu algoritma bazı guguk kuşu türlerinin kuluçka parazitliğini temel alır. Bu kuşlar yumurtalarını diğer kuşların yuvalarına bırakırlar. Kuluçka asalaklığı türler arası, dayanışma ve yuva edinme olarak gruplandırılabilirler. Ev sahibi guguk kuşu yuvasındaki yumurtayı kırabilir ve başka bir yerde yenisini oluşturabilir. Yeni guguk kuşu oluşturma şansını artırmak için guguk kuşları, renkleri ve ev sahibi kuşların mimiklerini daha fazla beslenme kaynağına erişim şansını artırmak için taklit ederler. Levy uçuşu yeni yumurtalar oluşturmak için guguk kuşları tarafından kullanılır. Mevcut konumundan yenisine geçiş için kullandıkları bir tür harekettir. Levy uçuşu, olasılık dağılımına dayalı adım uzunluğu hesaplanan bir rastgele değişmedir. Bu rastgele değişme, çok yüksek sayılardaki adımlardan sonra kararlı dağılıma sahip olmaya eğilimlidir [29].



Şekil 4.9. Levy uçuşu [30]

Yuvadaki her kuş bir çözümü, ve her bir guguk kuşu yumurtası yeni meydana gelen bir çözümü temsil eder. Bu algoritmadaki amaç, çok iyi olmayan çözümleri potansiyel olarak daha iyi çözümler sunanlar ile değiştirmektir. En basit hali ile, her yuva bir yumurta barındırır. Guguk kuşu arama algoritması üç temel kurala dayanır;

- Her guguk kuşu belli zamanda bir yumurta bırakır ve o yumurtayı rastgele seçilen bir yuvaya bırakır.
- Yüksek kaliteli yumurtaları barındıran en iyi yuva (çözüm), sonraki jenerasyonlara aktarılır.
- Ev sahibi yuvaların sayısı sabitlenir, ve ev sahibi kuş 0-1 aralığındaki olasılıkla yabancı bir yumurtayı keşfedebilir. Bu durumda, ev sahibi kuş yumurtayı atabilir veya tamamen yeni bir konumda ve yeni bir yuva inşa etmek için yuvayı terkedebilir.

CS algoritmasında, kuşların arama davranışları kullanılmıştır. Levy uçuşunun karakteristiği kullanılarak rastgele adımların kullanılması, arama esnasında yakınsama zamanını kısaltan ve global aramayı genişleten uzun sıçramalar yapmasına olanak sağlar. Guguk kuşu arama algoritmasında, birçok arama elemanı başlangıç değerleri ve arama sınırlarıyla birlikte rastgele atanarak algoritma başlatılır. Pozisyonlarını güncellemeleri için Levy uçuşu kullanılır. Kuşlar yeni jenerasyonlar üretirken, aşağıdaki denkleme göre önceki pozisyona yeni adım empoze eder [31];

$$D(_{i+1})^{k} = D_i^{k} + \alpha * \frac{|u|_{||}}{v^{1/\beta}} * (D_{best} - D_i^{k}) \tag{4.17}$$

$$\text{Levy uçuşu} = \frac{|u|_{||}}{v^{1/\beta}} * (D_{best} - D_i^{k}) \tag{4.18}$$

i jenerasyon sayısı (i=1,2,….. iterasyon), k sürüdeki arama ajanının derecesi (k=1,2,….ss) ss sürü boyutu, α Levy adım faktörü katsayısı (genellikle 1 olarak alınır), β=1.5, u ve v tekdüze dağılıma sahip matrisler ve değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır [32];

$$u \sim N(0, \sigma_u^{\,2}) \quad \text{ve } v \sim N(0, \sigma_v^{\,2}) \tag{4.19}$$

$$\sigma_u = \left(\frac{\Gamma(1+\beta)*\sin(\pi*\beta/2)}{\Gamma\left(\frac{1+\beta}{2}\right)*\beta*2^{\left(\frac{\beta-1}{2}\right)}}\right)^{1/\beta} \quad \text{ve } \sigma_v = 1 \tag{4.20}$$

Γ = integral gama fonksiyonu

4.8.2. Guguk kuşu arama algoritmasının maksimum güç noktası takibi algoritması olarak kullanımı

Guguk kuşu arama tekniğinin temel kurallarına dayanarak maksimum güç noktası takibini yapabilmek için kullanılacak olan görev döngüsü aşağıdaki adımlara göre belirlenir [33];

1. Dönüştürücü görev döngüsü değerleri Di=(i=1,2,…n) ve Levy uçuşu katsayıları CS algoritması parametreleri olarak tanımlanır.
2. İlk görev döngüsü değerleri art arda yükselten dönüştürücüye gönderilir ve ilgili güç değerleri (amaç fonksiyonu) hesaplanır. Maksimum güç noktası ve görev döngüsü mevcut en iyi konum olarak hafızaya alınır. Yeni görev döngüsü örneklemeleri Levy uçuşu ve aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır;

$$D_i^{k+1} = D_i^k + \alpha * \frac{|u|}{v^{1/\beta}} * (D_{best}{}^k - D_i^k) \tag{4.21}$$

β=1.5 ve α Levy çarpım katsayısı, u ve v tekdüze dağılımlı fonksiyondan rastgele seçilen değerlerdir.

$$u \approx N(0, \sigma_u{}^2) \quad \text{ve } v \approx N(0, \sigma_v{}^2) \tag{4.22}$$

σ_u ve σ_v değerleri gama fonksiyonu kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır;

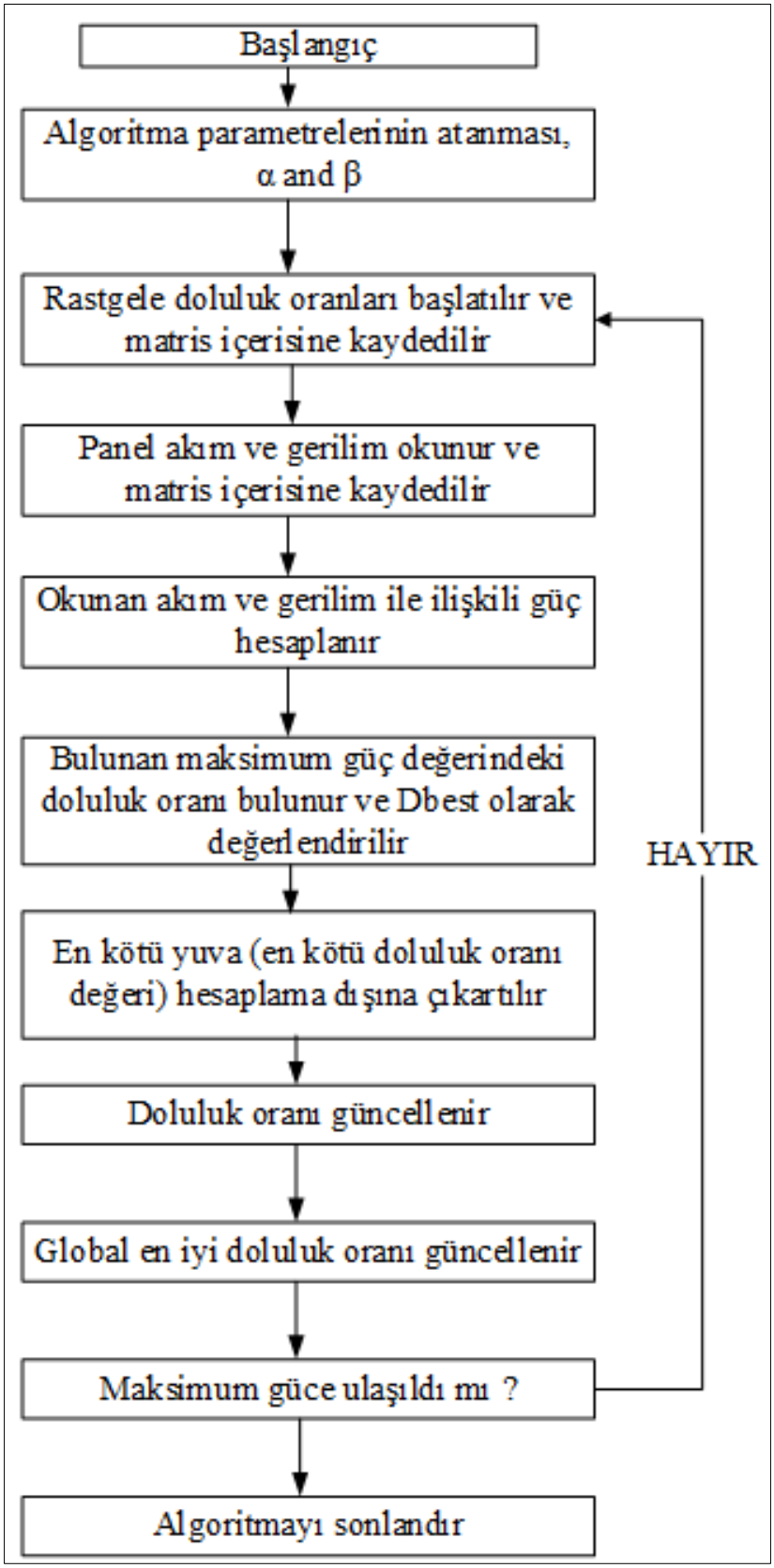
$$\sigma_u = \left(\frac{\Gamma(1+\beta)*\sin(\pi*\beta/2)}{\Gamma\left(\frac{1+\beta}{2}\right)*\beta*2^{\left(\frac{\beta-1}{2}\right)}}\right)^{1/\beta} \quad \text{ve } \sigma_v = 1 \tag{4.23}$$

3. Eşitlik 4.21 kullanılarak hesaplanan yeni görev döngüsü değerleri DC/DC dönüştürücüye gönderilir. Yeni görev döngüsü değerlerinden elde edilen maksimum güç noktası yeni örnekleme olarak seçilir. Buna ilave olarak, kimi örneklemeler ev

sahibi guguk kuşlarının yumurtaları yok ettiği gibi, isteğe göre ihmal edilir. Böylelikle yeni örneklemeler, ihmal edilenlerin yerine koymak amacıyla üretilir ve tüm güç değerleri ölçülür. Güç değerleri kıyaslanarak yeni en iyi pozisyon seçilir.

4. Kriterler sağlandığı zaman algoritma durdurulur ve maksimum güç noktasındaki en iyi görev döngüsü değeri çıkış olarak gönderilir.

Şekil 4.9'da guguk kuşu arama algoritması ile maksimum güç noktası takibi akış şeması verilmiştir.



Şekil 4.10. Guguk kuşu arama algoritması ile maksimum güç noktası takibi akış şeması

5. SİSTEM TASARIMI VE MODELLENMESİ

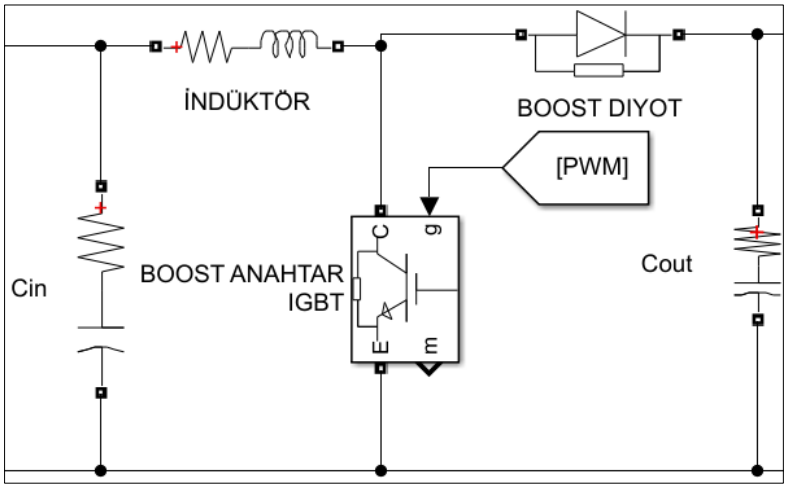
Mevcut tez çalışmasında gerçekleştirilen sistemin tasarımı ve modellenmesi aşağıdaki bölümlerde ayrı ayrı açıklanmıştır.

5.1. MPPT-Yükselten Dönüştürücü Tasarımı

Simülasyonda kullanılan DC/DC yükselten dönüştürücü için indüktör, çıkış kapasitörü ve giriş kapasitörü değerleri sırasıyla Eşitlik 3.9, Eşitlik 3.10 ve Eşitlik 3.11 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.1'de yükselten dönüştürücü devresinde kullanılan devre parametreleri görülmektedir.

Çizelge 5.1. Yükselten dönüştürücü devresi devre elemanları değerleri

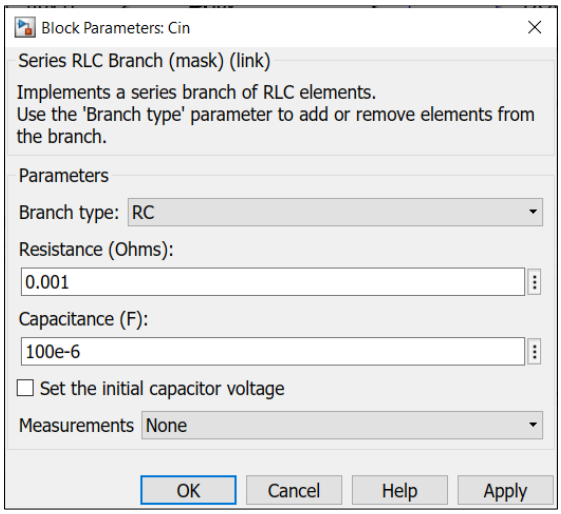
YÜKSELTEN DÖNÜŞTÜRÜCÜ DEVRE PARAMETRELERİ			
Dönüştürücü giriş kapasitörü C_{in} (µF)	100	Rezistif yük (Ω)	50
İndüktör (mH)	15	Çıkış kapasitörü C_{out} (µF)	400
Darbe genlik modulasyon frekansı (kHz)	10		



Şekil 5.1. Yükselten dönüştürücü devre şeması

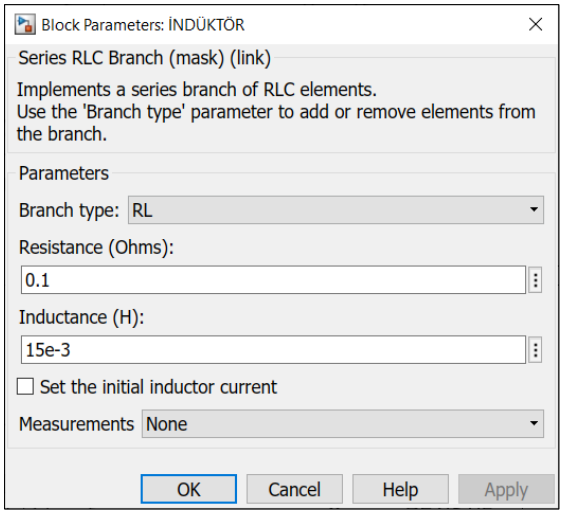
Yükselten dönüştürücü devresinde kullanılan kapasitörlere eşdeğer seri direnç (ESR), indüktöre DC rezistans (DCR), anahtarlama elemanı ve diyot RDS_{on} direnç değerleri, iletim kayıplarını gerçek ortama yakınsayarak, benzetim yapmak için eklenmiştir. Yükselten dönüştürücü devresinde kullanılan devre elemanlarından giriş kapasitörü, indüktör, çıkış

kapasitörü, anahtarlama elemanı ve diyot parametreleri sırasıyla Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da verilmiştir.



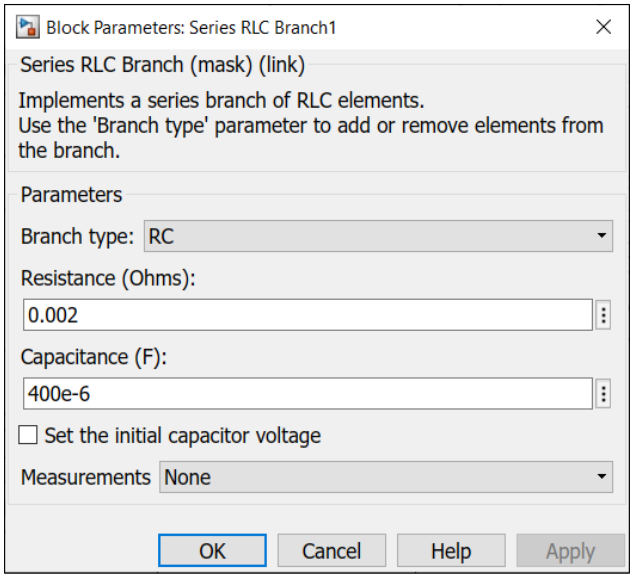
Şekil 5.2. Yükselten dönüştürücü giriş kapasitörü parametreleri

DC/DC yükselten dönüştürücünün giriş terminallerinde, DC gerilim dalgalanmalarını azaltmak amacıyla C4DEHPQ6100A8TK parça kodlu ürün giriş kapasitörü olarak modellenmiştir.



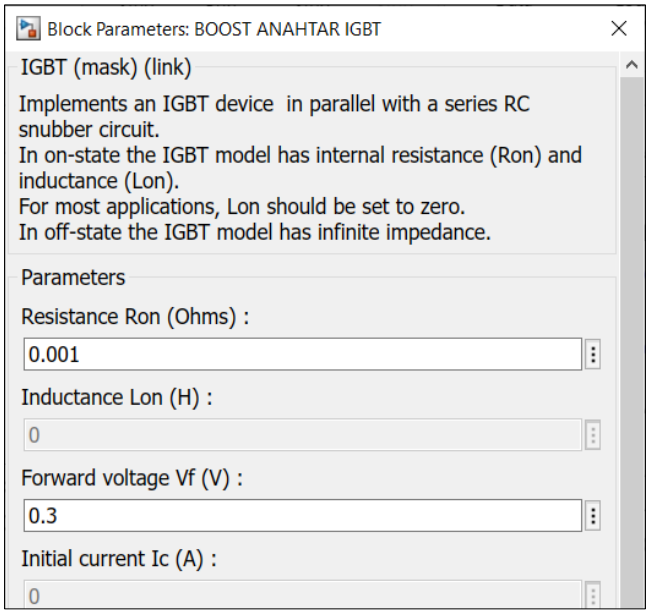
Şekil 5.3. Yükselten dönüştürücü indüktör parametreleri

DC/DC yükselten dönüştürücüde C-80U parça kodlu indüktör modellenmiştir.



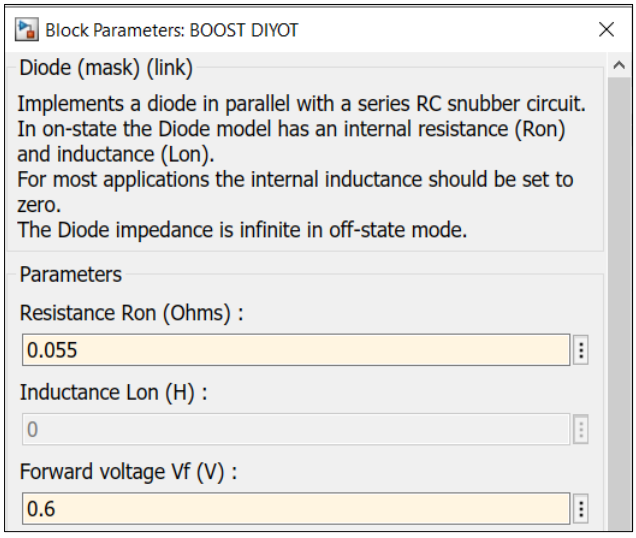
Şekil 5.4. Yükselten dönüştürücü çıkış kapasitörü parametreleri

DC/DC yükselten dönüştürücünün çıkış terminallerinde C44PLGR6400ZASJ parça kodlu kapasitör modellenmiştir.



Şekil 5.5. Yükselten dönüştürücü anahtarlama elemanı parametreleri

DC/DC yükselten dönüştürücüde STE145N65M5 parça kodlu ürün anahtarlama elemanı olarak modellenmiştir.

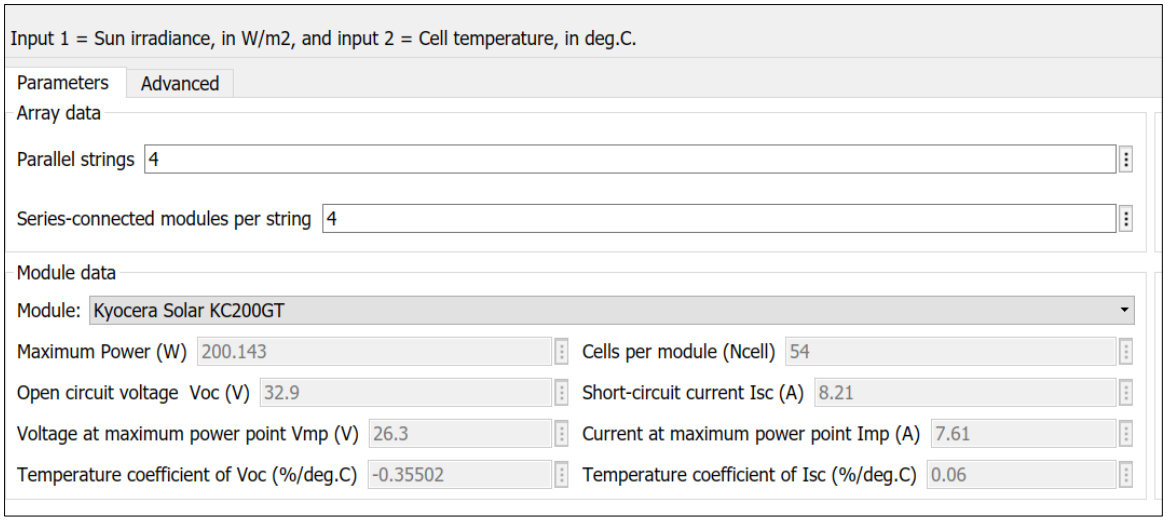


Şekil 5.6. Yükselten dönüştürücü diyot parametreleri

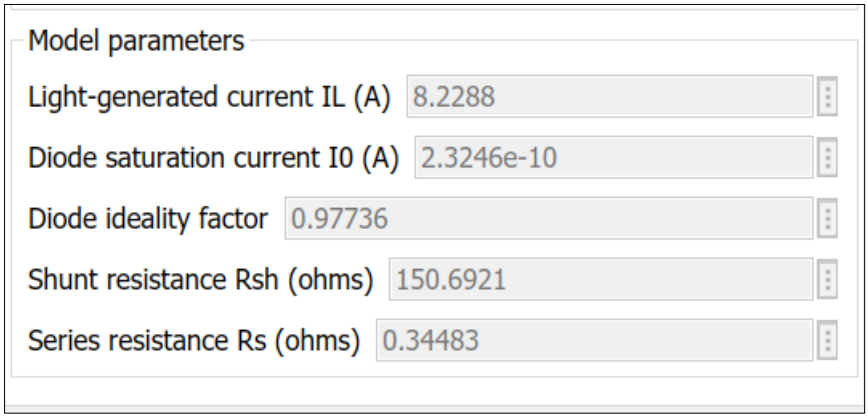
DC/DC yükselten dönüştürücüde VS-305UR250P4 parça kodlu ürün diyot olarak modellenmiştir.

5.2. Fotovoltaik Panel Dizisi, P-V ve I-V Karakteristikleri

Tez çalışmasında, Kyocera Solar KC200GT parça numaralı PV panel kullanılmıştır. Çıkış gücünde 3.2 kW güç değeri elde edebilmek için, 200 W nominal güç değerine sahip PV modüller 4 seri ve 4 paralel bağlantı olacak şekilde bağlanmıştır. Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de tez çalışmasında kullanılan fotovoltaik panellerin özellikleri verilmiştir.

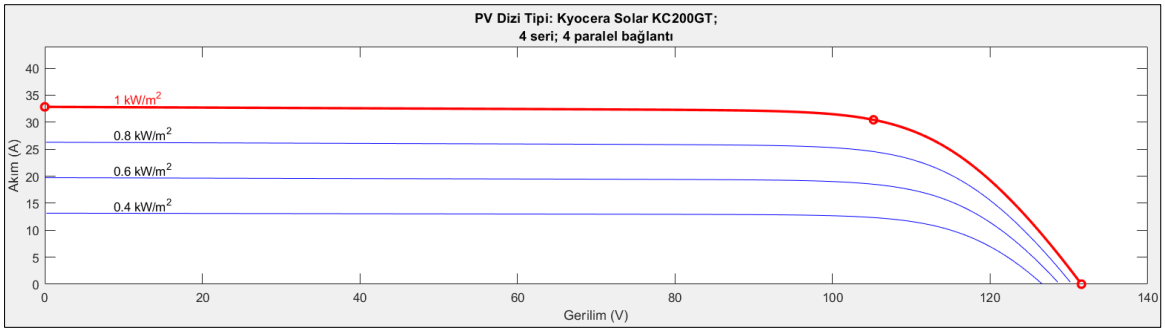


Şekil 5.7. Tez çalışmasında kullanılan 4x4 fotovoltaik panel dizisi özellikleri

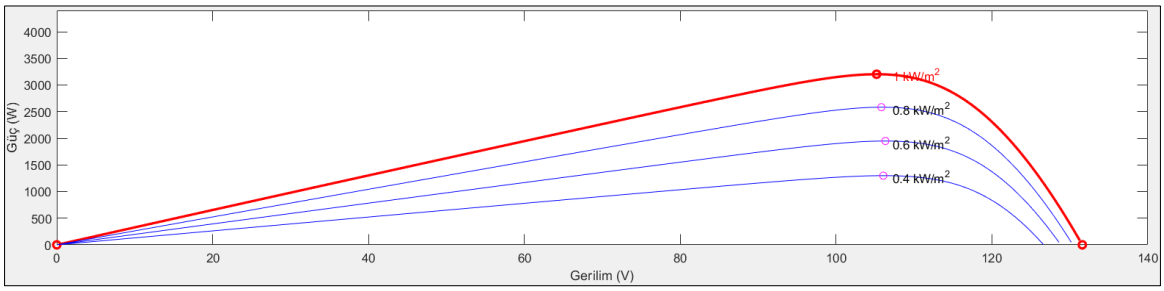


Şekil 5.8. Tez çalışmasında kullanılan fotovoltaik hücre model parametreleri

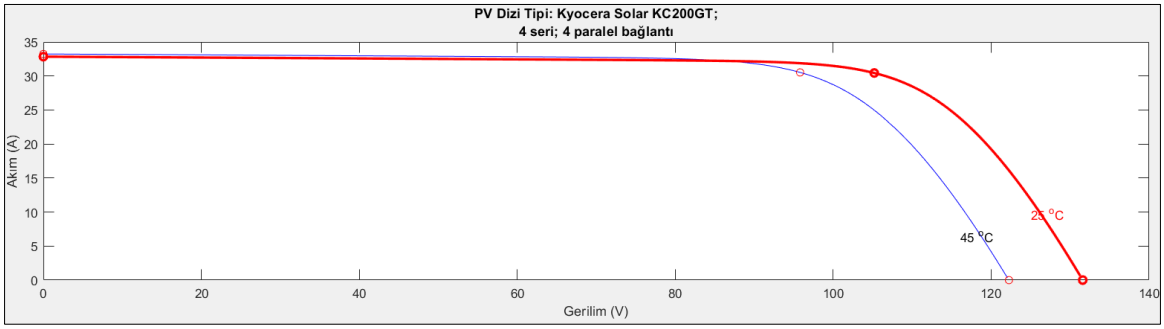
Mevcut çalışmada kullanılan panel dizisinin 25° C sıcaklık değerinde, 1000 W/m^2, 800 W/m^2, 600 W/m^2 ve 400 W/m^2 ışınım değerleri altında I-V ve P-V eğrileri, sırasıyla Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da verilmektedir. 1000 W/m^2 ışınım değeri altında 25° C ve 45° C sıcaklıklarında I-V ve P-V eğrisi sırasıyla Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de verilmiştir. Panel dizisinin farklı ışınım ve sıcaklık değerleri altında beklenen maksimum güç ve maksimum güç noktasındaki gerilim ve akım değerleri Çizelge 5.2'de verilmiştir.



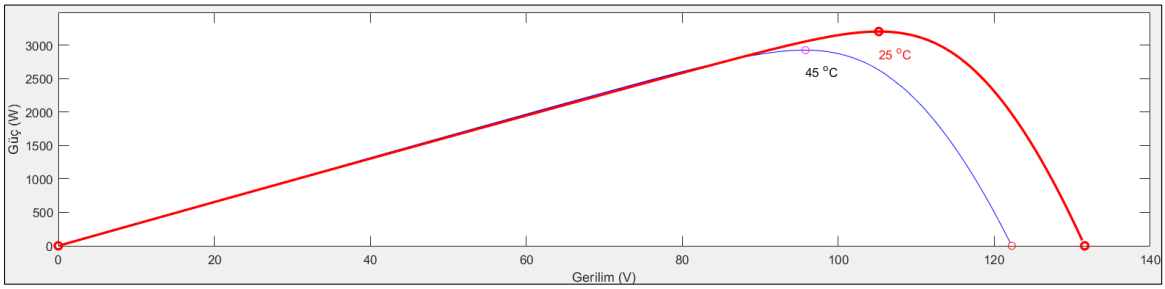
Şekil 5.9. 25° C derece sıcaklık değerinde, 1000 W/m^2, 800 W/m^2, 600 W/m^2 ve 400 W/m^2 ışınım değerleri altında panel dizisinin akım-gerilim eğrisi



Şekil 5.10. 25° C derece sıcaklık değerinde, 1000 W/m^2, 800 W/m^2, 600 W/m^2 ve 400 W/m^2 ışınım değerleri altında panel dizisinin güç-gerilim eğrisi



Şekil 5.11. 1000 W/m^2 ışınım değerinde, 25 °C ve 45 °C sıcaklık değerleri altında PV dizisinin akım-gerilim eğrisi



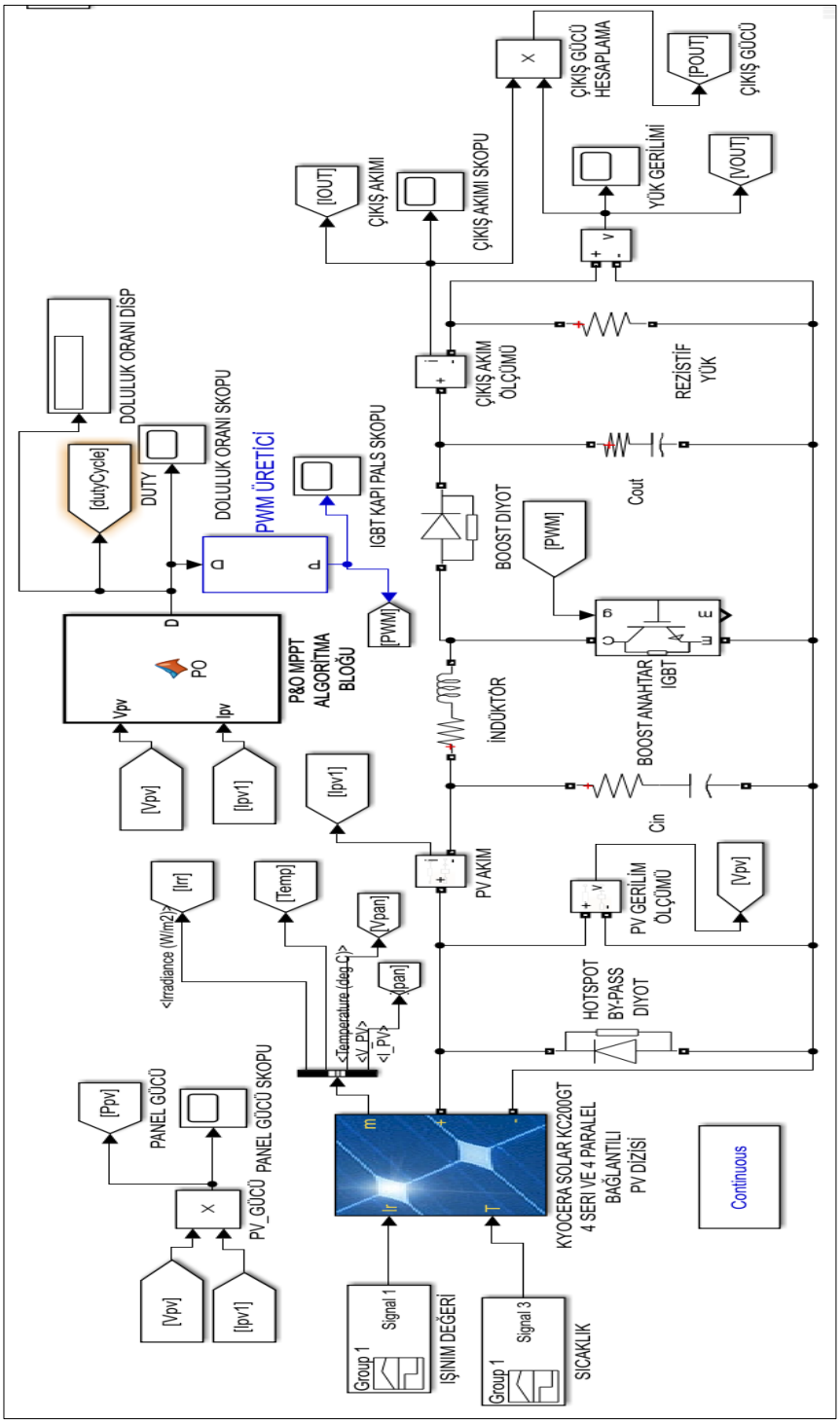
Şekil 5.12. 1000 W/m^2 ışınım değerinde, 25 °C ve 45 °C sıcaklık değerleri altında PV dizinin güç-gerilim eğrisi

Çizelge 5.2. Mevcut çalışmada kullanılan panel dizisinin farklı sıcaklık ve ışınım değerlerinde beklenen maksimum güç noktası ve maksimum güç noktasındaki akım ve gerilim değerleri

PANELİN FARKLI SICAKLIK VE IŞINIM DEĞERLERİNDE BEKLENEN MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI DEĞERLERİ					
Sıcaklık (°C)	Işınım (W/m2)	Maksimum Güç (Watt)	Gerilim (Volt)	Akım (Amper)	Rpv (Ω)
25	1000	3202	105,20	30,44	3,46
45	1000	2924	95,81	30,52	3,14
25	800	2584	105,80	24,42	4,33
45	800	2360	96,24	24,52	3,92
25	600	1949	106,30	18,33	5,80
45	600	1779	96,51	18,43	5,24
25	400	1299	106,10	12,24	8,67
45	400	1184	96,19	12,31	7,81

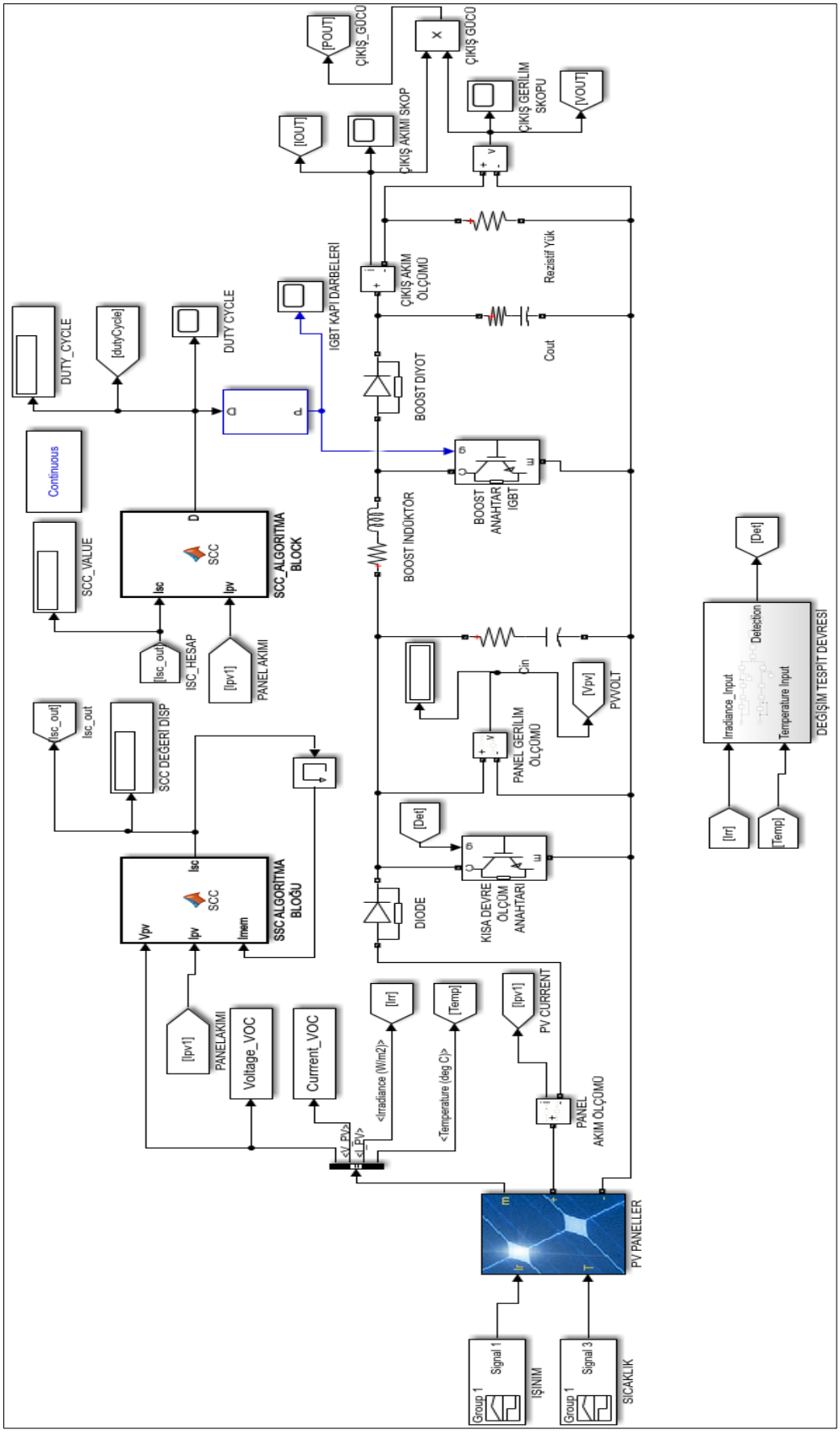
5.3. Simülasyon Devre Şemaları

Simülasyonda kullanılan değiştir ve gözle, artırılmış iletkenlik, parçacık sürü optimizasyonu ve modifiye parçacık sürü optimizasyonu algoritmaları için devre şemaları Şekil 5.13'te verilmiştir.

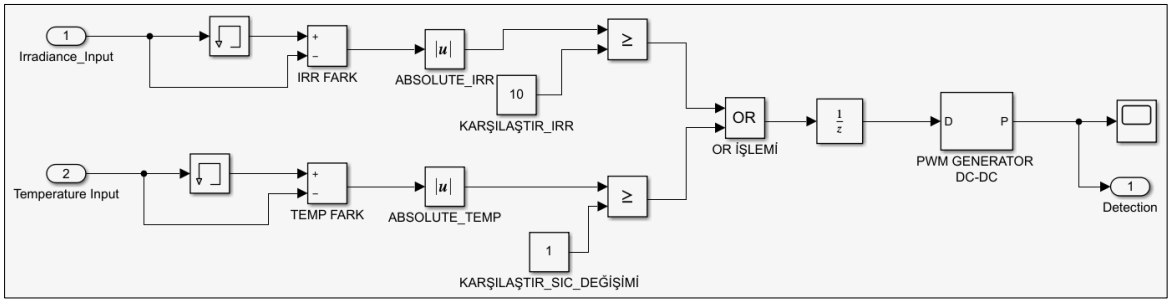


Şekil 5.13. Değiştir ve gözle, artırılmış iletkenlik algoritmaları simulink devre şeması

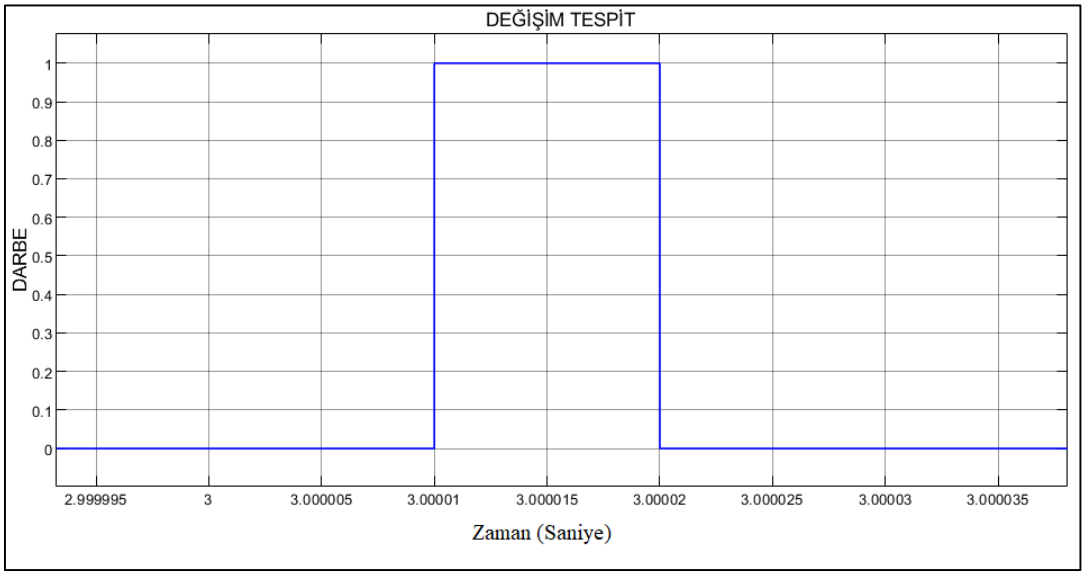
Kısa devre akımı tekniğinde, değişen durumlarda kısa devre akımı ölçüm işlemini yenilemek amacıyla PV panele paralel konumda yerleştirilen bir anahtarlama elemanı kullanılmıştır. Değişim algılandığı zaman, anahtar çok kısa süre ile kapatılıp, yeni ölçümler alındıktan sonra tekrar açılır. Değişimi algılamak amacıyla, değişim tespit devresi kurulmuştur. Değişim devresi parametreleri, 10 W/m^2 ışınım değişimi veya sıcaklıktaki 1 °C derecelik değişimi algılayacak hassasiyetle ayarlanmıştır. Değişimin tespit edildiği durumda, devre çıkışında 10 mikrosaniye süreli darbe sinyali algoritma bloğuna gönderilir. Algoritma bloğu darbe sinyali algıladığında, ölçümlerin yenilenmesi ve yeni hesaplamaların yapılması için gerekli adımlara dönüş yapar. Kısa devre tekniği simulink devre şeması Şekil 5.14'te, kısa devre tekniği değişim tespit devresi Şekil 5.15'de ve kısa devre akımı tekniğinde, değişim tespit devresi tarafından üretilen darbe sinyali Şekil 5.16'da verilmiştir.



Şekil 5.14. Kısa devre tekniği simulink devre şeması

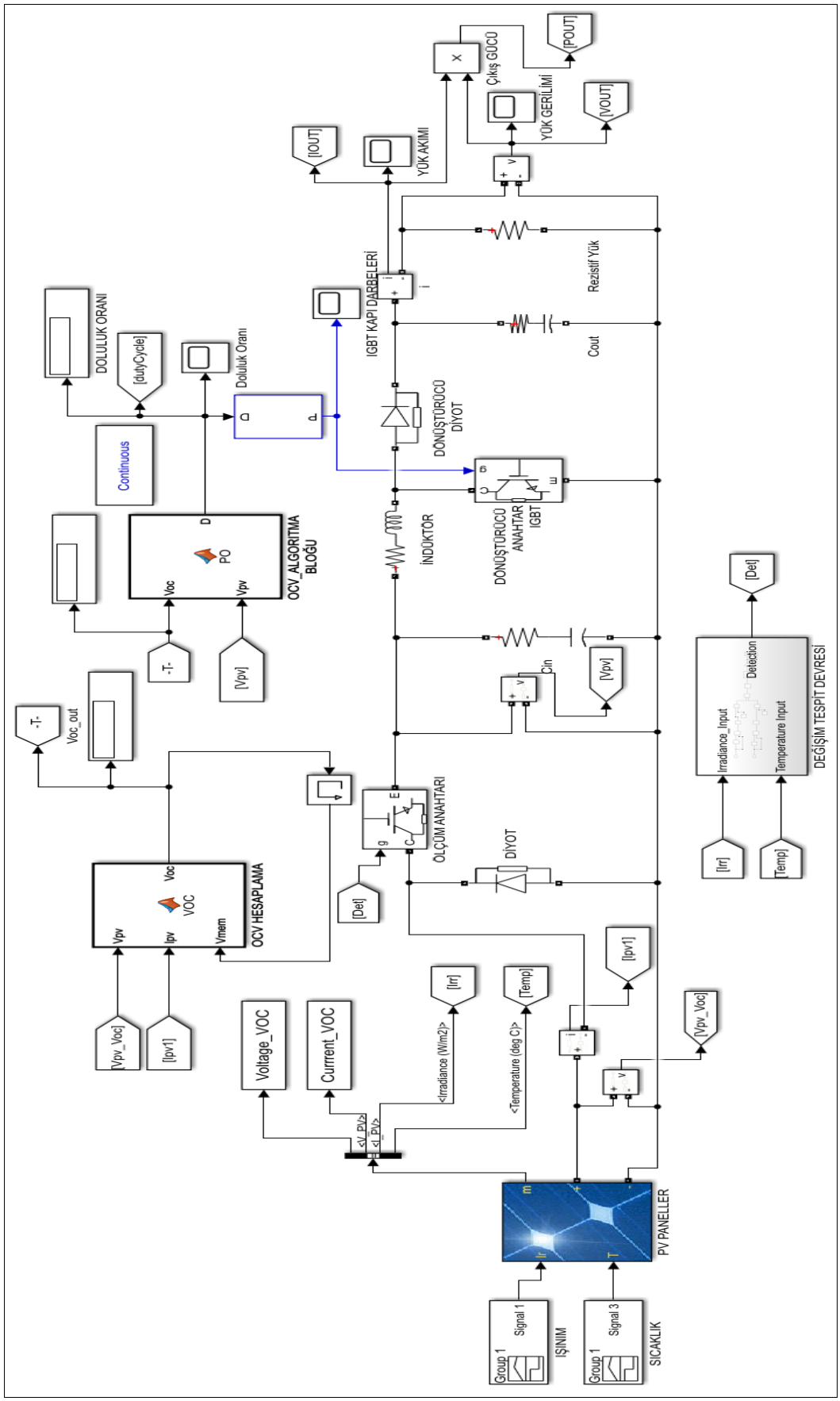


Şekil 5.15. Kısa devre tekniği değişim tespit devresi

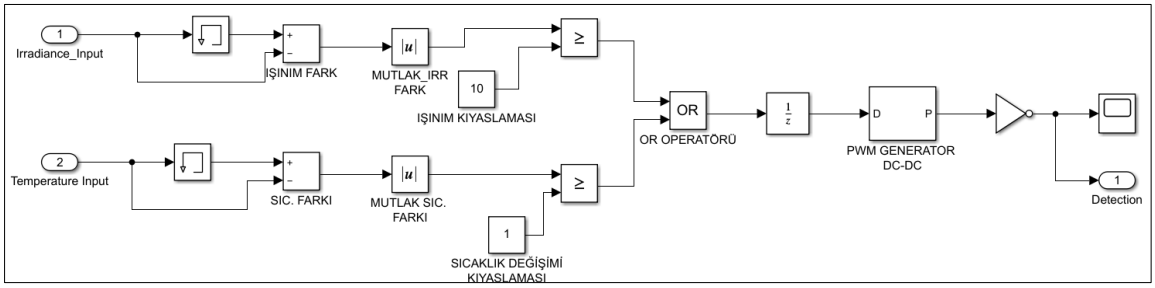


Şekil 5.16. Kısa devre akımı tekniğinde, değişim tespit devresi tarafından üretilen darbe sinyali

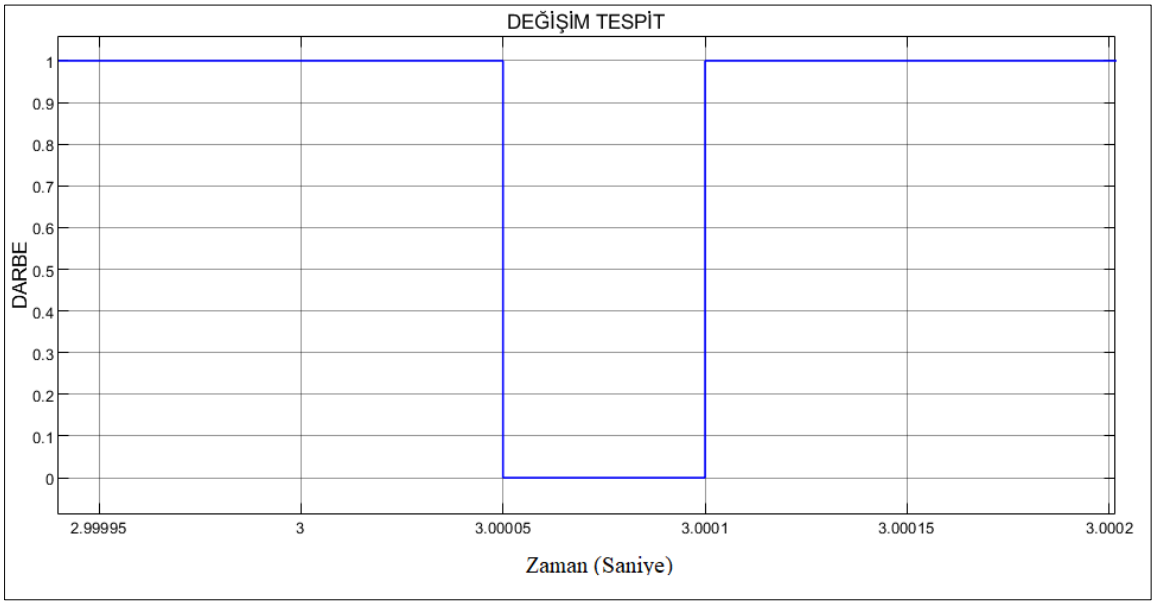
Açık devre gerilim tekniğinde, PV panele seri olarak yerleştirilen bir anahtarlama elemanı kullanılmıştır. Değişim algılandığı zaman, anahtar çok kısa süre ile açılıp, yeni ölçümler alındıktan sonra tekrar kapatılır. Değişimi algılamak amacıyla, değişim tespit devresi kurulmuştur. Değişim devresi, 10 W/m^2 ışınım değişimi veya sıcaklıktaki 1 °C değişimi algılayacak hassasiyetle, devre parametreleri ayarlanmıştır. Değişim tespit edildiği durumda, devre çıkışında 50 mikrosaniye süreli darbe sinyali algoritma bloğuna gönderilir. Algoritma bloğu darbe sinyali algıladığında, ölçümlerin yenilenmesi ve yeni hesaplamaların yapılması için gerekli adımlara dönüş yapar. Açık devre gerilim tekniği simulink devre şeması Şekil 5.17'de, açık devre gerilim tekniği değişim tespit devresi Şekil 5.18'de ve açık devre gerilim tekniğinde, değişim tespit devresi tarafından üretilen darbe sinyali Şekil 5.19'da verilmiştir.



Şekil 5.17. Açık devre gerilim tekniği simulink devre şeması

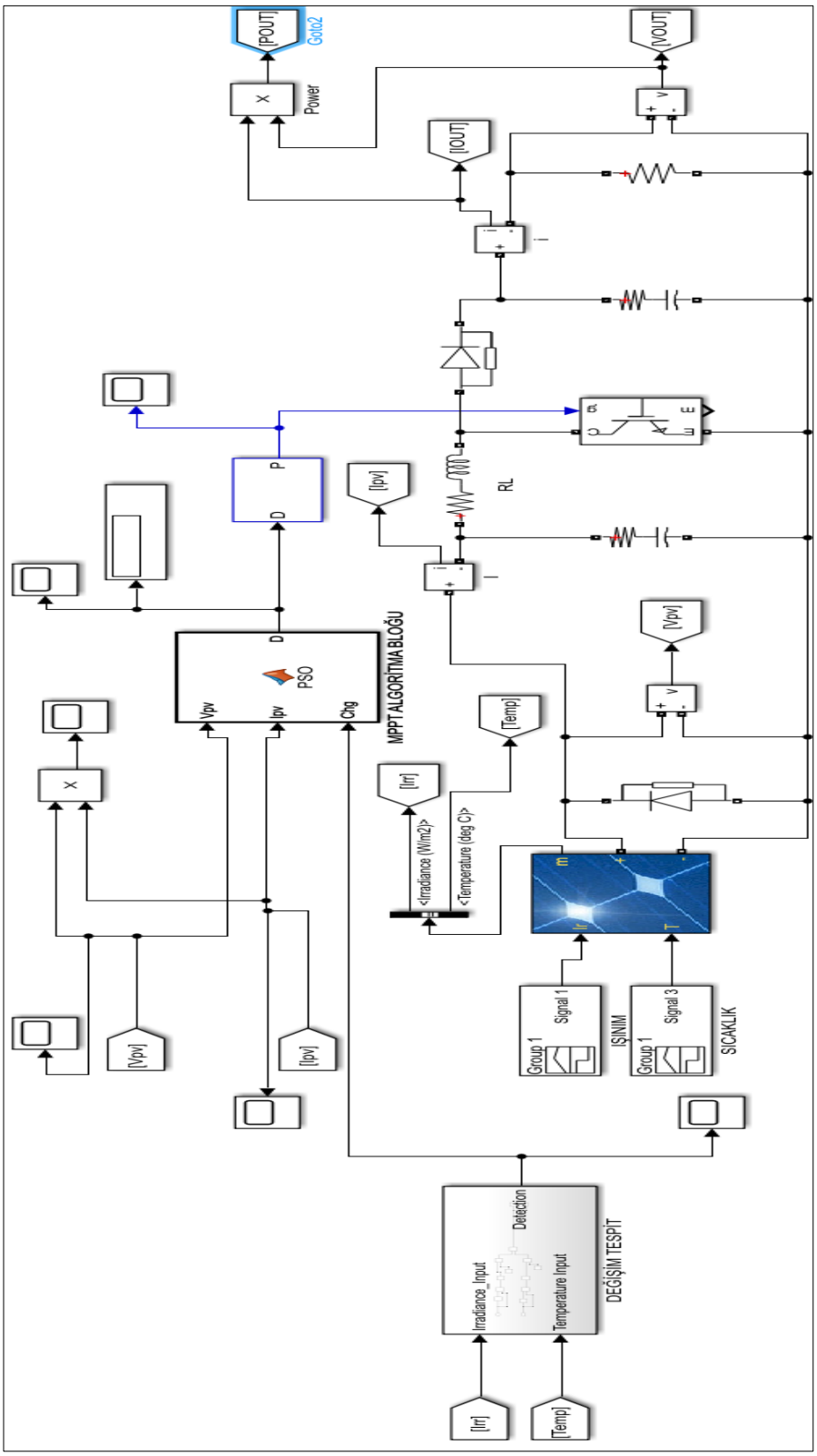


Şekil 5.18. Açık devre gerilim tekniği değişim tespit devresi

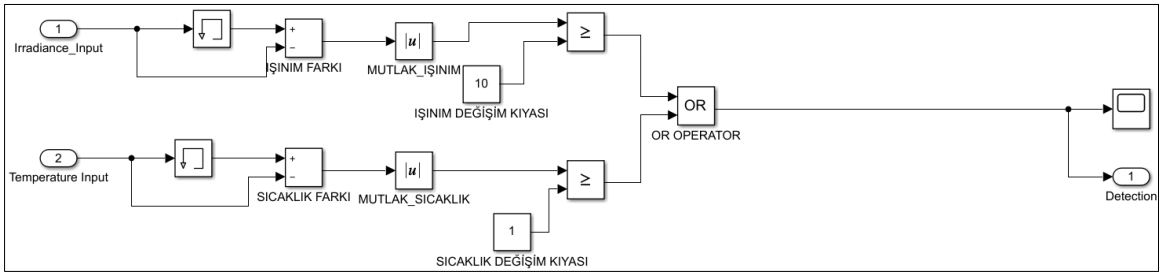


Şekil 5.19. Açık devre gerilim tekniğinde, değişim tespit devresi tarafından üretilen darbe sinyali

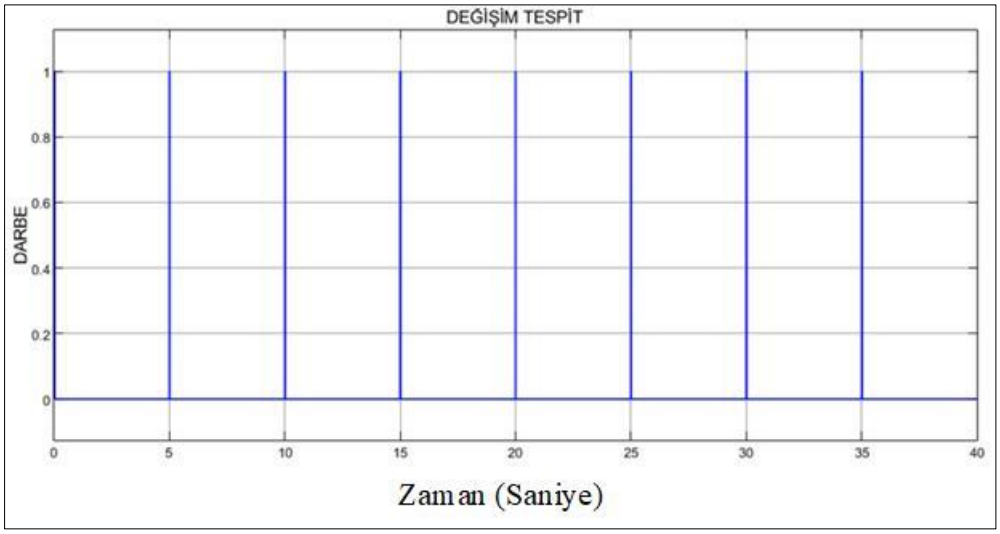
Parçacık sürü optimizasyonu, modifiye parçacık sürü optimizasyonu ve guguk kuşu arama algoritmalarında, çevresel etmenlerin değişmesi durumunda yeni görev döngüsü değerleri hesaplanması gerekmektedir. Işınım ve sıcaklık değişimlerinin tespit edilmesi için değişim tespit devresi kullanılmıştır. Değişim devresi, 10 W/m^2 ışınım değişimi veya sıcaklıktaki 1 °C değişimi algılayacak hassasiyetle, devre parametreleri ayarlanmıştır. Değişim tespit edildiği durumda, devre darbe sinyali çıktısı üretir. Üretilen darbe sinyali algoritma bloğuna gönderilir. Algoritma bloğu darbe sinyali algıladığında, ölçümlerin yenilenmesi ve yeni hesaplamaların yapılması için gerekli adımlara dönüş yapar.



Şekil 5.20. Parçacık sürü optimizasyonu, modifiye parçacık sürü optimizasyonu ve guguk kuşu arama algoritmaları için simulink devre şeması



Şekil 5.21. Parçacık sürü optimizasyonu, modifiye parçacık sürü optimizasyonu ve guguk kuşu arama algoritmaları için değişim tespit devresi



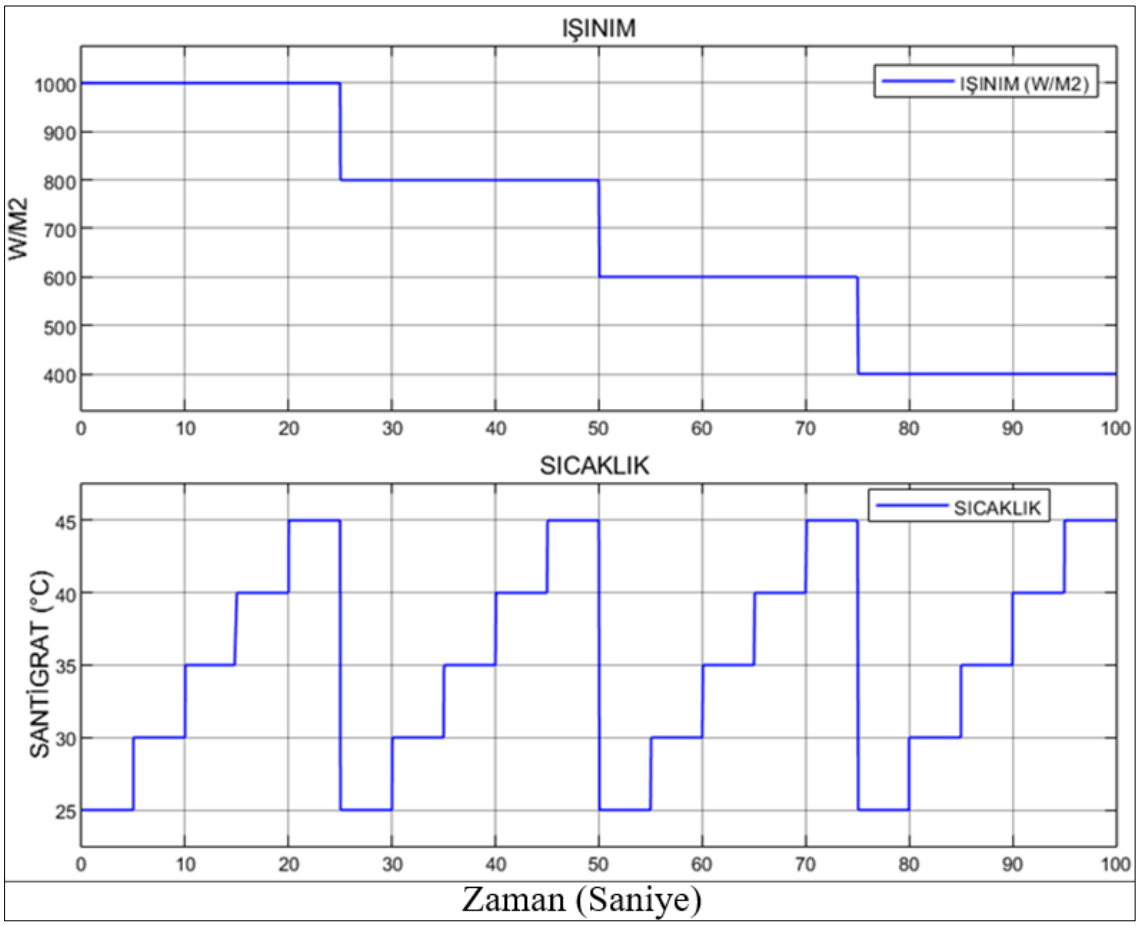
Şekil 5.22. Parçacık sürü optimizasyonu, modifiye parçacık sürü optimizasyonu ve guguk kuşu arama algoritmalarında kullanılan değişim tespit devresi tarafından üretilen darbe sinyalleri

Parçacık sürü optimizasyonu, modifiye parçacık sürü optimizasyonu ve guguk kuşu arama algoritmaları için kurulan değişim tespit devresi, 10 W/m^2 ışınım değişimi veya sıcaklıktaki 1 °C değişimi algılayarak darbe sinyali formunda çıkış sinyali üretmektedir. Bu darbe sinyali ile algoritmalar, değişimin gerçekleştiği durumdaki çevresel koşullara uygun yeni görev döngüsünü hesaplamaktadır. Parçacık sürü optimizasyonu, modifiye parçacık sürü optimizasyonu ve guguk kuşu arama algoritmalarında kullanılan değişim tespit devresi tarafından üretilen darbe sinyalleri Şekil 5.22'de verilmiştir.

6. SİMÜLASYON ÇIKTILARI

6.1. PV Panele Uygulanan Işınım ve Sıcaklık Girdileri

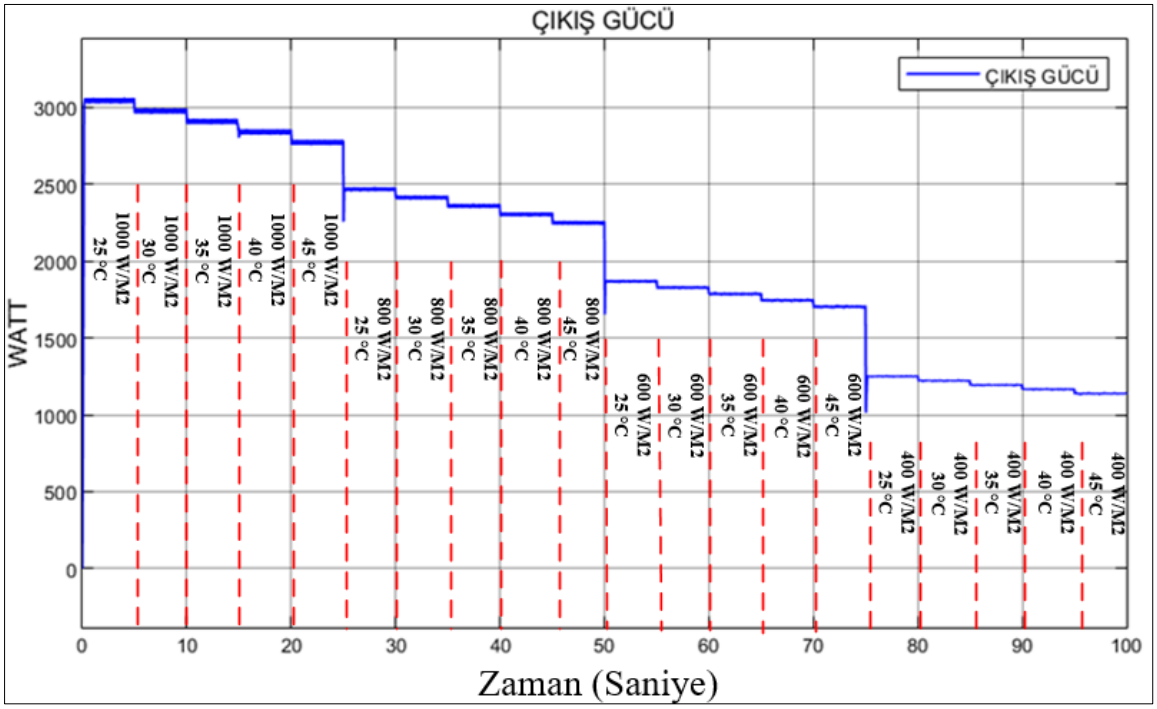
Simülasyonda kullanılan PV dizisine farklı hava koşullarını benzetim amacıyla, değişken ışınım ve değişken sıcaklık değerleri uygulanmıştır. Panel dizisine uygulanan ışınım ve sıcaklık girdilerinin zamana bağlı grafiği Şekil 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.1. PV panel dizisinin zamana bağlı ışınım ve sıcaklık girdileri

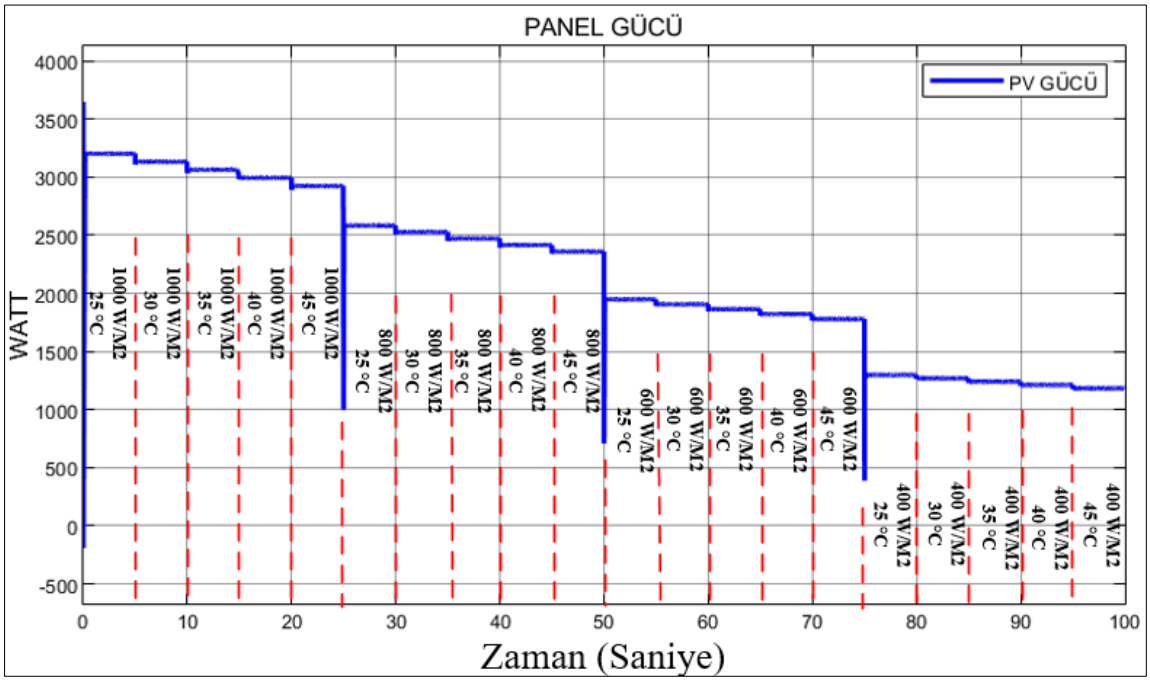
6.2. Değiştir ve Gözle Algoritması Simülasyon Çıktıları

Değiştir ve gözle algoritması ile elde edilen zamana göre çıkış gücü grafiği, zamana göre panel gücü grafiği, zamana göre çıkış gerilimi ve çıkış akımı grafiği, görev döngüsü-zaman grafiği ve kararlı durum görev döngüsü grafikleri sırasıyla Şekil 6.2, Şekil 6.3, Şekil 6.4, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da verilmiştir.



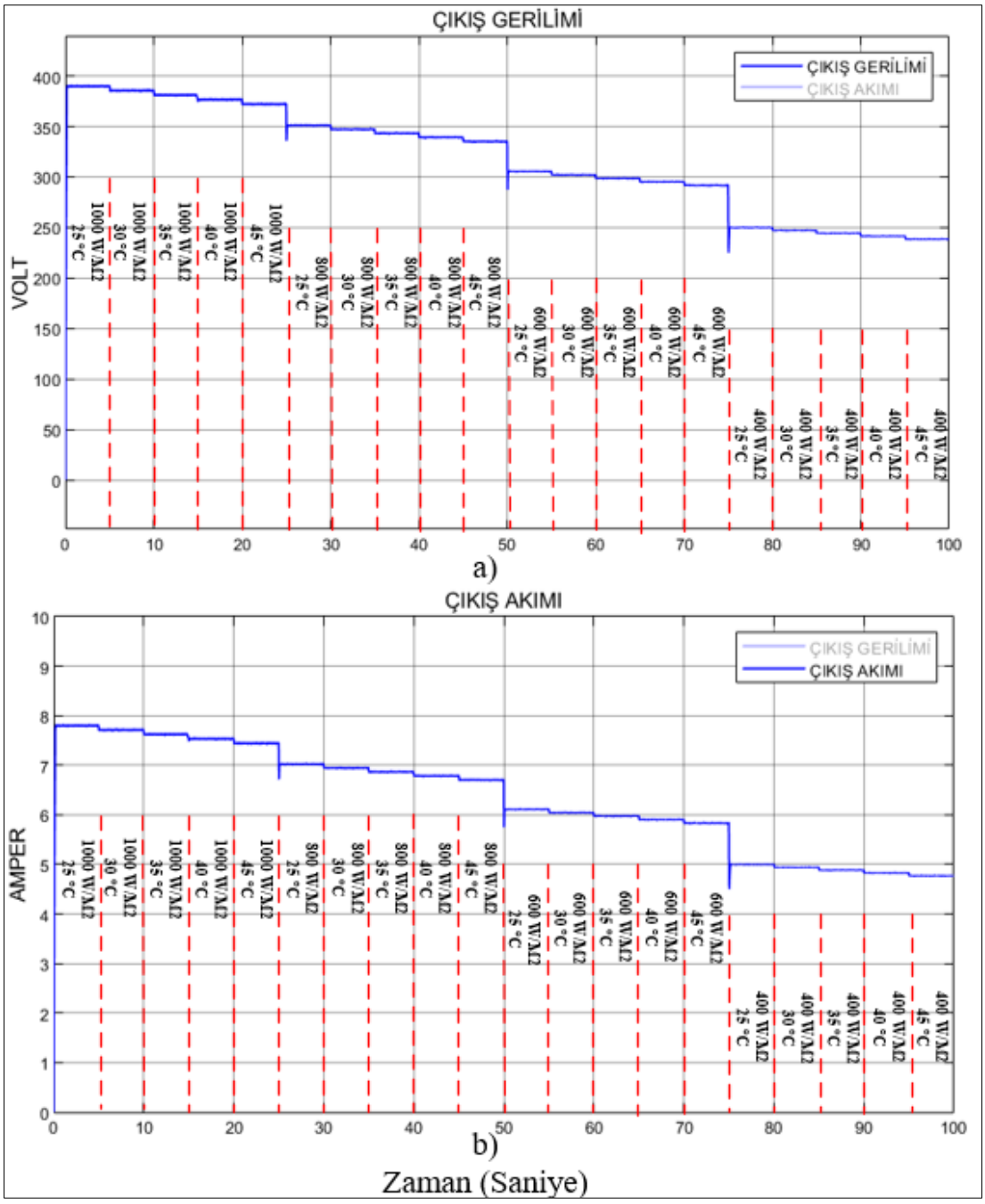
Şekil 6.2. Değiştir ve gözle algoritması ile zamana göre çıkış gücü grafiği

Değiştir ve gözle algoritması ile elde edilen DC/DC dönüştürücünün, 100 saniyelik ölçüm periyodu boyunca güç çıkış dalga formu Şekil 6.2'de verilmiştir.



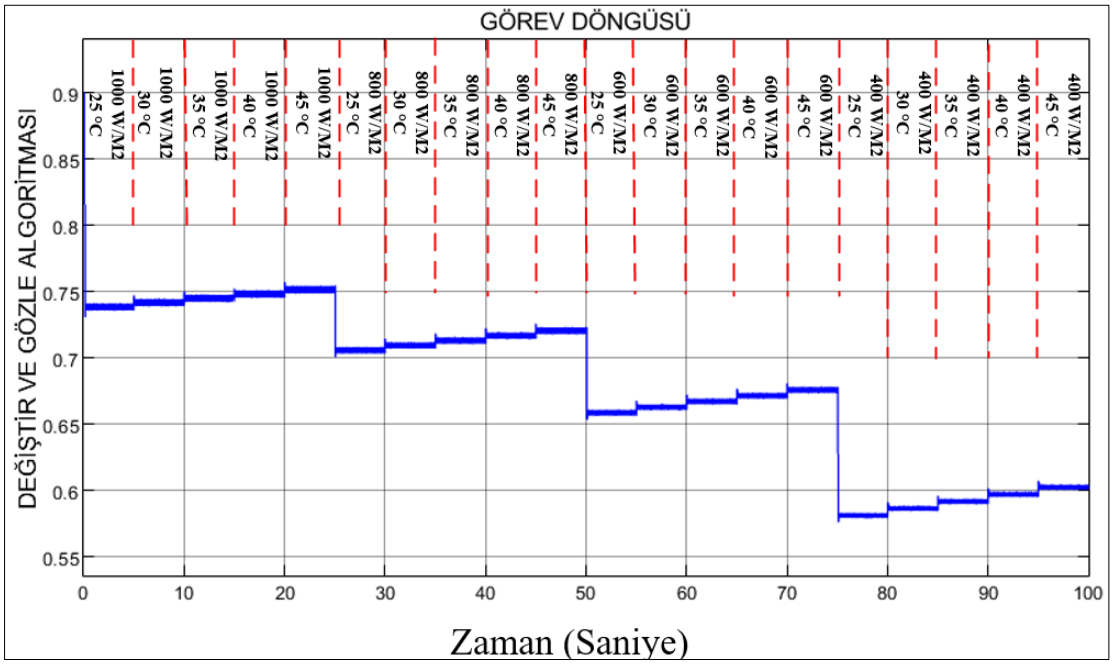
Şekil 6.3. Değiştir ve gözle algoritması ile zamana göre panel gücü grafiği

Değiştir ve gözle algoritması ile 100 saniyelik ölçüm periyodu boyunca panelden çekilen gücün dalga formu Şekil 6.3'te verilmiştir. Çevresel koşulların değiştiği durumda, panel gücünde bu değişim esnasında daha yüksek miktarlarda salınımlar meydana gelmektedir. DC/DC yükselten dönüştürücü devresinin çıkışında kapasitör kullanımı ile bu salınımlar, devrenin çıkışında daha düşük miktarlarla sınırlı tutulabilmektedir.



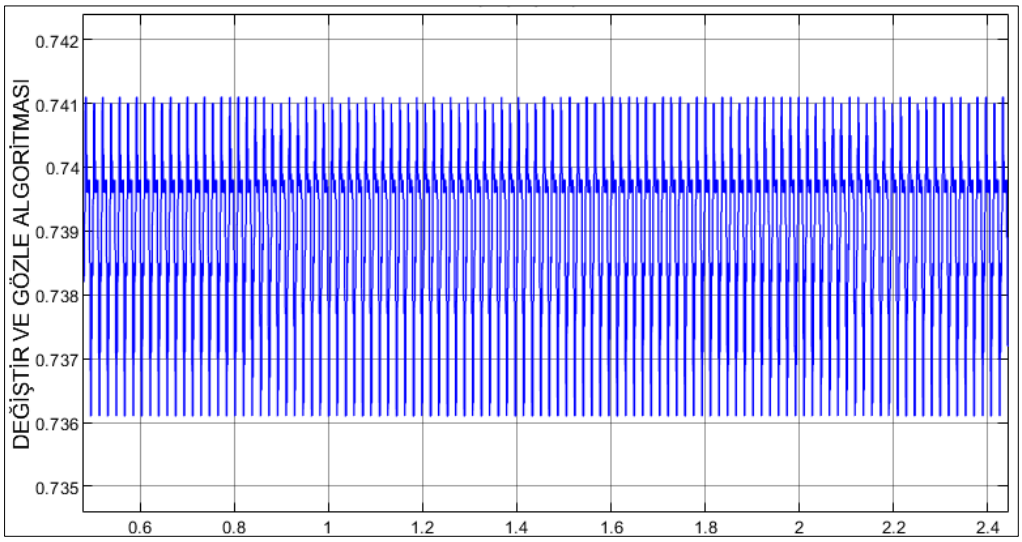
Şekil 6.4. Değiştir ve gözle algoritması ile zamana göre a) çıkış gerilimi, b) çıkış akımı grafiği

Değiştir ve gözle algoritması ile elde edilen DC/DC dönüştürücünün, 100 saniyelik ölçüm periyodu boyunca 50 Ω rezistif yük ile çıkış gerilimi ve çıkış akımı dalga formu Şekil 6.4'te verilmiştir.



Şekil 6.5. Değiştir ve gözle algoritması görev döngüsü-zaman grafiği

Farklı çevresel koşullarda maksimum güç, DC/DC yükselten dönüştürücünün görev döngüsü değerinin ayarlanması ile elde edilebilmektedir. Değiştir ve gözle algoritması ile tüm periyot boyunca gözlemlenen görev döngüsü-zaman grafiği Şekil 6.5'te verilmiştir.

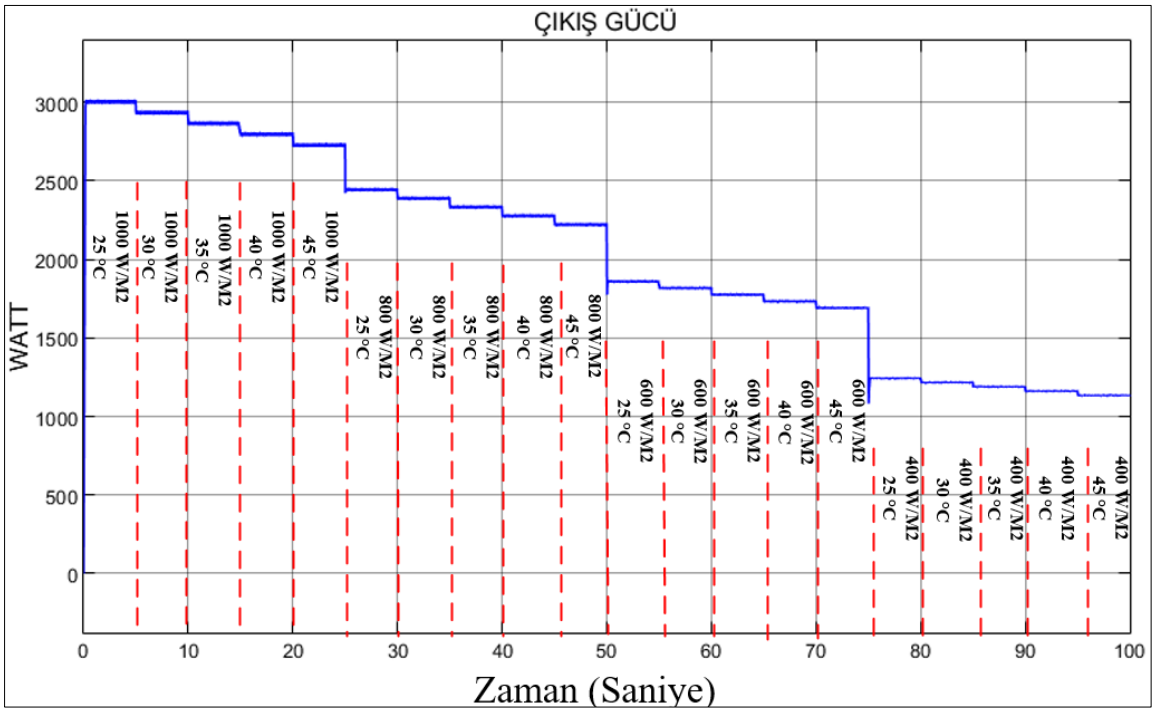


Şekil 6.6. Değiştir ve gözle algoritması kararlı durum görev döngüsü

Değiştir ve gözle algoritması için kararlı durumdaki görev döngüsü değerlerinin 1000 W/m2 ışınım ve 25 °C sıcaklık durumundaki değişimi Şekil 6.6'da verilmiştir. Algoritma hesaplamalarındaki görev döngüsü değişiminin büyüklüğü, çıkıştaki güç dalgalanmalarının oranını etkileyecektir. Değiştir ve gözle algoritması için kararlı durumdaki görev döngüsü değeri 1000 W/m2 ışınım ve 25 °C durumunda 0.736 ile 0.741 değerleri arasında değişmektedir.

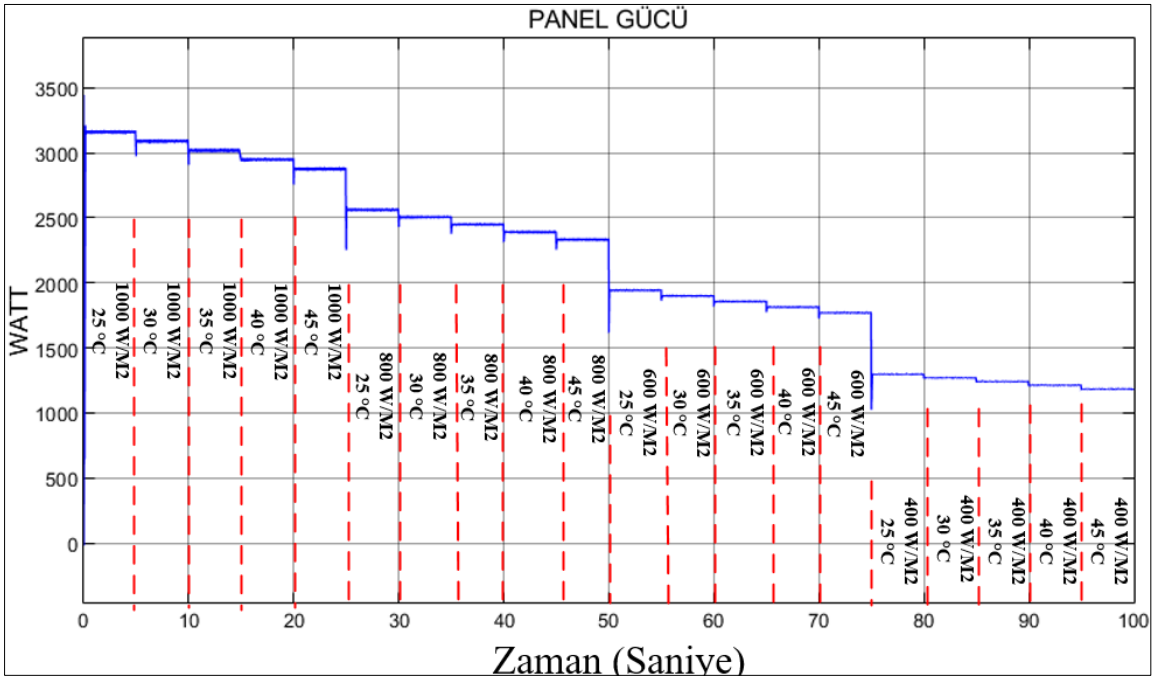
6.3. Artırılmış İletkenlik Simülasyon Çıktıları

Artırılmış iletkenlik algoritması ile elde edilen zamana göre çıkış gücü grafiği, panel gücü grafiği, çıkış gerilimi ve çıkış akımı grafiği, görev döngüsü-zaman grafiği ve kararlı durum görev döngüsü grafikleri sırasıyla Şekil 6.7, Şekil 6.8, Şekil 6.9, Şekil 6.10 ve Şekil 6.11'de görülmektedir.



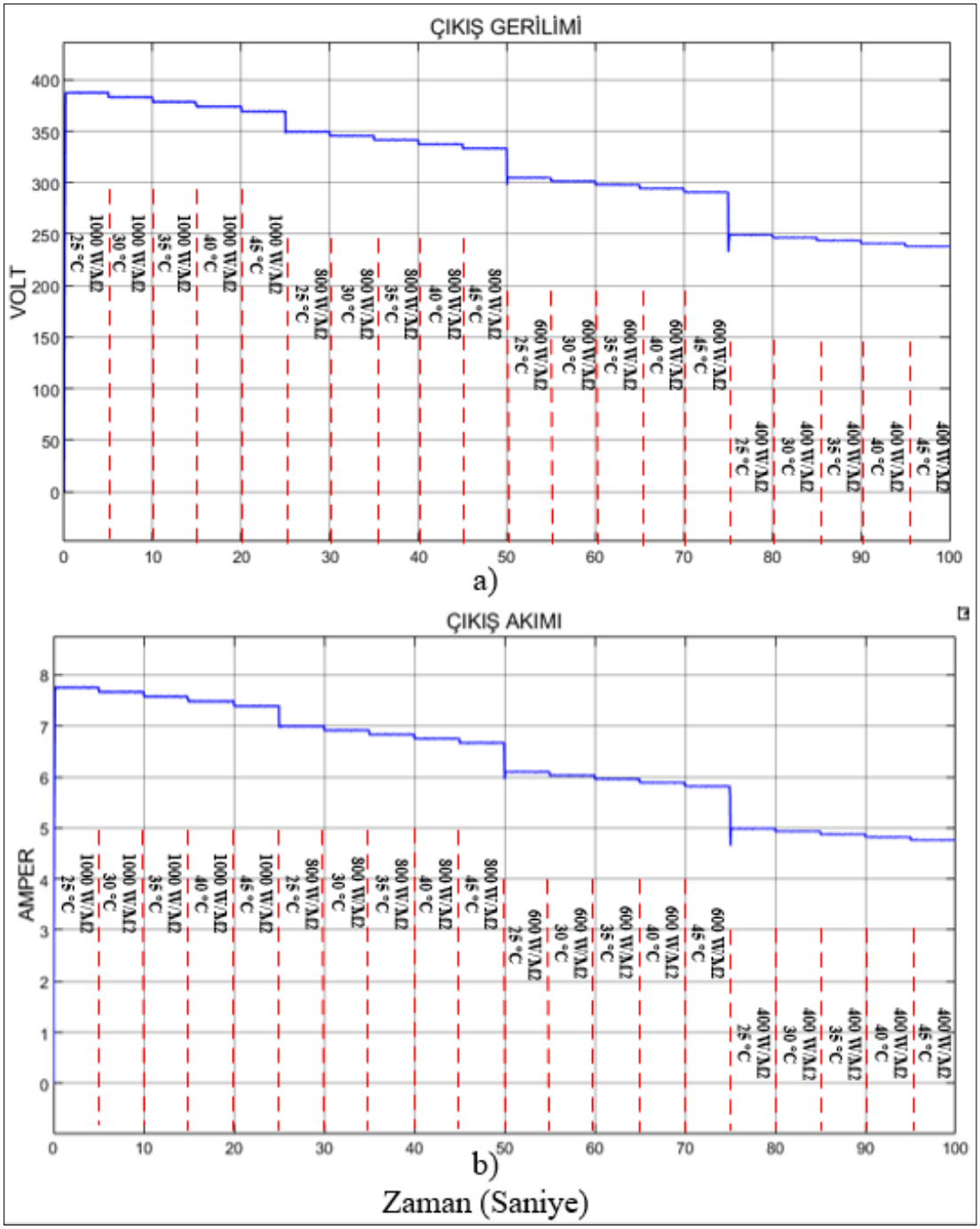
Şekil 6.7. Artırılmış iletkenlik algoritması ile zamana göre çıkış gücü grafiği

Artırılmış iletkenlik algoritması ile elde edilen DC/DC dönüştürücünün, 100 saniyelik ölçüm periyodu boyunca güç çıkış dalga formu Şekil 6.7'de verilmiştir.



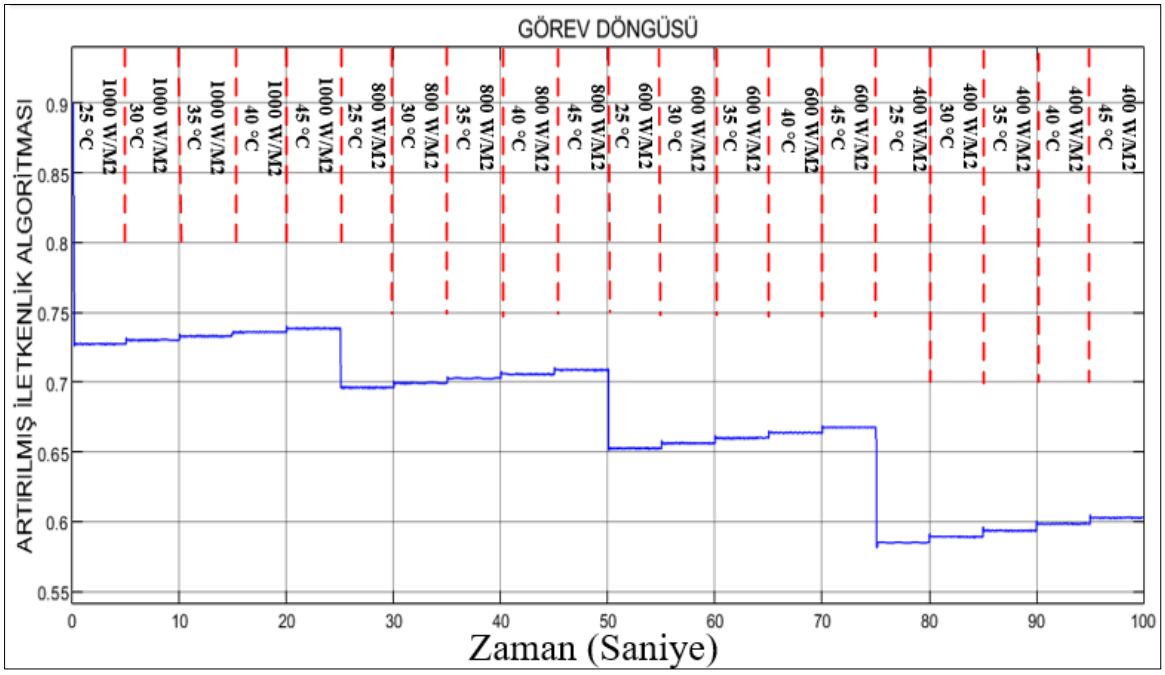
Şekil 6.8. Artırılmış iletkenlik (INC) algoritması ile zamana göre panel gücü grafiği

Artırılmış iletkenlik algoritması ile 100 saniyelik ölçüm periyodu boyunca panelden çekilen gücün dalga formu Şekil 6.8'de verilmiştir. Çevresel koşulların değiştiği durumda, panel gücünde bu değişim esnasında daha yüksek miktarlarda salınımlar meydana gelmektedir. DC/DC yükselten dönüştürücü devresinin çıkışında kapasitör kullanımı ile bu salınımlar, devrenin çıkışında daha düşük miktarlarla sınırlı tutulabilmektedir.



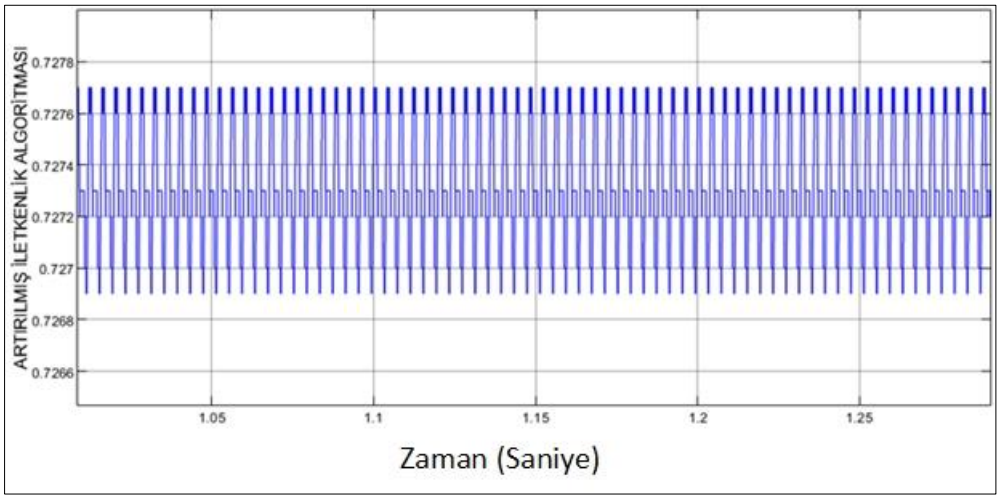
Şekil 6.9. Artırılmış iletkenlik algoritması ile zamana göre a) çıkış gerilimi, b) çıkış akımı grafiği

Artırılmış iletkenlik algoritması ile elde edilen DC/DC dönüştürücünün, 100 saniyelik ölçüm periyodu boyunca 50 Ω rezistif yük ile çıkış gerilimi ve çıkış akımı dalga formu Şekil 6.9'da verilmiştir.



Şekil 6.10. Artırılmış iletkenlik algoritması görev döngüsü-zaman grafiği

Farklı çevresel koşullarda maksimum güç, DC/DC yükselten dönüştürücünün görev döngüsü değerinin ayarlanması ile elde edilebilmektedir. Artırılmış iletkenlik algoritması ile tüm periyot boyunca gözlemlenen görev döngüsü-zaman grafiği Şekil 6.10'da verilmiştir.



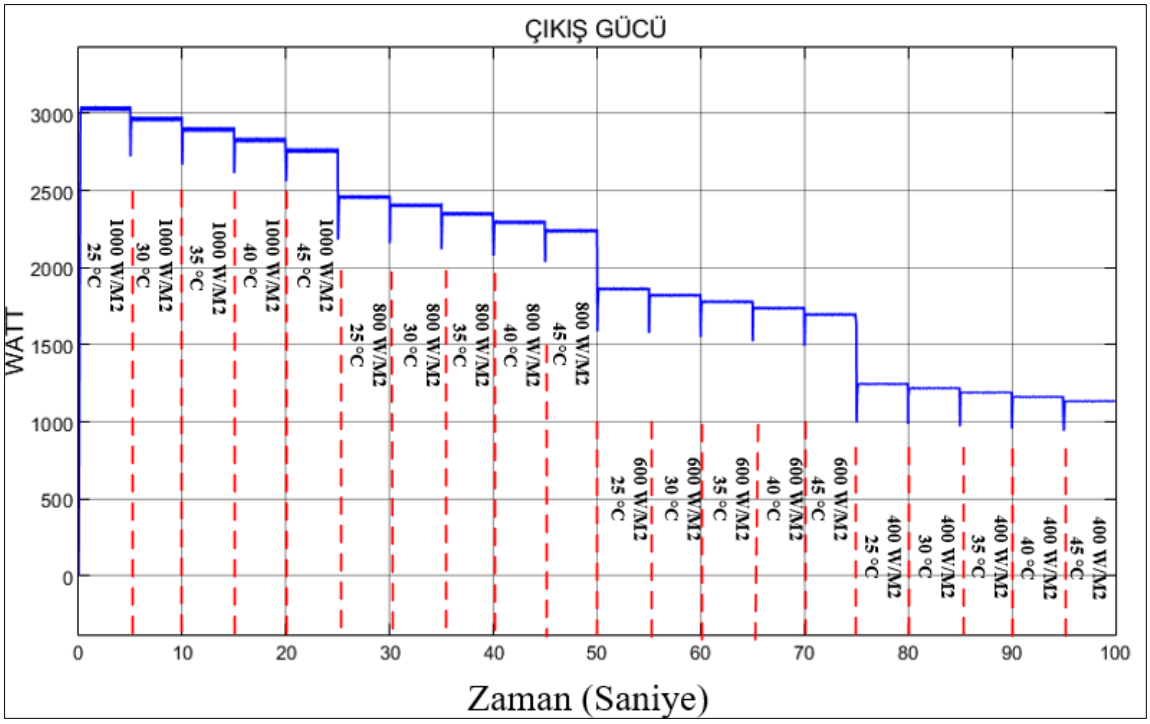
Şekil 6.11. Artırılmış iletkenlik algoritması kararlı durum görev döngüsü

Artırılmış iletkenlik algoritması için kararlı durumdaki görev döngüsü değerlerinin 1000 W/m2 ışınım ve 25 °C sıcaklık durumundaki değişimi Şekil 6.11'de verilmiştir. Algoritma hesaplamalarındaki görev döngüsü değişiminin büyüklüğü, çıkıştaki güç dalgalanmalarının oranını etkilemektedir. Artırılmış iletkenlik algoritması için kararlı durumdaki görev

döngüsü değeri 1000 W/m2 ışınım ve 25 °C durumunda 0.727 ile 0.7278 değerleri arasında değişmektedir.

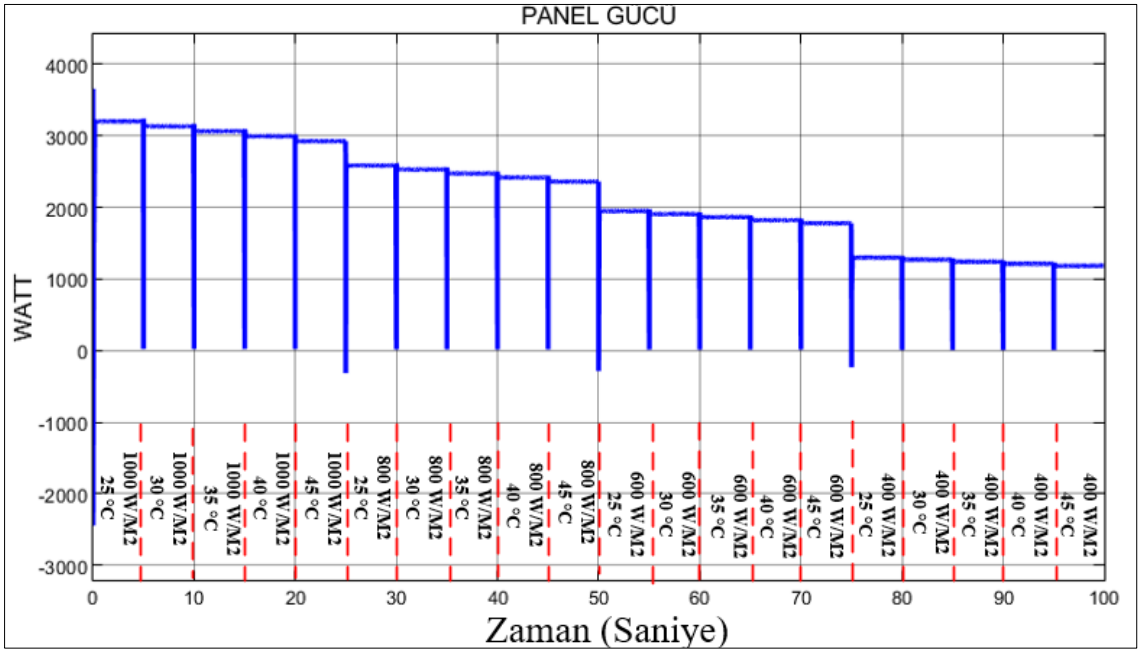
6.4. Kısa Devre Akımı Tekniği Simülasyon Çıktıları

Kısa devre akımı tekniği ile elde edilen zamana göre çıkış gücü grafiği, zamana göre panel gücü grafiği, zamana göre çıkış gerilimi ve çıkış akımı grafiği, kısa devre akımı ölçümleri, görev döngüsü-zaman grafiği ve kararlı durum görev döngüsü grafikleri sırasıyla Şekil 6.12, Şekil 6.13, Şekil 6.14, Şekil 6.15, Şekil 6.16 ve Şekil 6.17'de verilmiştir.



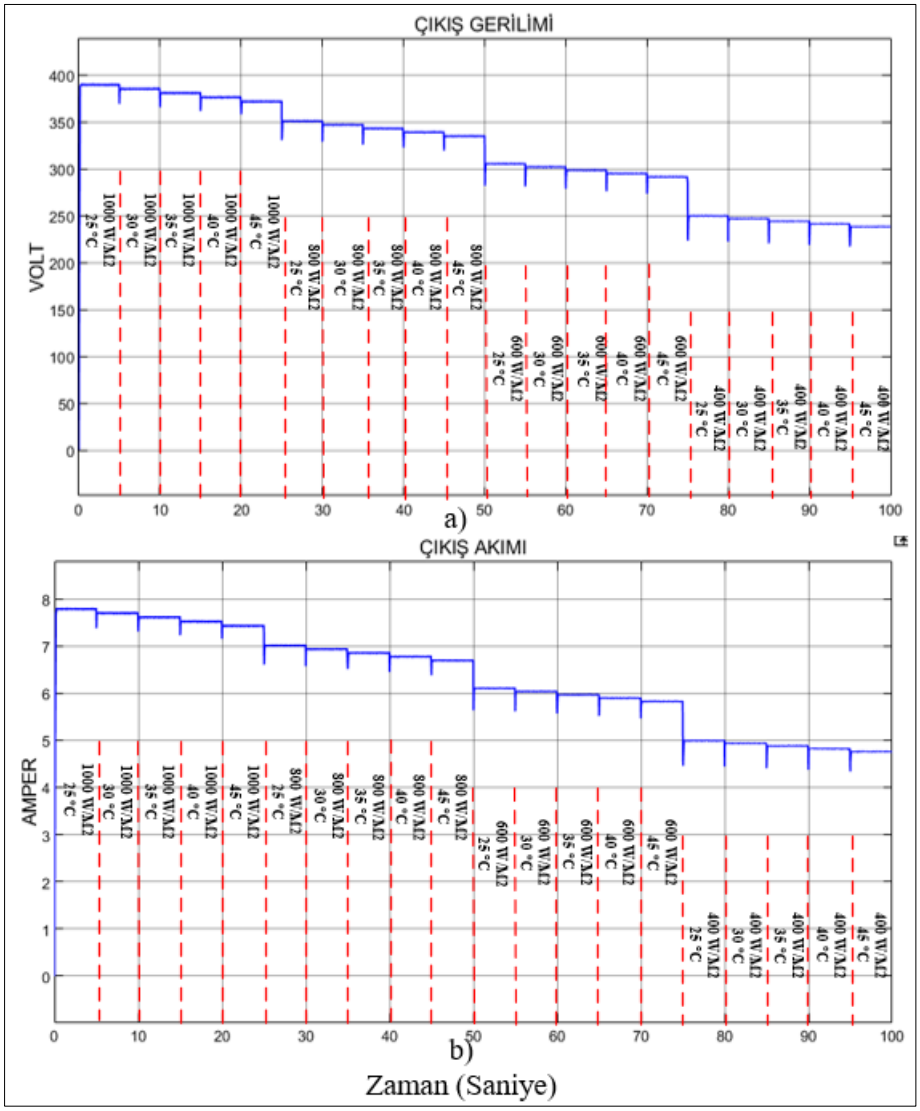
Şekil 6.12. Kısa devre tekniği ile zamana göre çıkış gücü grafiği

Kısa devre tekniği ile elde edilen DC/DC dönüştürücünün, 100 saniyelik ölçüm periyodu boyunca güç çıkış dalga formu Şekil 6.12'de verilmiştir. Değişen çevresel koşullarda çalışmanın kısa süreliğine durdurulup yeniden kısa devre akımı ölçümlerinin alınması sebebiyle, değişim durumlarında önemli güç salınımları gözlenmektedir.



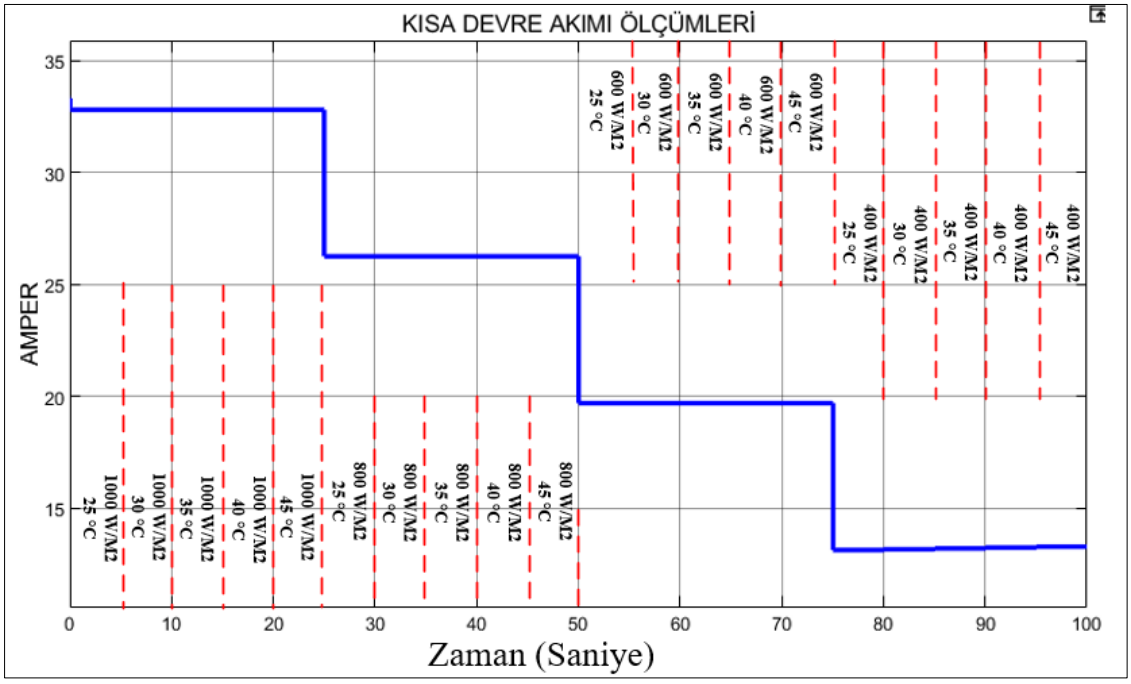
Şekil 6.13. Kısa devre akım tekniği ile zamana göre panel gücü grafiği

Kısa devre akımı tekniğinde, değişim tespit edildiği durumda kısa devre akımı ölçümleri alınarak hesaplama yapılmaktadır. Ölçüm yapabilmek için dönüştürücünün çalışması anlık olarak kesilip, panelin mevcut sıcaklık ve ışınım değerindeki kısa devre değerleri ölçülür. Çalışmanın kesilip ölçümün alındığı esnada panelin gücü anlık olarak 0 değerine düşmektedir. Bu anlık yüksek miktardaki değişim sistemin güç kalitesini, güvenliğini, kararlılığını olumsuz yönde etkileyebilmektedir [35]. Ayrıca sisteme bağlı elektrik cihazların arızalanmasına sebebiyet verebilmektedir [36].



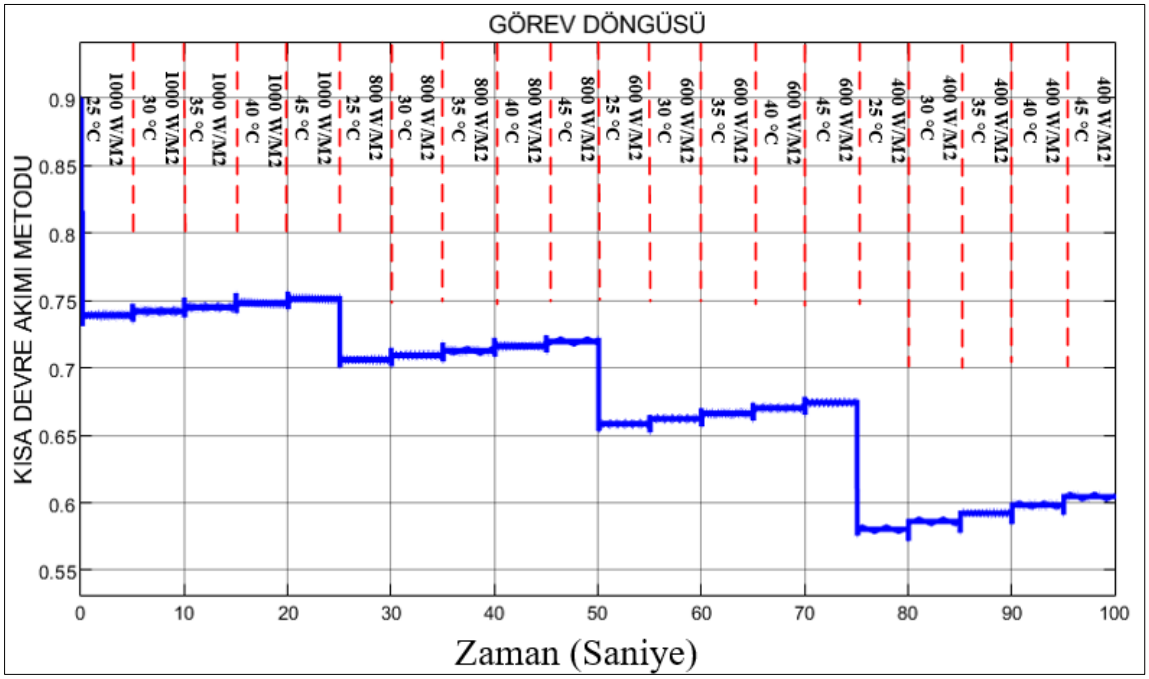
Şekil 6.14. Kısa devre akımı tekniği ile zamana göre a) çıkış gerilimi, b) çıkış akımı grafiği

Kısa devre akımı tekniği ile elde edilen DC/DC dönüştürücünün, 100 saniyelik ölçüm periyodu boyunca 50 Ω rezistif yük ile çıkış gerilimi ve çıkış akımı dalga formu Şekil 6.14'de verilmiştir.



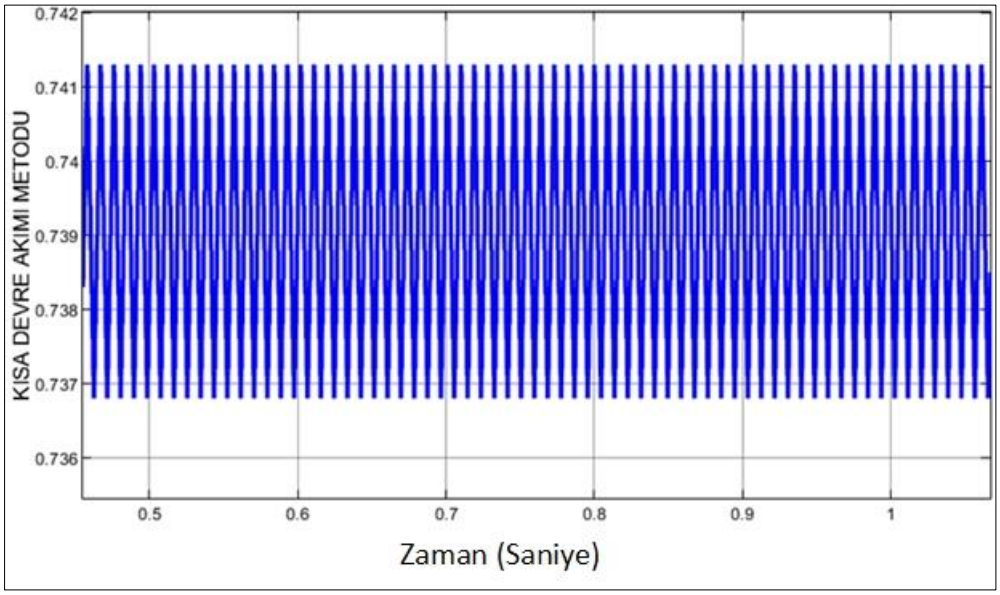
Şekil 6.15. Kısa devre akımı ölçümleri

Kısa devre akımı ölçümleri Şekil 6.15'te verilmiştir. Şekil 6.15'ten görüldüğü üzere kısa devre akımı sıcaklığa bağlı olarak değişim göstermemekte olup, ışınım değişimi ile değişmektedir. Bu durum PV panelin akım–gerilim eğrisi karakteristiğinden kaynaklanmaktadır. 1000 W/m2 ışınım altında, 25 °C, 30 °C, 35 °C, 40 °C ve 45° C sıcaklıkları için kısa devre akımı 32.81 Amper olarak ölçülmüştür. 800 W/m2 ışınım altında, 25 °C, 30 °C, 35 °C, 40 °C ve 45 °C sıcaklıkları için kısa devre akımı 26.27 Amper olarak ölçülmüştür. 600 W/m2 ışınım altında, 25 °C, 30 °C, 35 °C, 40 °C ve 45 °C sıcaklıkları için kısa devre akımı 19.71 Amper olarak ölçülmüştür. 400 W/m2 ışınım altında, 25 °C, 30 °C, 35 °C, 40 °C ve 45 °C sıcaklıkları için kısa devre akımı 13.15 Amper olarak ölçülmüştür.



Şekil 6.16. Kısa devre akımı algoritması görev döngüsü-zaman grafiği

Farklı çevresel koşullarda maksimum güç, DC/DC yükselten dönüştürücünün görev döngüsü değerinin ayarlanması ile elde edilebilmektedir. Kısa devre akımı algoritması ile tüm periyot boyunca gözlemlenen görev döngüsü-zaman grafiği Şekil 6.16'da verilmiştir.



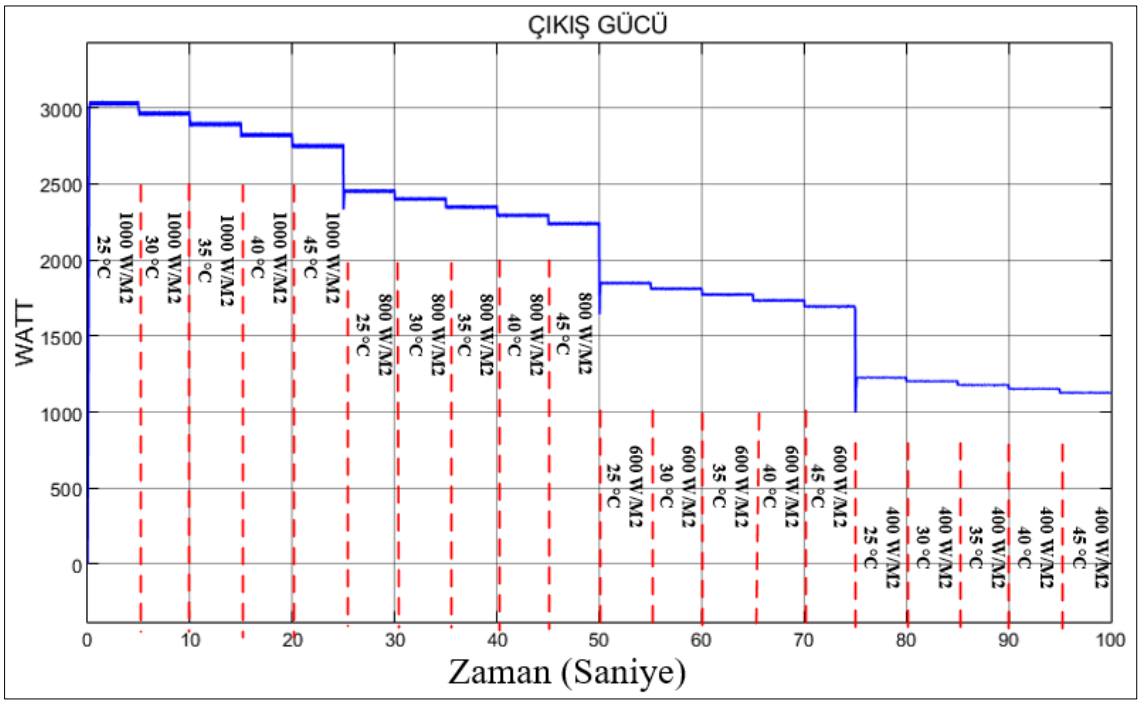
Şekil 6.17. Kısa devre tekniği kararlı durum görev döngüsü

Kısa devre akımı tekniğinde kararlı durumdaki görev döngüsü değerlerinin 1000 W/m2 ışınım ve 25 °C sıcaklık durumundaki değişimi Şekil 6.17'de verilmiştir. Algoritma

hesaplamalarındaki görev döngüsü değişiminin büyüklüğü, çıkıştaki güç dalgalanmalarının oranını etkileyecektir. Kısa devre akımı tekniği için kararlı durumdaki görev döngüsü değeri 1000 W/m2 ışınım ve 25 °C durumunda 0.737 ile 0.741 değerleri arasında değişmektedir.

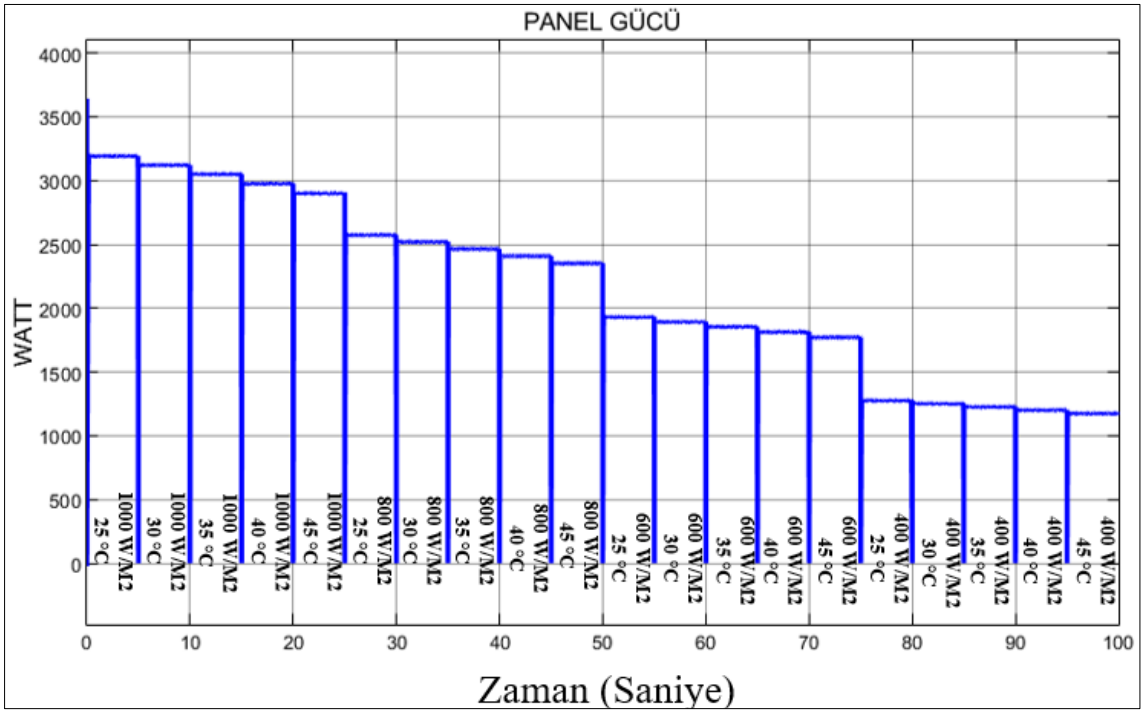
6.5. Açık Devre Gerilimi Tekniği Simülasyon Çıktıları

Açık devre gerilim tekniği ile elde edilen zamana göre çıkış gücü grafiği, zamana göre panel gücü grafiği, zamana göre çıkış gerilimi ve çıkış akımı grafiği, açık devre gerilimi ölçümleri, görev döngüsü–zaman grafiği ve kararlı durum görev döngüsü grafikleri sırasıyla Şekil 6.18, Şekil 6.19, Şekil 6.20, Şekil 6.21, Şekil 6.22 ve Şekil 6.23'te verilmiştir.



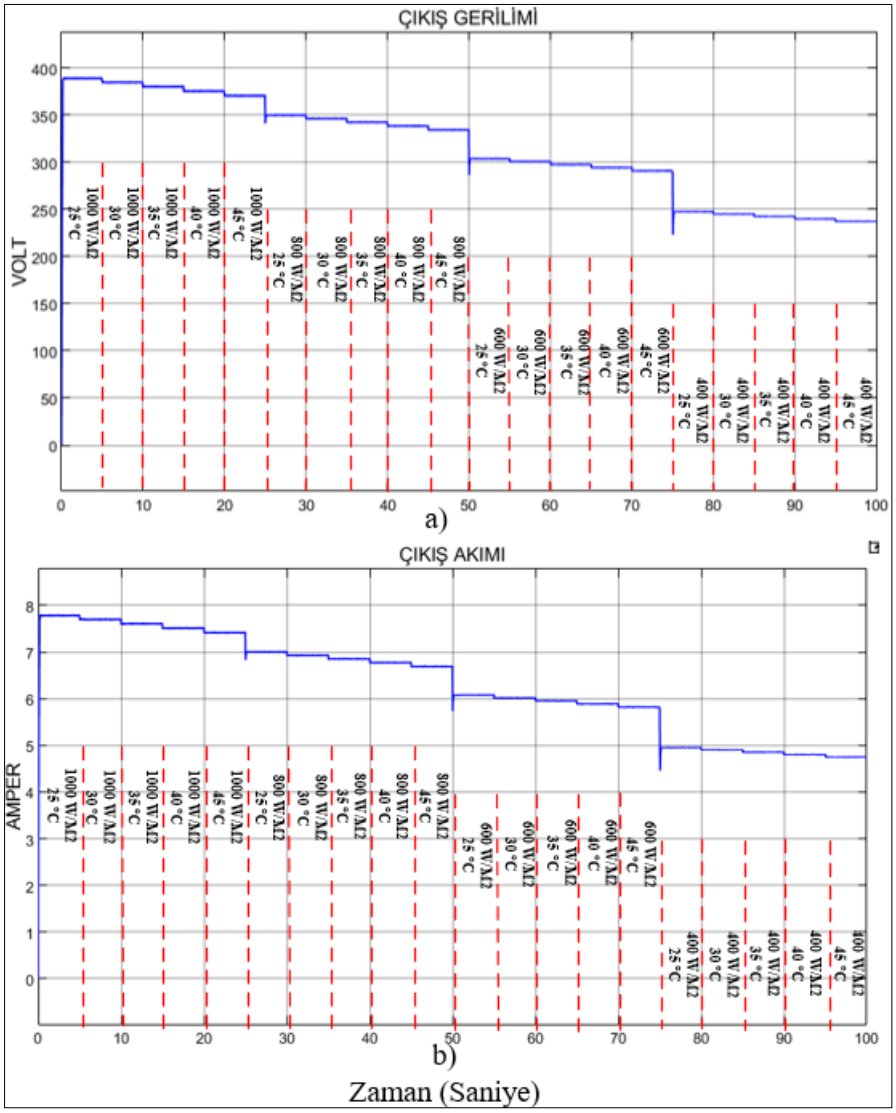
Şekil 6.18. Açık devre gerilimi tekniği ile zamana göre çıkış gücü grafiği

Açık devre tekniği ile elde edilen DC/DC dönüştürücünün, 100 saniyelik ölçüm periyodu boyunca güç çıkış dalga formu Şekil 6.18'de verilmiştir.



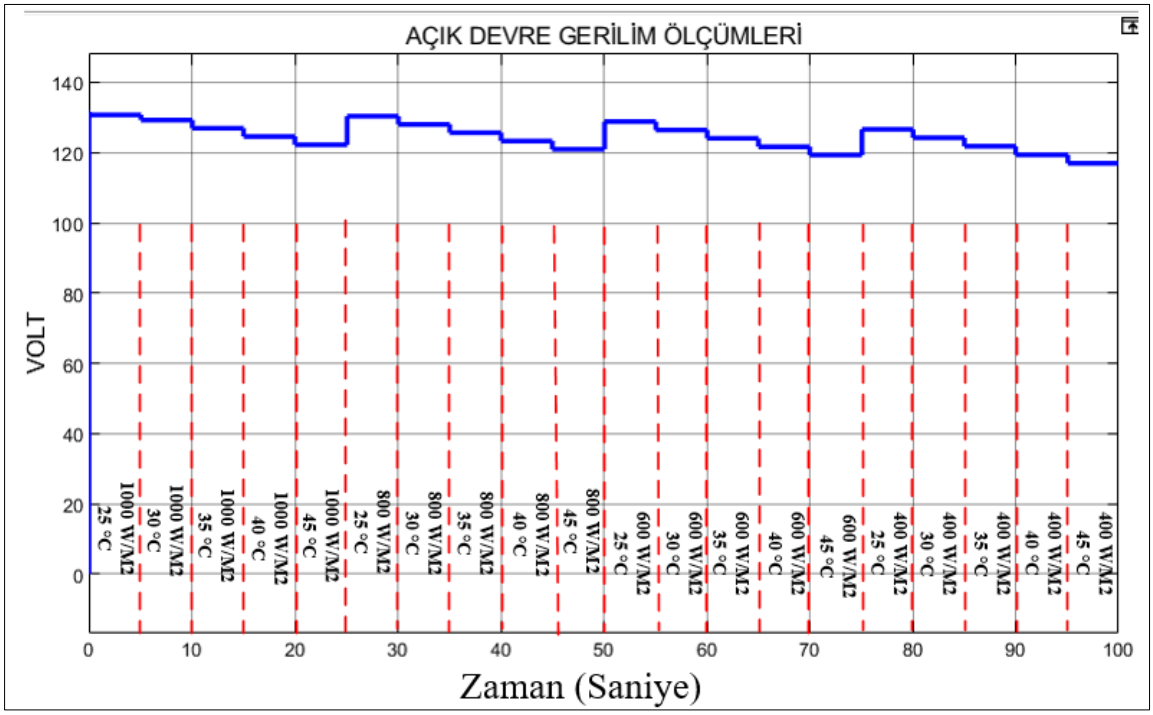
Şekil 6.19. Açık devre gerilimi tekniği ile zamana göre panel gücü grafiği

Açık devre gerilimi tekniğinde, değişim tespit edildiği durumda açık devre gerilimi ölçümleri alınarak hesaplama yapılmaktadır. Ölçüm yapabilmek için dönüştürücünün çalışması anlık olarak kesilip, panelin mevcut sıcaklık ve ışınım değerindeki açık devre gerilim değerleri ölçülür. Çalışmanın kesilip ölçümün alındığı esnada panelin gücü anlık olarak 0 değerine düşmektedir. Bu anlık yüksek miktardaki değişim sistemin güç kalitesini, güvenliğini, kararlılığını olumsuz yönde etkileyebilmektedir [35]. Ayrıca sisteme bağlı elektrik cihazların arızalanmasına sebebiyet verebilmektedir [36].



Şekil 6.20. Açık devre gerilim tekniği ile zamana göre a) çıkış gerilimi, b) çıkış akımı grafiği

Açık devre gerilim tekniği ile elde edilen DC/DC dönüştürücünün, 100 saniyelik ölçüm periyodu boyunca 50 Ω rezistif yük ile çıkış gerilimi ve çıkış akımı dalga formu Şekil 6.20'de verilmiştir.

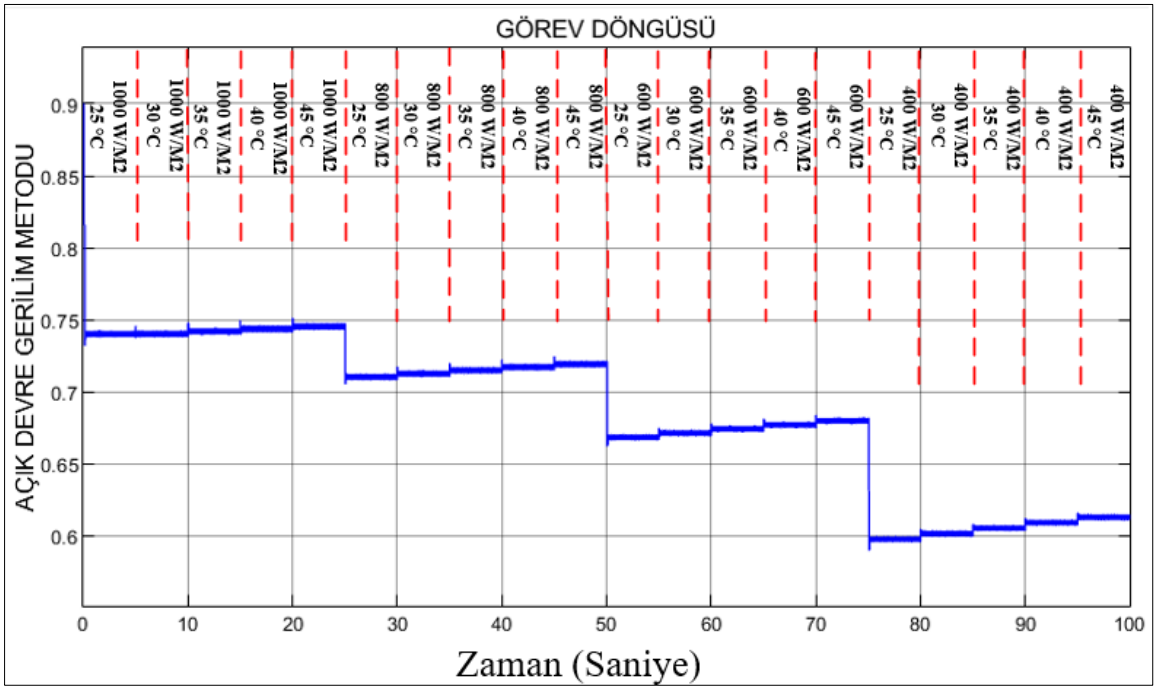


Şekil 6.21. Açık devre gerilimi ölçümleri

Açık devre gerilimi ölçümleri Şekil 6.21'de verilmiştir. Açık devre gerilimi ölçümleri, kısa devre akımı tekniğinden farklı olarak hem ışınım hem sıcaklık değişimi ile değişmektedir. Bu durum PV panelin akım-gerilim eğrisi karakteristiğinden kaynaklanmaktadır. Farklı ışınım ve sıcaklıklar altında elde edilen açık devre gerilimleri Çizelge 6.1'de verilmiştir.

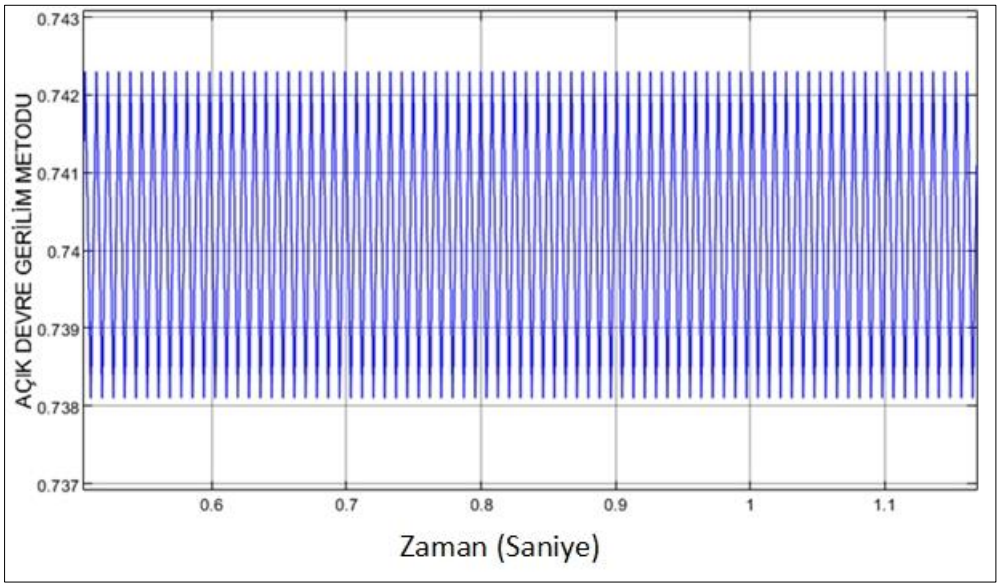
Çizelge 6.1. Farklı ışınım ve sıcaklıklar altında PV dizinin açık devre gerilim ölçümleri

Açık devre gerilim ölçümleri					
Işınım (W /m2)	Sıcaklık (C°)	Gerilim (V)	Işınım (W /m2)	Sıcaklık (C°)	Gerilim (V)
1000	25° C	130,7	600	25° C	128,8
1000	30 °C	129,2	600	30 °C	126,4
1000	35 °C	126,9	600	35 °C	124,1
1000	40 °C	124,6	600	40 °C	121,7
1000	45° C	122,2	600	45° C	119,3
800	25° C	130,4	400	25° C	126,6
800	30 °C	128	400	30 °C	124,2
800	35 °C	125,7	400	35 °C	121,8
800	40 °C	123,3	400	40 °C	119,4
800	45° C	120,9	400	45° C	116,9



Şekil 6.22. Açık devre gerilim tekniği görev döngüsü-zaman grafiği

Farklı çevresel koşullarda maksimum güç, DC/DC yükselten dönüştürücünün görev döngüsü değerinin ayarlanması ile elde edilebilmektedir. Açık devre gerilim tekniği ile tüm periyot boyunca gözlemlenen görev döngüsü-zaman grafiği Şekil 6.22'de verilmiştir.



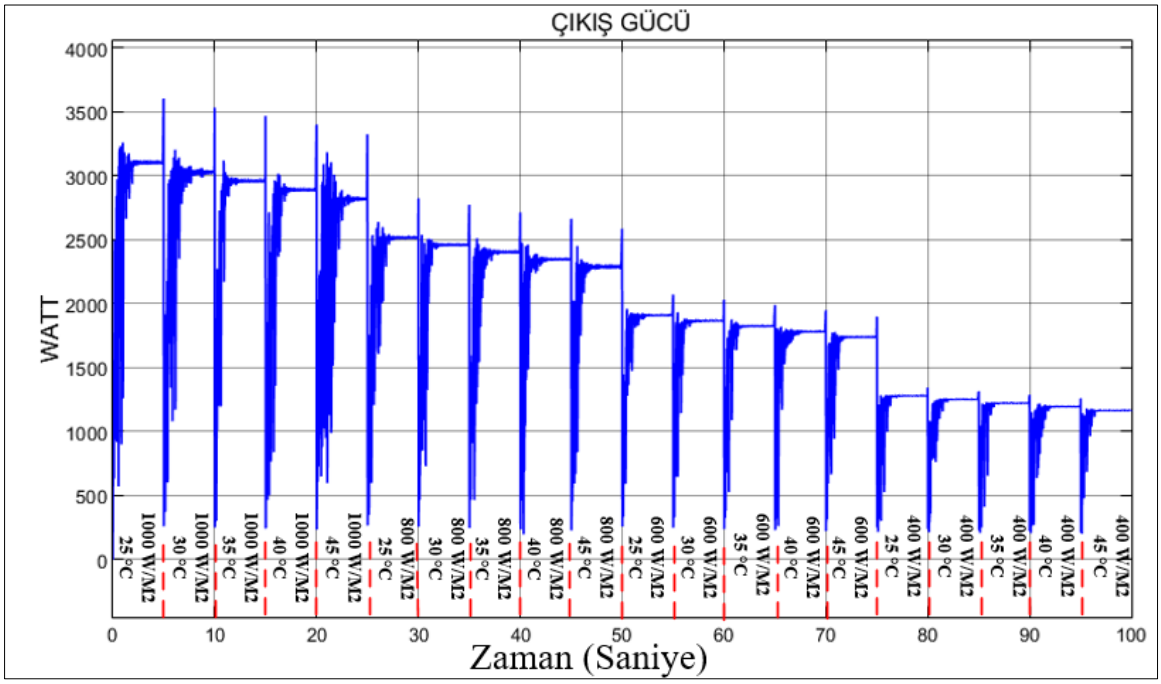
Şekil 6.23. Açık devre gerilim tekniği kararlı durum görev döngüsü

Açık devre gerilim tekniğinde kararlı durumdaki görev döngüsü değerlerinin 1000 W/m2 ışınım ve 25 °C sıcaklık durumundaki değişimi Şekil 6.23'te verilmiştir. Algoritma

hesaplamalarındaki görev döngüsü değişiminin büyüklüğü, çıkıştaki güç dalgalanmalarının oranını etkileyecektir. Açık devre gerilim tekniği için kararlı durumdaki görev döngüsü değeri 1000 W/m2 ışınım ve 25 °C durumunda 0.737 ile 0.741 değerleri arasında değişmektedir.

6.6. Parçacık Sürü Optimizasyonu Tekniği Simülasyon Çıktıları

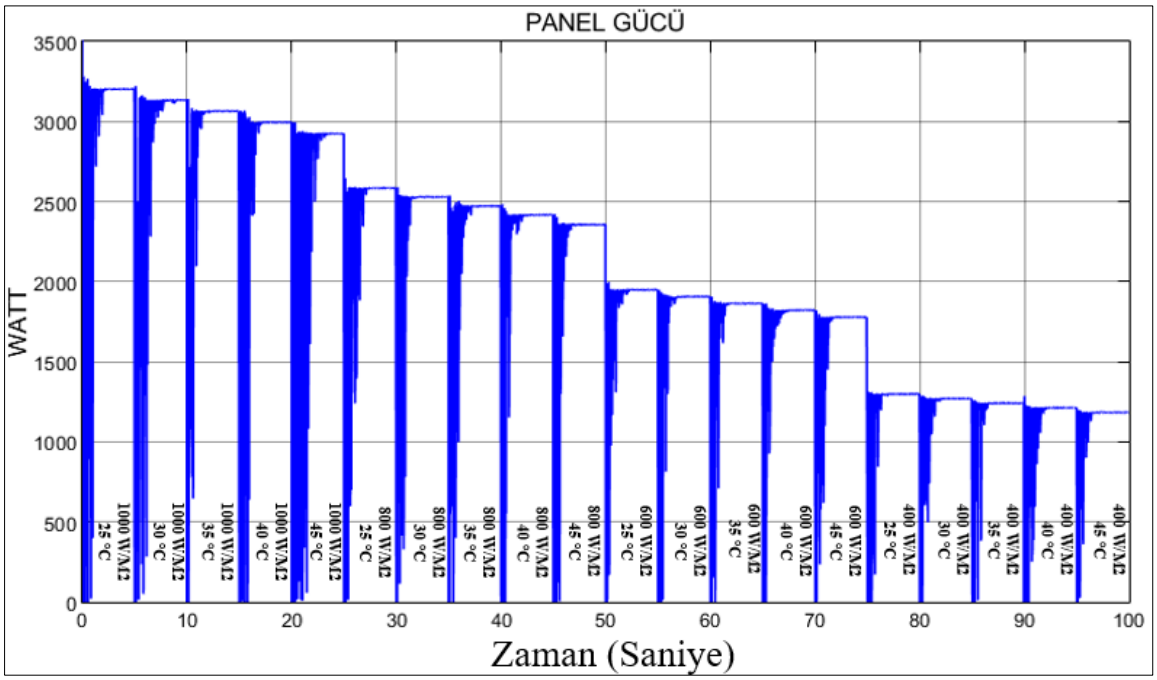
Parçacık sürü optimizasyonu algoritması ile elde edilen zamana göre çıkış gücü grafiği, zamana göre panel gücü grafiği, zamana göre çıkış gerilimi ve çıkış akımı grafiği, görev döngüsü-zaman grafiği ve kararlı durum görev döngüsü grafikleri sırasıyla Şekil 6.24, Şekil 6.25, Şekil 6.26, Şekil 6.27 ve Şekil 6.28'de verilmiştir.



Şekil 6.24. Parçacık sürü optimizasyonu algoritması ile zamana göre çıkış gücü grafiği

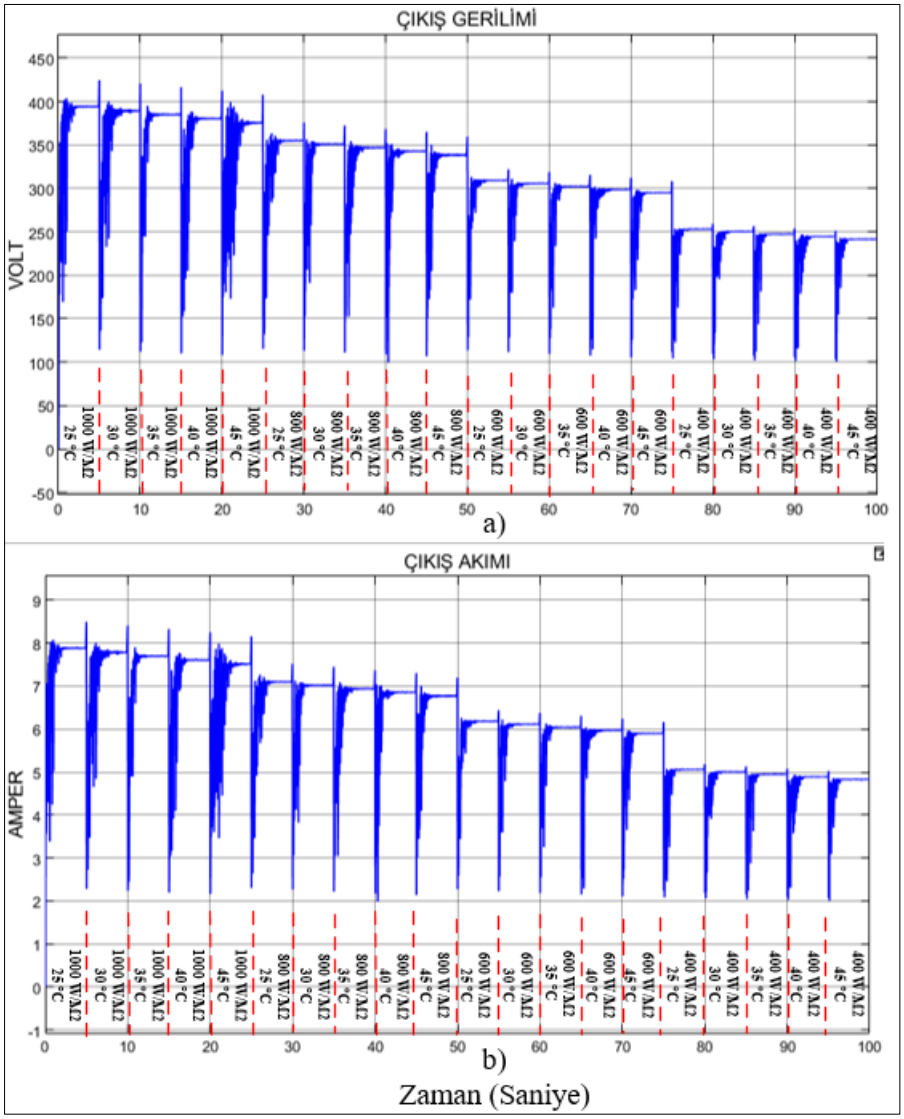
Parçacık sürü optimizasyonu algoritmasında rastgele atanan görev döngüsü değerleri dönüştürücüye gönderilir, panel gerilim ve akımı ölçülerek bir önceki değerlerle kıyaslanır. Maksimum güç noktasındaki görev döngüsü değeri bulunana kadar, rastgele görev döngüsü atama ve birbirleriyle kıyaslama işlemleri devam ettirilir. Maksimum güç noktasının bulunduğu adımda, bu adımdaki görev döngüsü değeri en iyi değer olarak saklanır ve algoritma sonlandırılır. En iyi görev döngüsü değeri bulunana kadar devam eden bu işlemler,

DC/DC yükselten dönüştürücü çıkış terminallerinde ve PV panelde yüksek güç salınımlarına ve kararlı duruma gelme süresinin uzamasına neden olmaktadır.



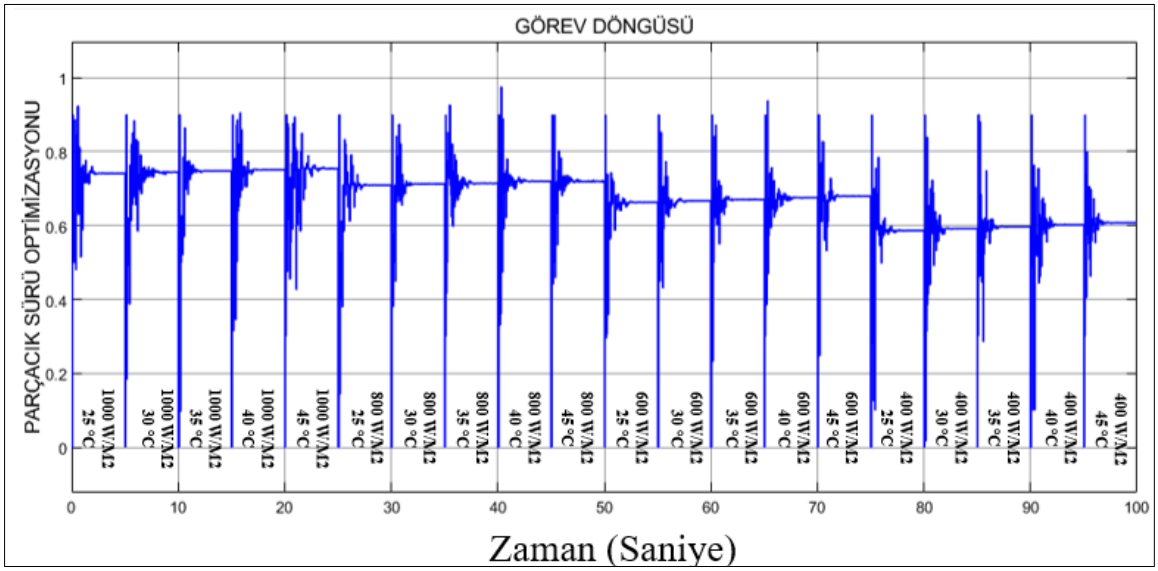
Şekil 6.25. Parçacık sürü optimizasyonu algoritması ile zamana göre panel gücü grafiği

Parçacık sürü optimizasyonu ile 100 saniye periyot boyunca panelden çekilen gücün grafiği Şekil 6.25'te verilmiştir. Görev döngülerinin rastgele atanması sebebiyle kararlı duruma geçilinceye kadar, panelden çekilen güçte klasik algoritmalara kıyasla yüksek miktarda ve daha uzun süreli salınımlar meydana gelmektedir.



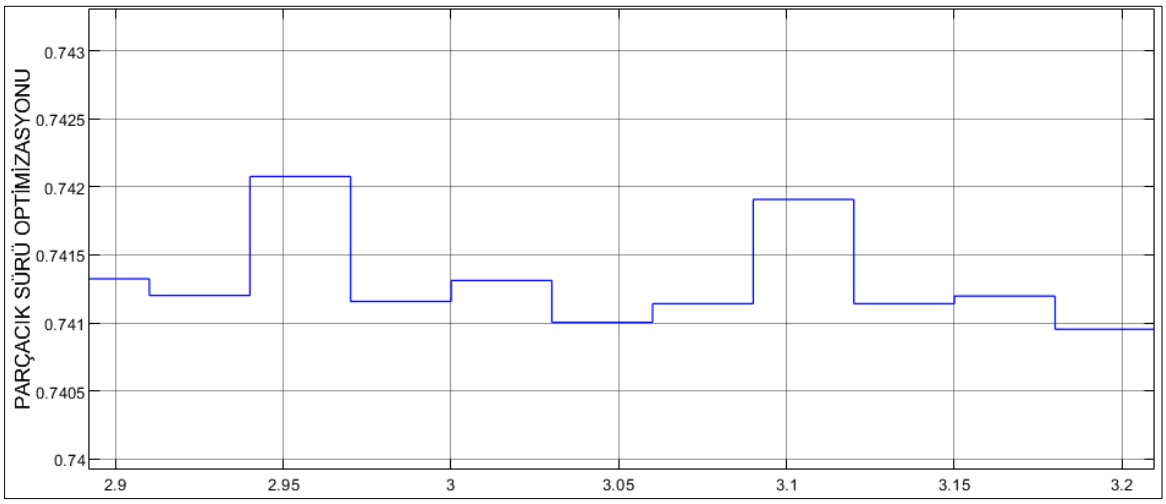
Şekil 6.26. Parçacık sürü optimizasyonu algoritması ile zamana göre a) çıkış gerilimi, b) çıkış akımı grafiği

Parçacık sürü optimizasyonu algoritması ile elde edilen DC/DC dönüştürücünün, 100 saniyelik ölçüm periyodu boyunca 50 Ω rezistif yük ile çıkış gerilimi ve çıkış akımı dalga formu Şekil 6.26'da verilmiştir.



Şekil 6.27. Parçacık sürü optimizasyonu algoritması görev döngüsü-zaman grafiği

Farklı çevresel koşullarda maksimum güç, DC/DC yükselten dönüştürücünün görev döngüsü değerinin ayarlanması ile elde edilebilmektedir. Parçacık sürü optimizasyonu algoritması ile tüm periyot boyunca gözlemlenen görev döngüsü-zaman grafiği Şekil 6.27'de verilmiştir.

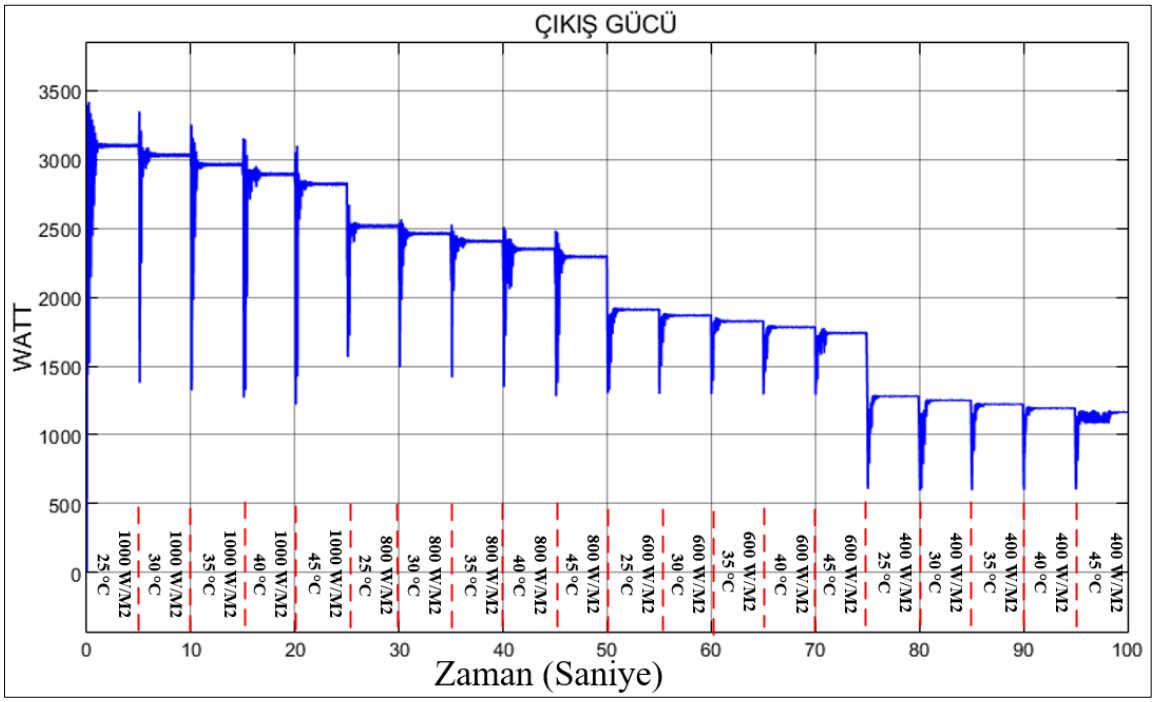


Şekil 6.28. Parçacık sürü optimizasyonu algoritması kararlı durum görev döngüsü

Parçacık sürü optimizasyonu kararlı durum görev döngüsü Şekil 6.28'de gösterilmektedir. Kararlı duruma geçildiği anda 0.74 ile 0.742 değerleri arasında görev döngüsü değişimi görülmektedir.

6.7. Modifiye Parçacık Sürü Optimizasyonu Tekniği Simülasyon Çıktıları

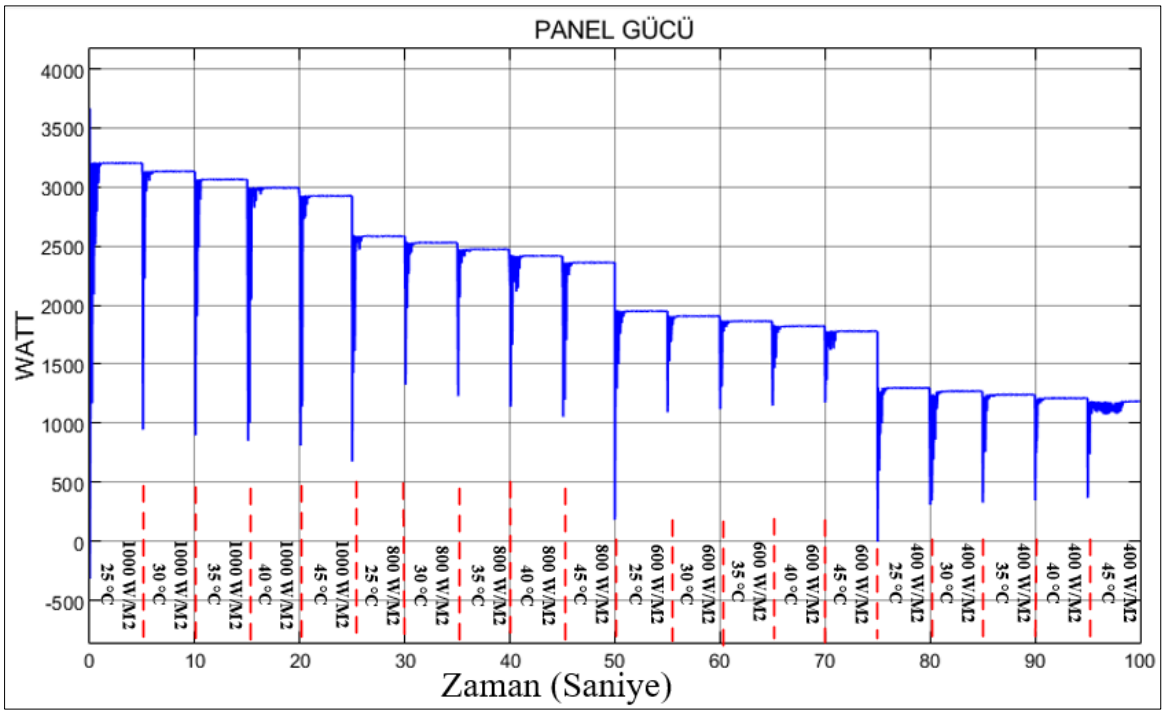
Modifiye parçacık sürü optimizasyonu tekniğinde Eşitlik 4.13, Eşitlik 4.14, Eşitlik 4.15, Eşitlik 4.16 ve Çizelge 5.2'de yer alan görev döngüsü ve Rpv hesaplamalarından $R_{LMİN}$ ile R_{LMAX} değerleri kullanılarak elde edilen görev döngüsü değerleri d1=0,754, d2=0,738 ve d3=0,585 olarak hesaplanmıştır. $R_{LMİN}$ ile R_{LMAX} değerleri, benzetimin sabit yük altında yapılması sebebiyle 50 Ω olarak alınmıştır. Parçacık sürü optimizasyonunda 4 parçacık kullanılması sebebiyle, aynı parçacık sayısı ve işlem adımı kıyaslaması açısından daha uygun olması sebebiyle 4. Parçacığın başlangıç görev döngüsü ataması hesaplanan bu üç değerin ortalaması olan d4= 0.691 görev döngüsü değeri olarak atanmıştır. C1 ve C2 öğrenme katsayıları takip tepki sürelerini hızlandırmak için sırasıyla 0.65 ve 0.75 olarak kullanılmıştır. Modifiye parçacık sürü optimizasyonu algoritması ile elde edilen zamana göre çıkış gücü grafiği, zamana göre panel gücü grafiği, zamana göre çıkış gerilimi ve çıkış akımı grafiği, görev döngüsü-zaman grafiği ve kararlı durum görev döngüsü grafikleri sırasıyla Şekil 6.29, Şekil 6.30, Şekil 6.31, Şekil 6.32 ve Şekil 6.33'te verilmiştir.



Şekil 6.29. Modifiye parçacık sürü optimizasyonu (MPSO) algoritması ile zamana göre panel gücü grafiği

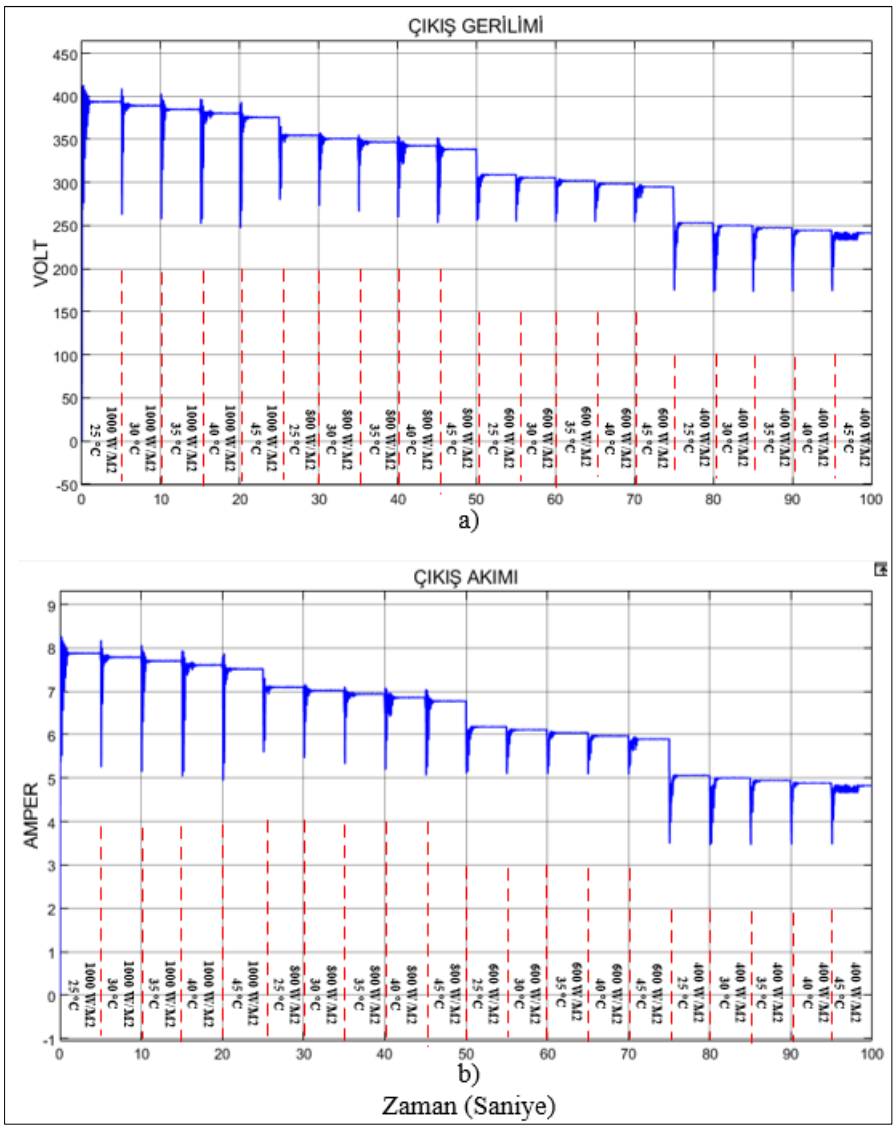
Modifiye parçacık sürü optimizasyonu algoritması ile elde edilen DC/DC yükselten dönüştürücünün, 100 saniyelik ölçüm periyodu boyunca güç çıkış dalga formu Şekil 6.29'da

verilmiştir. Parçacık sürü optimizasyonundan farklı olarak görev döngüsü değerlerinin sınırlandırılması sebebiyle, sistemin kararlı duruma gelme süresinde iyileşme sağlanmıştır.



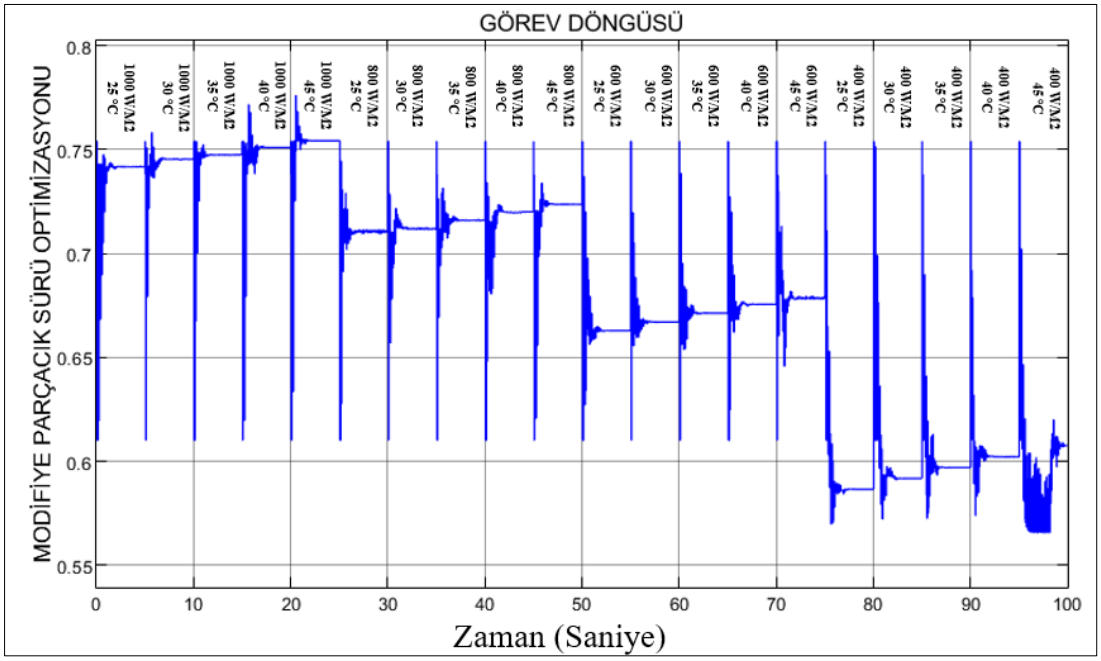
Şekil 6.30. Modifiye parçacık sürü optimizasyonu (MPSO) algoritması ile zamana göre panel gücü grafiği

Modifiye parçacık sürü optimizasyonu ile 100 saniye periyot boyunca panelden çekilen gücün grafiği Şekil 6.30'da verilmiştir. Görev döngülerinin rastgele atanması sebebiyle kararlı duruma geçilinceye kadar, panelden çekilen güçte klasik algoritmalara kıyasla yüksek miktarda ve daha uzun süreli salınımlar meydana gelmektedir.



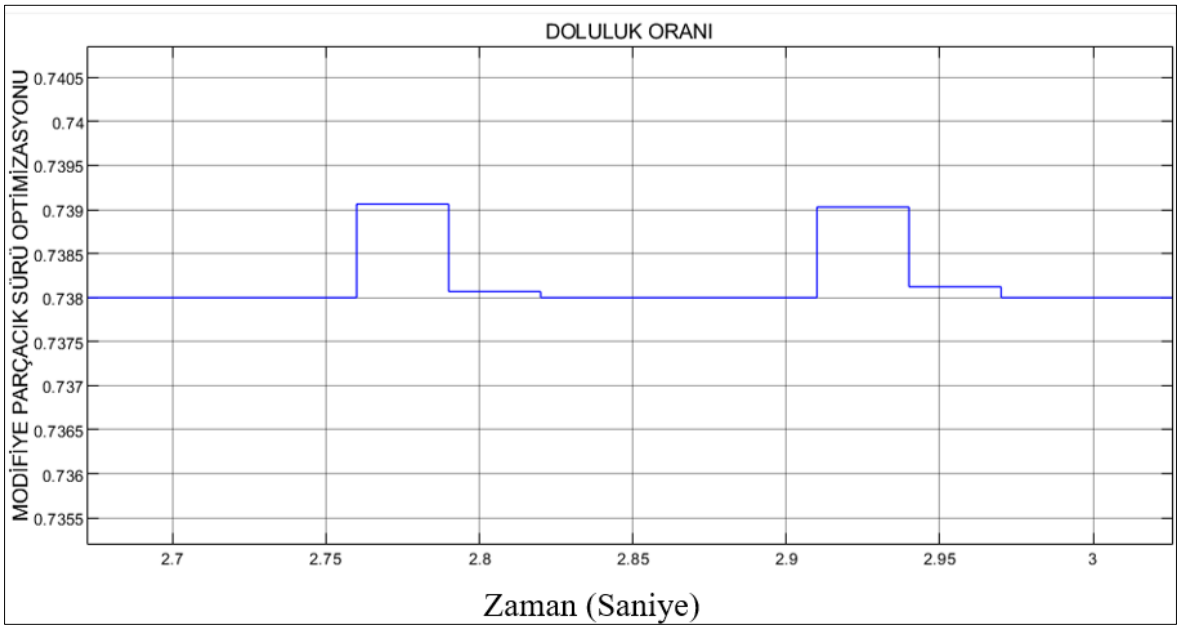
Şekil 6.31. Modifiye parçacık sürü optimizasyonu (MPSO) algoritması ile zamana göre a) çıkış gerilimi, b) çıkış akımı grafiği

Modifiye parçacık sürü optimizasyonu algoritması ile elde edilen DC/DC yükselten dönüştürücünün, 100 saniyelik ölçüm periyodu boyunca 50 Ω rezistif yük ile çıkış gerilimi ve çıkış akımı dalga formu Şekil 6.31'de verilmiştir.



Şekil 6.32. Modifiye parçacık sürü optimizasyonu (MPSO) algoritması görev döngüsü-zaman grafiği

Farklı çevresel koşullarda maksimum güç, DC/DC yükselten dönüştürücünün görev döngüsü değerinin ayarlanması ile elde edilebilmektedir. Modifiye parçacık sürü optimizasyonu algoritması ile tüm periyot boyunca gözlemlenen görev döngüsü-zaman grafiği Şekil 6.32'de verilmiştir.

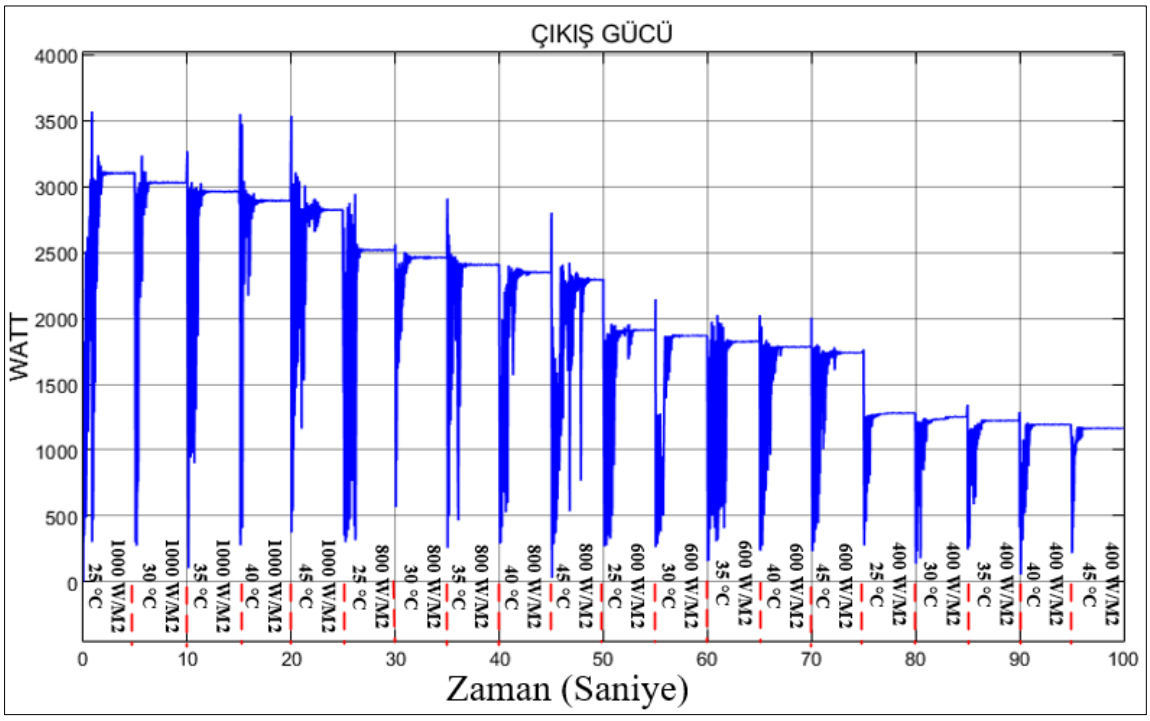


Şekil 6.33. Modifiye parçacık sürü optimizasyonu algoritması kararlı durum görev döngüsü

Modifiye parçacık sürü optimizasyonu algoritması için kararlı durum görev döngüsü Şekil 6.33'te verilmiştir. Modifiye parçacık sürü optimizasyonu algoritması için görev döngüsü değişimi 0.738 ile 0.739 arasındadır.

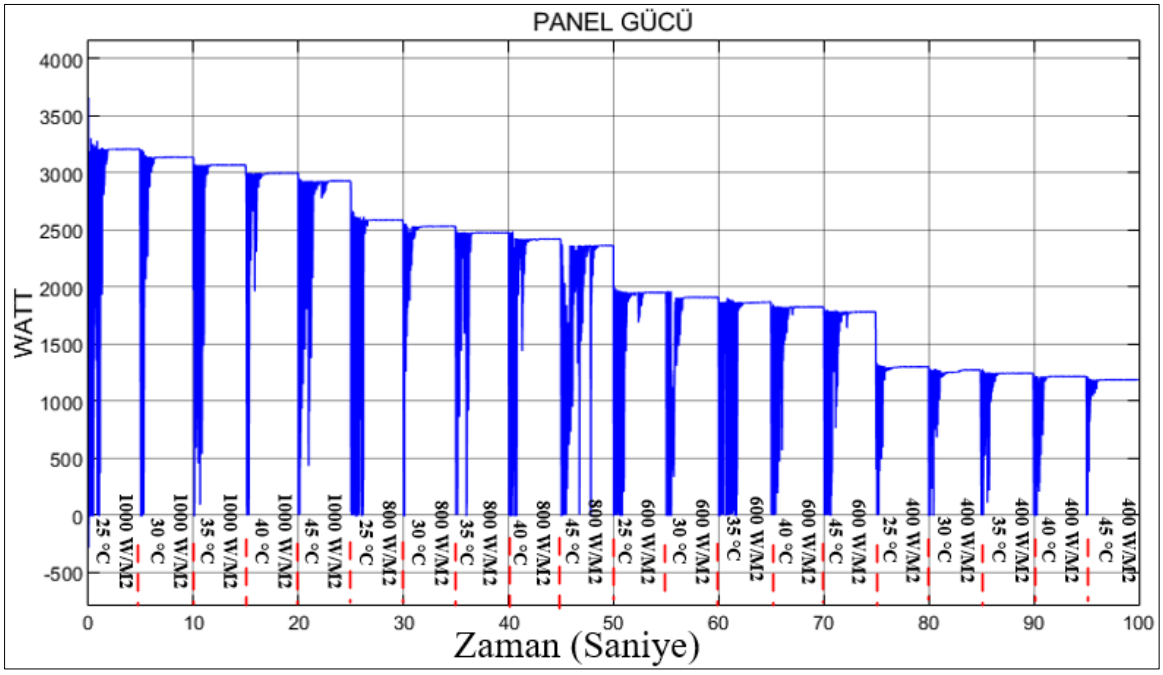
6.8. Guguk Kuşu Arama Algoritması Tekniği Simülasyon Çıktıları

Guguk kuşu arama algoritması ile elde edilen zamana göre çıkış gücü grafiği, zamana göre panel gücü grafiği, zamana göre çıkış gerilimi ve çıkış akımı grafiği, görev döngüsü-zaman grafiği ve kararlı durum görev döngüsü grafikleri sırasıyla Şekil 6.34, Şekil 6.35, Şekil 6.36, Şekil 6.37 ve Şekil 6.38'da verilmiştir.



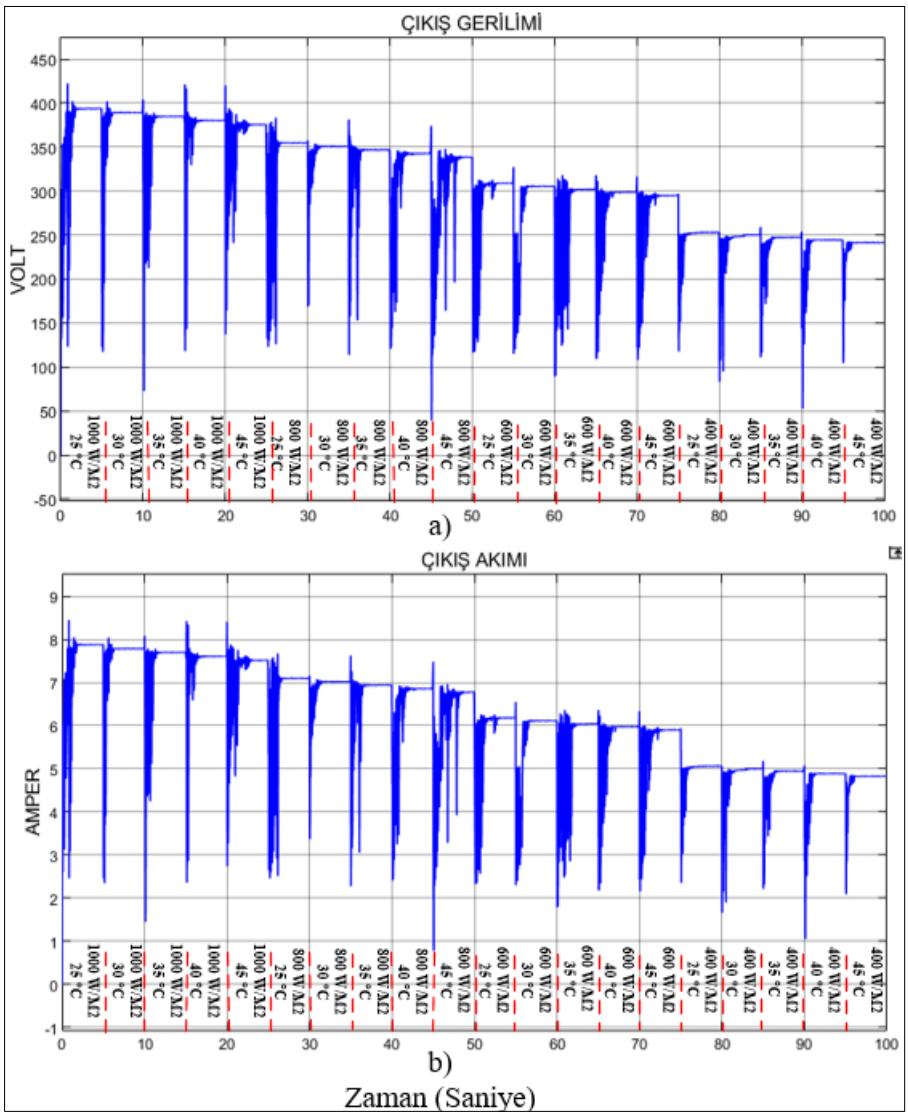
Şekil 6.34. Guguk kuşu arama algoritması ile zamana göre çıkış gücü grafiği

Guguk kuşu arama algoritması ile elde edilen DC/DC yükselten dönüştürücünün, 100 saniyelik ölçüm periyodu boyunca güç çıkış dalga formu Şekil 6.34'te verilmiştir. Guguk kuşu arama algoritmasında çıkıştaki güç salınımları diğer tüm algoritmalara kıyasla daha düşük seviyededir. Bu durum, sistemin güç kararlılığının ve kalitesinin iyileştirilmesine olanak sağlamaktadır.



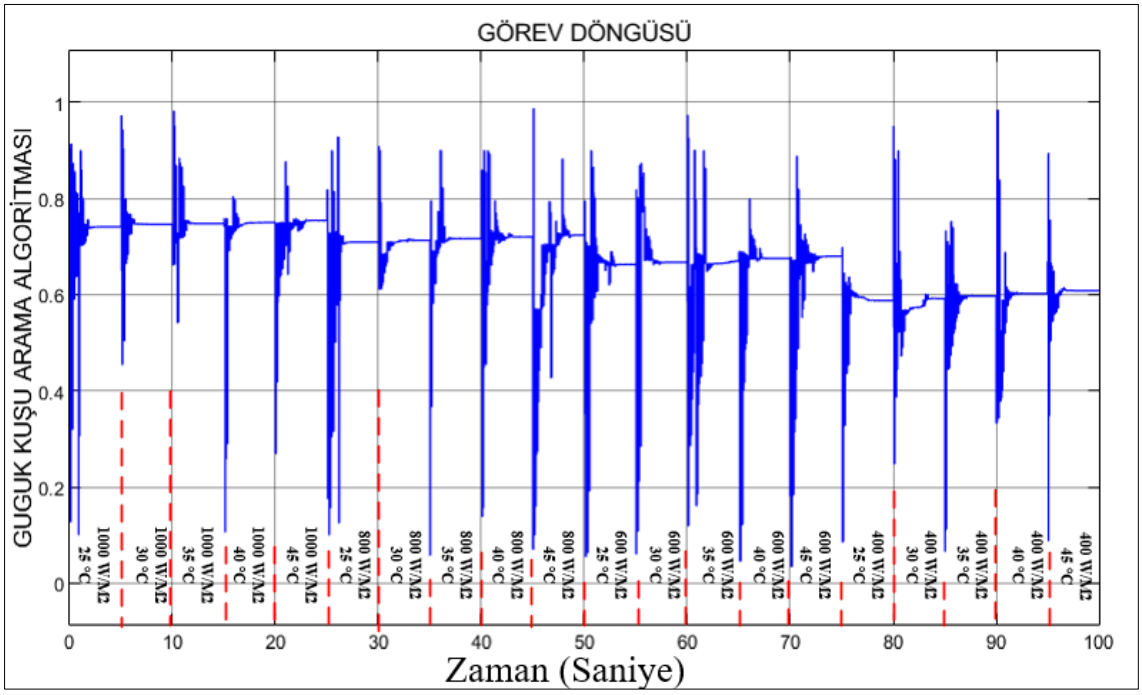
Şekil 6.35. Guguk kuşu arama algoritması ile zamana göre panel gücü grafiği

Guguk kuşu arama algoritması ile 100 saniye periyot boyunca panelden çekilen gücün grafiği Şekil 6.35'te verilmiştir. Görev döngülerinin rastgele atanması sebebiyle kararlı duruma geçilinceye kadar, panelden çekilen güçte klasik algoritmalara kıyasla yüksek miktarda ve daha uzun süreli salınımlar meydana gelmektedir.



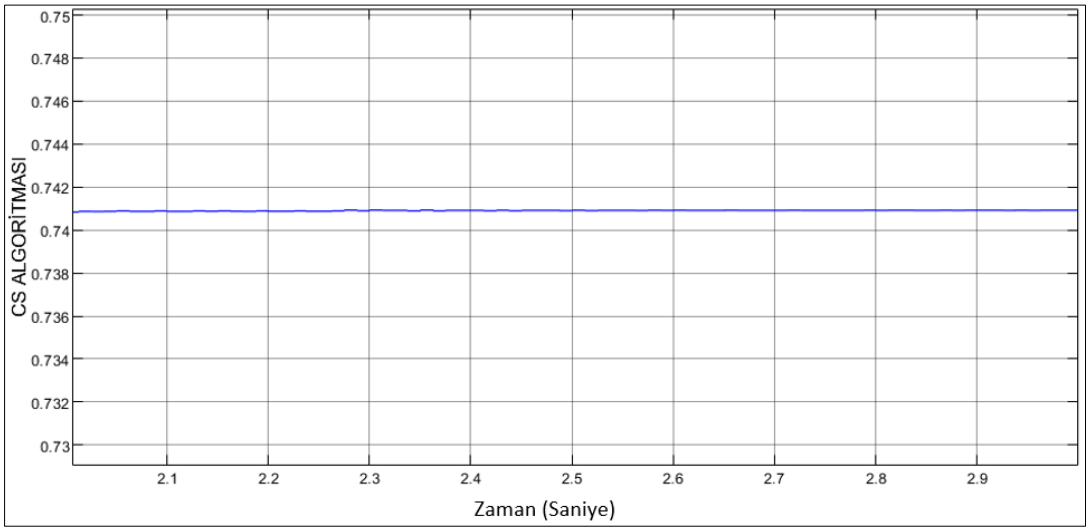
Şekil 6.36. Guguk kuşu arama algoritması ile zamana göre çıkış gerilimi ve çıkış akımı grafiği

Guguk kuşu arama algoritması ile elde edilen DC/DC yükselten dönüştürücünün, 100 saniyelik ölçüm periyodu boyunca 50 Ω rezistif yük ile çıkış gerilimi ve çıkış akımı dalga formu Şekil 6.36'da verilmiştir.



Şekil 6.37. Guguk kuşu arama algoritması görev döngüsü-zaman grafiği

Farklı çevresel koşullarda maksimum güç, DC/DC yükselten dönüştürücünün görev döngüsü değerinin ayarlanması ile elde edilebilmektedir. Guguk kuşu arama algoritması ile tüm periyot boyunca gözlemlenen görev döngüsü-zaman grafiği Şekil 6.37'de verilmiştir.



Şekil 6.38. Guguk kuşu arama algoritması kararlı durum görev döngüsü

Guguk kuşu arama algoritması kararlı durum görev döngüsü Şekil 6.38'te verilmiştir. Algoritmanın kararlı duruma geldiği adımda, görev döngüsünde değişim olmamaktadır.

Görev döngüsünde değişimin olmaması, çıkış gücündeki dalgalanmaların minimize edilmesini ve güç kalitesinin iyileştirilmesini sağlamaktadır.

6.9. Literatür İncelemesi

Çalışmanın bu bölümünde literatürde yapılan çalışmalar incelenmiş ve sonuçlardan bahsedilmiştir.

Literatür incelendiğinde, önceki çalışmalarda MATLAB/Simulink programı kullanılarak, 1000 W/m2, 800 W/m2 ve 400 W/m2 ışınım değerleri altında değiştir ve gözle algoritması ile yapılan benzetimlerde % 96 verimlilik elde edilmiştir. Kararlı duruma ulaşma süresi 150 milisaniye olarak gözlenmiştir [37]. Değiştir ve gözle algoritmasının basitliği ve uygulamada kolaylık avantajları sağlamasına karşın, artırılmış iletkenlik algoritmasına göre değişen durumlara daha yavaş adapte olmaktadır [38]. Bulutlanmanın olmadığı stabil hava durumlarında, ışınım değeri 1000 W/m2, değiştir ve gözle algoritmasının artırılmış iletkenlik algoritmasına göre daha kullanışlı ve verimli olduğu gözlenmiştir [38]. Işınım değerinin değişken olduğu, havanın sisli ve bulutlu, durumlarda ise artırılmış iletkenlik algoritmasının daha kullanışlı olduğu gözlenmiştir [38]. Değiştir ve gözle algoritmasında, maksimum güç noktası civarında güç salınımlarının artırılmış iletkenlik algoritmasına kıyasla daha yüksek olduğu, değişen durumlarda kararlı duruma gelme süresinin daha uzun olduğu bulunmuştur [39, 40, 41, 42, 43].

Literatürde farklı ışınım ve sıcaklık değerleri altında, değiştir ve gözle algoritması ile parçacık sürü optimizasyonu algoritması MATLAB/Simulink programı kullanılarak benzetim yapılarak kıyaslanmış, elde edilen bulgular Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Değiştir ve gözle ile parçacık sürü optimizasyonu algoritmalarının farklı ışınım değerleri altında verimliliklerinin kıyaslanması [44]

Işınım (W/m2)	Sıcaklık (°C)	Takip edilen güç (Watt)	Verimlilik (Ortalama)	Takip edilen güç (Watt)	Verimlilik (Ortalama)
		Değiştir ve Gözle algoritması		Parçacık sürü optimizasyonu	
400	25	52,67	%97,03	55,67	%99,3
600	25	102,59		95,92	
800	25	122,05		122,81	
1000	25	146,29		148,46	

Literatürde sıklıkla kullanılan klasik değiştir ve gözle, artırılmış iletkenlik ve akıllı algoritmalar sınıflandırmasında yer alan parçacık sürü optimizasyonu algoritmaları takip tepki süresi, kararlı durum güç salınımları ve verimlilikleri bakımından kıyaslanmıştır.

6.10. Benzetim Sonuçlarının Tablo Halinde Kıyaslanması

Mevcut çalışmada, literatürdeki çalışmaların kapsamını genişletmek amacıyla klasik algoritmalar olan değiştir ve gözle, artırılmış iletkenlik algoritmalarına ilave olarak sabit panel parametrelerine dayalı kısa devre akımı tekniği, açık devre gerilimi tekniği de eklenmiş olup, akıllı algoritmalar sınıflandırmasında bulunan parçacık sürü optimizasyonuna, modifiye parçacık sürü optimizasyonu ve guguk kuşu arama algoritması dahil edilerek 1000 W/m2, 800 W/m2, 600 W/m2 ve 400 W/m2 ışınım değerleri ile 25 °C, 30 °C, 35 °C, 40 °C ve 45 °C sıcaklık koşulları altında aynı devre parametreleri kullanılarak takip tepki süreleri, kararlı durum güç salınımları ve verimlilikleri kıyaslanmıştır. Benzetim sonuçlarında devre kayıplarının da dahil edilmesi amacıyla, devre elemanlarının iç dirençleri gerçek ürünlerin veri sayfalarından alınan parametreler ile modellenmiştir.

Simülasyonda elde edilen farklı ışınım ve sıcaklık değerleri için panel gücü, panel gerilimi, panel akımı, çıkış gücü, çıkış gerilimi ve çıkış akımı gibi devre ölçümleri değiştir ve gözle algoritması, artırılmış iletkenlik algoritması, kısa devre akımı tekniği, açık devre gerilimi tekniği, parçacık sürü optimizasyonu, modifiye parçacık sürü optimizasyonu ve guguk kuşu algoritması için sırasıyla Çizelge 6.3, Çizelge 6.5, Çizelge 6.7, Çizelge 6.9, Çizelge 6.11, Çizelge 6.13 ve Çizelge 6.15'te verilmiştir. Seçim kriterleri için verimlilik, takip tepki süresi, kararlı durum güç salınımı gibi önemli kıyaslama parametreleri; değiştir ve gözle algoritması, artırılmış iletkenlik algoritması, kısa devre akımı tekniği, açık devre gerilimi tekniği, parçacık sürü optimizasyonu, modifiye parçacık sürü optimizasyonu ve guguk kuşu algoritması için sırasıyla Çizelge 6.4, Çizelge 6.6, Çizelge 6.8, Çizelge 6.10, Çizelge 6.12, Çizelge 6.14 ve Çizelge 6.16'da verilmiştir.

Çizelge 6.3. Değiştir ve gözle algoritması devre ölçümleri

Işınım (W/m2)	Sıcaklık (°C)	Panel Gücü (W)	Panel Gerilimi (V)	Panel Akımı (A)	Çıkış Gücü (W)	Çıkış Gerilimi (V)	Çıkış Akımı (A)
1000	25 °C	3202	105,2	30,44	3040	389,9	7,798
1000	30 °C	3133	102,9	30,45	2973	385,5	7,71
1000	35 °C	3064	100,4	30,51	2905	381,1	7,622
1000	40 °C	2994	98	30,55	2837	376,6	7,532
1000	45° C	2924	95,55	30,6	2769	372,1	7,442
800	25° C	2584	105,8	24,42	2465	351,1	7,022
800	30 °C	2529	103,5	24,43	2411	347,2	6,944
800	35 °C	2473	101,1	24,46	2350	342,8	6,856
800	40 °C	2416	98,68	24,49	2302	339,2	6,784
800	45° C	2360	96,24	24,52	2247	335,2	6,704
600	25° C	1949	106,3	18,33	1867	305,5	6,11
600	30 °C	1907	103,9	18,35	1826	302,2	6,044
600	35 °C	1864	101,5	18,37	1785	298,8	5,976
600	40 °C	1822	99,06	18,39	1743	295,3	5,906
600	45° C	1779	96,51	18,43	1702	291,7	5,834
400	25° C	1299	106,1	12,24	1249	249,9	4,998
400	30 °C	1270	103,7	12,25	1222	247,1	4,942
400	35 °C	1241	101,2	12,26	1194	244,3	4,886
400	40 °C	1213	98,7	12,29	1166	241,4	4,828
400	45° C	1184	96,19	12,31	1138	238,5	4,77

Çizelge 6.4. Değiştir ve gözle algoritması kıyaslama parametreleri

Işınım (W /m2)	Sıcaklık (°C)	Verimlilik %	Takip Tepki Süresi (milisaniye)	Kararlı durum güç salınımı (W)	Kararlı durum güç salınımı (%)	Görev döngüsü hassasiyet değeri ΔD
1000	25 °C	94,941	180	33,09	1,088	0,0001
1000	30 °C	94,893	50	33,02	1,111	
1000	35 °C	94,811	50	32,96	1,135	
1000	40 °C	94,756	50	32,62	1,150	
1000	45° C	94,699	50	32,57	1,176	
800	25° C	95,395	100	24,07	0,976	
800	30 °C	95,334	50	23,74	0,985	
800	35 °C	95,026	50	23,57	1,003	
800	40 °C	95,281	50	23,37	1,015	
800	45° C	95,212	50	23,43	1,043	
600	25° C	95,793	100	15,96	0,855	
600	30 °C	95,752	50	15,75	0,863	
600	35 °C	95,762	50	15,55	0,871	
600	40 °C	95,664	50	15,37	0,882	
600	45° C	95,672	40	15,39	0,904	
400	25° C	96,151	120	8,854	0,709	
400	30 °C	96,220	50	8,78	0,718	
400	35 °C	96,213	50	8,72	0,730	
400	40 °C	96,125	50	8,6	0,738	
400	45° C	96,115	50	8,44	0,742	

Çizelge 6.5. Artırılmış iletkenlik (INC) algoritması devre ölçümleri

Işınım (W /m2)	Sıcaklık (°C)	Panel Gücü (W)	Panel Gerilimi (V)	Panel Akımı (A)	Çıkış Gücü (W)	Çıkış Gerilimi (V)	Çıkış Akımı (A)
1000	25° C	3202	105,2	30,44	3003	387,5	7,75
1000	30 °C	3133	102,9	30,45	2935	383,1	7,662
1000	35 °C	3064	100,4	30,51	2866	378,5	7,57
1000	40 °C	2994	98	30,55	2797	374	7,48
1000	45° C	2924	95,55	30,6	2727	369,3	7,386
800	25° C	2584	105,8	24,42	2443	349,5	6,99
800	30 °C	2529	103,5	24,43	2389	345,6	6,912
800	35 °C	2473	101,1	24,46	2334	341,6	6,832
800	40 °C	2416	98,68	24,49	2277	337,4	6,748
800	45° C	2360	96,24	24,52	2222	333,3	6,666
600	25° C	1949	106,3	18,33	1859	304,8	6,096
600	30 °C	1907	103,9	18,35	1817	301,4	6,028
600	35 °C	1864	101,5	18,37	1775	297,9	5,958
600	40 °C	1822	99,06	18,39	1733	294,4	5,888
600	45° C	1779	96,51	18,43	1690	290,7	5,814
400	25° C	1299	106,1	12,24	1244	249,4	4,988
400	30 °C	1270	103,7	12,25	1217	246,7	4,934
400	35 °C	1241	101,2	12,26	1190	243,9	4,878
400	40 °C	1213	98,7	12,29	1161	241	4,82
400	45° C	1184	96,19	12,31	1134	238,1	4,762

Çizelge 6.6. Artırılmış iletkenlik (INC) algoritması kıyaslama parametreleri

Işınım (W /m2)	Sıcaklık (°C)	Verimlilik %	Takip Tepki Süresi (milisaniye)	Kararlı durum güç salınımı (W)	Kararlı durum güç salınımı (%)	Görev döngüsü hassasiyet değeri ΔD
1000	25° C	93,785	180	24,89	0,829	0,0001
1000	30 °C	93,680	50	24,46	0,833	
1000	35 °C	93,538	50	23,84	0,832	
1000	40 °C	93,420	50	23,13	0,827	
1000	45° C	93,263	50	22,62	0,829	
800	25° C	94,543	60	18,79	0,769	
800	30 °C	94,464	50	18,55	0,776	
800	35 °C	94,379	50	17,69	0,758	
800	40 °C	94,247	50	18,08	0,794	
800	45° C	94,153	50	17,89	0,805	
600	25° C	95,382	60	13,47	0,725	
600	30 °C	95,281	50	13,35	0,735	
600	35 °C	95,225	50	13,39	0,754	
600	40 °C	95,115	50	12,5	0,721	
600	45° C	94,997	50	12,15	0,719	
400	25° C	95,766	100	8,86	0,712	
400	30 °C	95,827	50	8,42	0,692	
400	35 °C	95,890	50	8,38	0,704	
400	40 °C	95,713	50	8,14	0,701	
400	45° C	95,777	50	7,79	0,687	

Çizelge 6.7. Kısa devre akımı tekniği (SCC) devre ölçümleri

Işınım (W /m2)	Sıcaklık (°C)	Panel Gücü (W)	Panel Gerilimi (V)	Panel Akımı (A)	Çıkış Gücü (W)	Çıkış Gerilimi (V)	Çıkış Akımı (A)
1000	25° C	3202	105,2	30,44	3030	389,2	7,784
1000	30 °C	3133	102,9	30,45	2963	384,9	7,698
1000	35 °C	3064	100,4	30,51	2895	380,5	7,61
1000	40 °C	2994	98	30,55	2828	376	7,52
1000	45° C	2924	95,55	30,6	2759	371,4	7,428
800	25° C	2584	105,8	24,42	2457	350,5	7,01
800	30 °C	2529	103,5	24,43	2403	346,6	6,932
800	35 °C	2473	101,1	24,46	2349	342,7	6,854
800	40 °C	2416	98,68	24,49	2294	338,7	6,774
800	45° C	2360	96,24	24,52	2239	334,6	6,692
600	25° C	1949	106,3	18,33	1861	305	6,1
600	30 °C	1907	103,9	18,35	1820	301,7	6,034
600	35 °C	1864	101,5	18,37	1779	298,2	5,964
600	40 °C	1822	99,06	18,39	1737	294,7	5,894
600	45° C	1779	96,51	18,43	1695	291,1	5,822
400	25° C	1299	106,1	12,24	1245	249,5	4,99
400	30 °C	1270	103,7	12,25	1218	246,7	4,934
400	35 °C	1241	101,2	12,26	1190	243,9	4,878
400	40 °C	1213	98,7	12,29	1162	241	4,82
400	45° C	1184	96,19	12,31	1133	238	4,76

Çizelge 6.8. Kısa devre akımı tekniği (SCC) tekniği kıyaslama parametreleri

Işınım (W /m2)	Sıcaklık (°C)	Verimlilik %	Takip Tepki Süresi (milisaniye)	Kararlı durum güç salınımı (W)	Kararlı durum güç salınımı (%)	Görev döngüsü hassasiyet değeri ΔD
1000	25° C	94,628	180	29,98	0,989	0,0001
1000	30 °C	94,574	80	29,49	0,995	
1000	35 °C	94,484	80	28,99	1,001	
1000	40 °C	94,456	80	28,74	1,016	
1000	45° C	94,357	80	28,3	1,026	
800	25° C	95,085	80	22,49	0,915	
800	30 °C	95,018	80	22,14	0,921	
800	35 °C	94,986	80	21,95	0,934	
800	40 °C	94,950	80	21,58	0,941	
800	45° C	94,873	80	21,2	0,947	
600	25° C	95,485	100	15,43	0,829	
600	30 °C	95,438	80	15,2	0,835	
600	35 °C	95,440	80	14,97	0,841	
600	40 °C	95,335	80	14,83	0,854	
600	45° C	95,278	80	14,58	0,860	
400	25° C	95,843	160	8,91	0,716	
400	30 °C	95,906	80	8,79	0,722	
400	35 °C	95,890	80	8,62	0,724	
400	40 °C	95,796	80	8,54	0,735	
400	45° C	95,693	80	8,41	0,742	

Çizelge 6.9. Açık devre gerilimi tekniği (OCV) devre ölçümleri

Işınım (W /m2)	Sıcaklık (°C)	Panel Gücü (W)	Panel Gerilimi (V)	Panel Akımı (A)	Çıkış Gücü (W)	Çıkış Gerilimi (V)	Çıkış Akımı (A)
1000	25° C	3202	105,2	30,44	3030	389,2	7,784
1000	30 °C	3133	102,9	30,45	2963	384,9	7,698
1000	35 °C	3064	100,4	30,51	2893	380,3	7,606
1000	40 °C	2994	98	30,55	2822	375,7	7,514
1000	45° C	2924	95,55	30,6	2750	370,8	7,416
800	25° C	2584	105,8	24,42	2453	350,2	7,004
800	30 °C	2529	103,5	24,43	2401	346,5	6,93
800	35 °C	2473	101,1	24,46	2349	342,7	6,854
800	40 °C	2416	98,68	24,49	2294	338,7	6,774
800	45° C	2360	96,24	24,52	2239	334,6	6,692
600	25° C	1949	106,3	18,33	1848	304	6,08
600	30 °C	1907	103,9	18,35	1811	300,9	6,018
600	35 °C	1864	101,5	18,37	1773	297,7	5,954
600	40 °C	1822	99,06	18,39	1734	294,5	5,89
600	45° C	1779	96,51	18,43	1695	291,1	5,822
400	25° C	1299	106,1	12,24	1227	247,7	4,954
400	30 °C	1270	103,7	12,25	1203	245,2	4,904
400	35 °C	1241	101,2	12,26	1178	242,7	4,854
400	40 °C	1213	98,7	12,29	1153	240,1	4,802
400	45° C	1184	96,19	12,31	1127	237,4	4,748

Çizelge 6.10. Açık devre gerilimi tekniği (OCV) kıyaslama parametreleri

Işınım (W /m2)	Sıcaklık (°C)	Verimlilik %	Takip Tepki Süresi (milisaniye)	Kararlı durum güç salınımı (W)	Kararlı durum güç salınımı (%)	Görev döngüsü hassasiyet değeri ΔD
1000	25° C	94,628	180	29,01	0,957	0,0001
1000	30 °C	94,574	60	28,7	0,969	
1000	35 °C	94,419	50	28,39	0,981	
1000	40 °C	94,255	50	28,37	1,005	
1000	45° C	94,049	50	27,96	1,017	
800	25° C	94,930	100	22	0,897	
800	30 °C	94,939	50	21,81	0,908	
800	35 °C	94,986	50	21,3	0,907	
800	40 °C	94,950	50	21,26	0,927	
800	45° C	94,873	50	20,89	0,933	
600	25° C	94,818	120	14,98	0,811	
600	30 °C	94,966	50	14,93	0,824	
600	35 °C	95,118	50	14,72	0,830	
600	40 °C	95,170	50	14,52	0,837	
600	45° C	95,278	50	14,3	0,844	
400	25° C	94,457	140	8,64	0,704	
400	30 °C	94,724	50	8,7	0,723	
400	35 °C	94,923	50	8,47	0,719	
400	40 °C	95,054	50	8,38	0,727	
400	45° C	95,186	50	8,3	0,736	

Çizelge 6.11. Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) devre ölçümleri

Işınım (W /m2)	Sıcaklık (°C)	Panel Gücü (W)	Panel Gerilimi (V)	Panel Akımı (A)	Çıkış Gücü (W)	Çıkış Gerilimi (V)	Çıkış Akımı (A)
1000	25° C	3202	105,2	30,44	3094	393,3	7,866
1000	30 °C	3133	102,9	30,45	3029	389,2	7,784
1000	35 °C	3064	100,4	30,51	2954	384,3	7,686
1000	40 °C	2994	98	30,55	2890	380,2	7,604
1000	45° C	2924	95,55	30,6	2815	375,2	7,504
800	25° C	2584	105,8	24,42	2511	354,4	7,088
800	30 °C	2529	103,5	24,43	2460	350,7	7,014
800	35 °C	2473	101,1	24,46	2404	346,7	6,934
800	40 °C	2416	98,68	24,49	2344	342,3	6,846
800	45° C	2360	96,24	24,52	2285	338	6,76
600	25° C	1949	106,3	18,33	1905	308,7	6,174
600	30 °C	1907	103,9	18,35	1863	305,2	6,104
600	35 °C	1863	101,5	18,37	1822	301,8	6,036
600	40 °C	1822	99,06	18,39	1781	298,4	5,968
600	45° C	1779	96,51	18,43	1739	294,8	5,896
400	25° C	1299	106,1	12,24	1279	252,9	5,058
400	30 °C	1270	103,7	12,25	1249	249,9	4,998
400	35 °C	1241	101,2	12,26	1220	247	4,94
400	40 °C	1213	98,7	12,29	1193	244,2	4,884
400	45° C	1184	96,19	12,31	1162	241,1	4,822

Çizelge 6.12. Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) kıyaslama parametreleri

Işınım (W /m2)	Sıcaklık (°C)	Verimlilik %	Takip Tepki Süresi (milisaniye)	Kararlı durum güç salınımı (W)	Kararlı durum güç salınımı (%)	Amaç fonksiyonu katsayıları
1000	25° C	96,627	2000	35,27	1,140	w=0,4 c1=1,2 c2=1,4
1000	30 °C	96,680	2800	28,62	0,945	
1000	35 °C	96,410	2300	27,22	0,921	
1000	40 °C	96,526	2200	29	1,003	
1000	45° C	96,272	3500	28,89	1,026	
800	25° C	97,175	2200	30,3	1,207	
800	30 °C	97,272	1800	24,91	1,013	
800	35 °C	97,210	2200	24,2	1,007	
800	40 °C	97,020	2200	22,48	0,959	
800	45° C	96,822	2000	40,76	1,784	
600	25° C	97,742	2200	18,23	0,957	
600	30 °C	97,693	1600	17,93	0,970	
600	35 °C	97,799	1600	16,1	0,884	
600	40 °C	97,750	2500	13,16	0,739	
600	45° C	97,752	1600	13,17	0,757	
400	25° C	98,460	1400	8,77	0,686	
400	30 °C	98,346	2000	9,55	0,765	
400	35 °C	98,308	1500	8,43	0,691	
400	40 °C	98,351	2000	8,95	0,750	
400	45° C	98,142	1500	8,54	0,735	

Çizelge 6.13. Modifiye parçacık sürü optimizasyonu (MPSO) devre ölçümleri

Işınım (W /m2)	Sıcaklık (°C)	Panel Gücü (W)	Panel Gerilimi (V)	Panel Akımı (A)	Çıkış Gücü (W)	Çıkış Gerilimi (V)	Çıkış Akımı (A)
1000	25° C	3202	105,2	30,44	3093	393,3	7,866
1000	30 °C	3133	102,9	30,45	3029	389,1	7,782
1000	35 °C	3064	100,4	30,51	2954	384,3	7,686
1000	40 °C	2994	98	30,55	2890	380,2	7,604
1000	45° C	2924	95,55	30,6	2815	375,2	7,504
800	25° C	2584	105,8	24,42	2512	354,4	7,088
800	30 °C	2529	103,5	24,43	2460	350,7	7,014
800	35 °C	2473	101,1	24,46	2404	346,7	6,934
800	40 °C	2416	98,68	24,49	2344	342,3	6,846
800	45° C	2360	96,24	24,52	2287	338,2	6,764
600	25° C	1949	106,3	18,33	1906	308,7	6,174
600	30 °C	1907	103,9	18,35	1864	305,3	6,106
600	35 °C	1864	101,5	18,37	1822	301,8	6,036
600	40 °C	1822	99,06	18,39	1781	298,4	5,968
600	45° C	1779	96,51	18,43	1739	294,8	5,896
400	25° C	1299	106,1	12,24	1279	252,9	5,058
400	30 °C	1270	103,7	12,25	1249	249,9	4,998
400	35 °C	1241	101,2	12,26	1220	247	4,94
400	40 °C	1213	98,7	12,29	1191	244,1	4,882
400	45° C	1184	96,19	12,31	1163	241,1	4,822

Çizelge 6.14. Modifiye parçacık sürü optimizasyonu (MPSO) kıyaslama parametreleri

Işınım (W /m2)	Sıcaklık (°C)	Verimlilik %	Takip Tepki Süresi (milisaniye)	Kararlı durum güç salınımı (W)	Kararlı durum güç salınımı (%)	Amaç fonksiyonu katsayıları
1000	25° C	96,59588	1000	25,91	0,837698	w= 0,4 c1=0,65 c2=0,75
1000	30 °C	96,6805	1000	24,5	0,808848	
1000	35 °C	96,40992	1000	23,43	0,793162	
1000	40 °C	96,52639	1600	22,83	0,789965	
1000	45° C	96,27223	1000	22,23	0,789698	
800	25° C	97,21362	1200	23,62	0,940287	
800	30 °C	97,27165	1200	21,77	0,884959	
800	35 °C	97,20987	1200	19,97	0,830699	
800	40 °C	97,01987	1200	19,66	0,838737	
800	45° C	96,90678	1000	17,67	0,772628	
600	25° C	97,79374	1000	13,93	0,73085	
600	30 °C	97,74515	1000	13,01	0,697961	
600	35 °C	97,74678	800	12,91	0,708562	
600	40 °C	97,74973	1200	12,58	0,706345	
600	45° C	97,75155	1000	15,33	0,881541	
400	25° C	98,46035	900	7,79	0,60907	
400	30 °C	98,34646	1200	7,66	0,613291	
400	35 °C	98,30782	1200	7,6	0,622951	
400	40 °C	98,18631	800	7,56	0,634761	
400	45° C	98,22635	3350	7,41	0,637145	

Çizelge 6.15. Guguk kuşu arama (CS) algoritması devre ölçümleri

Işınım (W /m2)	Sıcaklık (°C)	Panel Gücü (W)	Panel Gerilimi (V)	Panel Akımı (A)	Çıkış Gücü (W)	Çıkış Gerilimi (V)	Çıkış Akımı (A)
1000	25° C	3202	105,2	30,44	3098	393,6	7,872
1000	30 °C	3133	102,9	30,45	3027	389	7,78
1000	35 °C	3064	100,4	30,51	2957	384,5	7,69
1000	40 °C	2994	98	30,55	2890	380,1	7,602
1000	45° C	2924	95,55	30,6	2817	375,5	7,51
800	25° C	2584	105,8	24,42	2515	354,6	7,092
800	30 °C	2529	103,5	24,43	2460	350,7	7,014
800	35 °C	2473	101,1	24,46	2404	346,7	6,934
800	40 °C	2416	98,68	24,49	2346	342,5	6,85
800	45° C	2360	96,24	24,52	2291	338,4	6,768
600	25° C	1949	106,3	18,33	1907	308,8	6,176
600	30 °C	1907	103,9	18,35	1865	305,4	6,108
600	35 °C	1864	101,5	18,37	1824	302	6,04
600	40 °C	1822	99,06	18,39	1782	298,5	5,97
600	45° C	1779	96,51	18,43	1738	294,8	5,896
400	25° C	1299	106,1	12,24	1280	252,9	5,058
400	30 °C	1270	103,7	12,25	1250	250	5
400	35 °C	1241	101,2	12,26	1222	247,1	4,942
400	40 °C	1213	98,7	12,29	1193	244,2	4,884
400	45° C	1184	96,19	12,31	1164	241,2	4,824

Çizelge 6.16. Guguk kuşu arama (CS) algoritması kıyaslama parametreleri

Işınım (W /m2)	Sıcaklık (°C)	Verimlilik %	Takip Tepki Süresi (milisaniye)	Kararlı durum güç salınımı (W)	Kararlı durum güç salınımı (%)	Amaç fonksiyonu katsayıları
1000	25° C	96,752	2000	12,56	0,405	
1000	30 °C	96,617	1400	12,23	0,404	
1000	35 °C	96,508	1800	12,05	0,408	
1000	40 °C	96,526	2500	11,79	0,408	
1000	45° C	96,341	3000	11,68	0,415	
800	25° C	97,330	1800	9,62	0,383	
800	30 °C	97,272	1600	9,57	0,389	
800	35 °C	97,210	1800	9,4	0,391	
800	40 °C	97,103	3000	9,38	0,400	
800	45° C	97,076	3700	8,96	0,391	β=1,5
600	25° C	97,845	2800	7,46	0,391	α=0,7
600	30 °C	97,798	1500	7,01	0,376	
600	35 °C	97,854	2600	6,64	0,364	
600	40 °C	97,805	2150	6,52	0,366	
600	45° C	97,695	2800	6,47	0,372	
400	25° C	98,537	1500	4,12	0,322	
400	30 °C	98,425	1600	4,04	0,323	
400	35 °C	98,469	2100	3,98	0,326	
400	40 °C	98,351	1600	3,96	0,332	
400	45° C	98,311	1350	3,91	0,336	

Çizelge 6.17. Çalışmada kullanılan algoritmaların verimliliklerinin karşılaştırılması

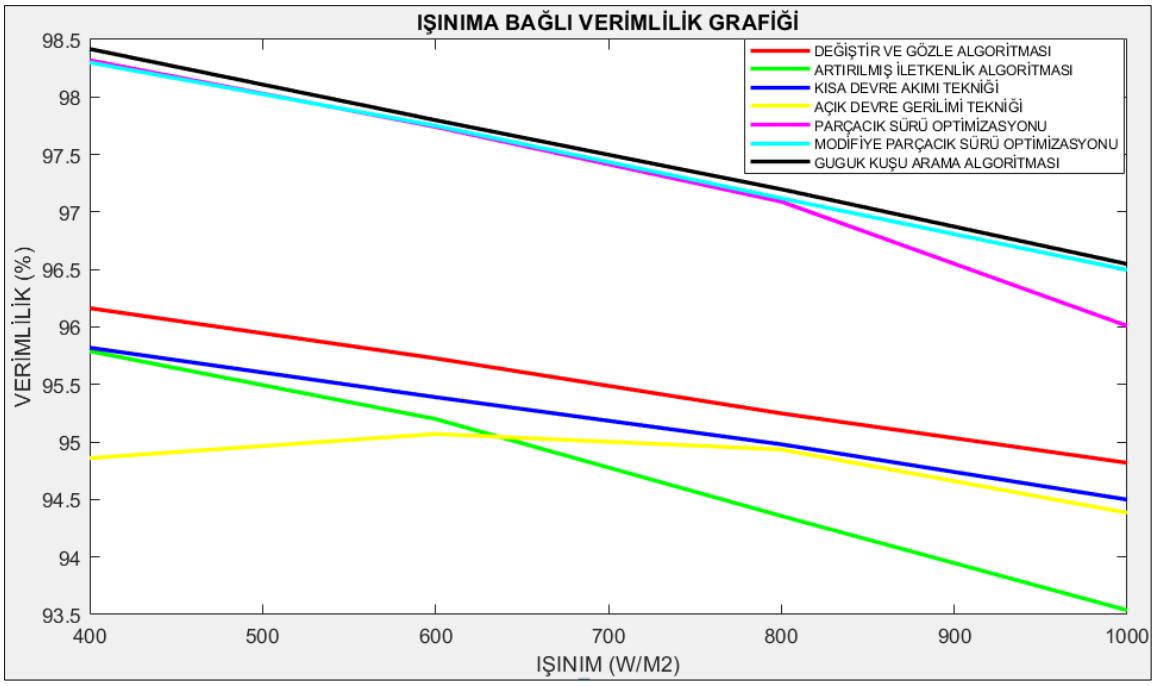
VERİMLİLİK (%)						
KLASİK ALGORİTMALAR				AKILLI ALGORİTMALAR		
Değiştir ve Gözle	Artırılmış İletkenlik	Kısa devre akımı tekniği	Açık devre gerilim tekniği	Parçacık sürü optimizasyonu	Modifiye parçacık sürü optimizasyonu	Guguk kuşu arama algoritması
95,491	94,722	95,175	94,814	97,378	97,421	97,490

Çizelge 6.18. Çalışmada kullanılan algoritmaların takip tepki sürelerinin karşılaştırılması

TAKİP TEPKİ SÜRESİ (MİLİSANİYE)						
KLASİK ALGORİTMALAR				AKILLI ALGORİTMALAR		
Değiştir ve Gözle	Artırılmış İletkenlik	Kısa devre akımı tekniği	Açık devre gerilim tekniği	Parçacık sürü optimizasyonu	Modifiye parçacık sürü optimizasyonu	Guguk kuşu arama algoritması
64,5	60	90	67,5	2055	1192,5	2130

Çizelge 6.19. Çalışmada kullanılan algoritmaların kararlı durum güç salınımlarının karşılaştırılması

Kararlı durum güç salınımı (%)						
KLASİK ALGORİTMALAR				AKILLI ALGORİTMALAR		
Değiştir ve Gözle	Artırılmış İletkenlik	Kısa devre akımı tekniği	Açık devre gerilim tekniği	Parçacık sürü optimizasyonu	Modifiye parçacık sürü optimizasyonu	Guguk kuşu arama algoritması
0,935	0,760	0,877	0,863	0,946	0,756	0,375



Şekil 6.39. Algoritmaların ışınıma bağlı verimlilik grafiği

Mevcut tez çalışmasında kullanılan algoritmaların ışınıma bağlı verimlilik grafikleri Şekil 6.39'da verilmiştir. Tüm periyot boyunca ortalama olarak en yüksek verimlilik guguk kuşu

arama algoritması ile elde edilirken , en düşük verimlilik artırılmış iletkenlik algoritması ile elde edilmiştir.

7. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu çalışmada yükselten dönüştürücü topolojisi ile maksimum güç noktası takibi tasarımı yapılmış ve dönüştürücü anahtarlama elemanının kapısına değiştir ve gözle, artırılmış iletkenlik, kısa devre metodu, açık devre gerilim metodu, parçacık sürü optimizasyonu, modifiye parçacık sürü optimizasyonu ve guguk kuşu arama algoritmaları çıktıları görev döngüsü olarak uygulanmıştır. Algoritmalar aynı DC/DC dönüştürücü devre parametreleri altında uygulanmıştır. Panel gücü, panel akımı, panel gerilimi, çıkış gücü, çıkış gerilimi, çıkış akımı, verimlilik, takip tepki süresi, kararlı durum güç salınımı gibi önemli devre parametreleri MATLAB/Simulink simülasyon programı çıktılarından ölçülüp tablolar halinde verilmiştir. Değişen çevresel koşullar altında algoritma performanslarını karşılaştırmak için 1000 W/m2, 800 W/m2, 600 W/m2 ve 400 W/m2 ışınım değerleri ile

25 °C, 30 °C, 35 °C, 40 °C ve 45 °C sıcaklık değerleri, panel girdileri olarak uygulanmıştır. Elde edilen çıkış gücünün beklenen maksimum güç noktasına oranı dönüştürücünün verimlilik değeri, ışınım ve sıcaklık değişimlerinde kararlı duruma gelme süresi takip tepki süresi ve kararlı durumdaki güç değeri değişimleri kıyaslama parametreleri olarak değerlendirilmiştir.

Sabit parametrelere dayalı kısa devre akımı metodu ve açık devre gerilim metodu çok küçük miktarlarda farklar ile benzer performanslar göstermiştir. Kısa devre akımı metodunun periyot boyunca ortalama verimliliği % 95,175, ortalama takip tepki süresi 90 milisaniye ve kararlı durumda güç salınımı % 0,877 olarak bulunurken, açık devre gerilim metodunda verimlilik % 94,814, takip tepki süresi ortalama 67,5 milisaniye ve kararlı durumda güç salınımı % 0,863 olarak bulunmuştur. Sabit parametrelere dayalı iki metot arasından kısa devre akımı ile daha yüksek verimlilik elde edilirken, açık devre gerilim metodu ile daha düşük takip tepki süresi ve daha düşük kararlı durum güç salınımları elde edilmiştir. Değiştir ve gözle algoritmasının periyot boyunca ortalama verimliliği % 95,491, ortalama takip tepki süresi 64,5 milisaniye ve kararlı durum güç salınımı % 0,935 olarak bulunurken, artırılmış iletkenlik algoritmasının verimliliği % 94,722, ortalama takip tepki süresi 60 milisaniye ve kararlı durum güç salınımı % 0,76 olarak bulunmuştur.

Klasik algoritmalar olarak sınıflandırılan değiştir ve gözle, artırılmış iletkenlik, kısa devre akımı ve açık devre gerilim metodu içerisinden en hızlı takip tepki süresi ve en düşük kararlı

durum güç salınımı artırılmış iletkenlik algoritması ile elde edilirken, aynı zamanda en düşük verimlilik değerleri de artırılmış iletkenlik algoritması ile elde edilmiştir. Klasik algoritmalar içerisinden en yüksek verimlilik değiştir ve gözle algoritması ile elde edilirken, aynı zamanda en yüksek kararlı durum güç salınımı yüzdesi ise değiştir ve gözle algoritması ile elde edilmiştir.

Yapay zekâ temelli algoritmalardan olan parçacık sürü optimizasyonun periyot boyunca ortalama verimlilik değeri % 97,378, ortalama takip tepki süresi 2055 milisaniye ve kararlı durum güç salınımı % 0,946 olarak bulunmuştur. Modifiye parçacık sürü optimizasyonu ile periyot boyunca elde edilen ortalama verimlilik değeri % 97,421, ortalama takip tepki süresi 1192,5 milisaniye ve kararlı durum güç salınımı % 0,756 olarak elde edilmiştir. MPSO algoritmasında kullanılan daha düşük değerli öğrenme katsayıları ve görev döngüsü değerlerinin rastgele başlatılması yerine, sınırlı alanda başlatılması sayesinde çok daha hızlı takip tepki süreleri, daha düşük kararlı durum güç salınımları ve daha yüksek verimlilik elde edilmiştir. Guguk kuşu arama algoritması ile periyot boyunca ortalama verimlilik % 97,49, ortalama takip tepki süresi 2130 milisaniye ve kararlı durum güç salınımı yüzdesi % 0,375 olarak bulunmuştur. Yapay zekâ temelli algoritmalar içerisinde en yüksek verimlilik ve en düşük kararlı durum güç salınımı guguk kuşu arama algoritması ile elde edilirken, en yüksek takip tepki süresi de guguk kuşu arama algoritmasında gözlenmiştir. Enerji sisteminin güç kalitesi için kararlı durum güç salınımlarının düşük olması, kurulu güçten en yüksek oranda faydalanılabilmesi için ise verimliliğin yüksek olması istenmektedir. Maksimum güç noktası takibinde guguk kuşu arama algoritması kullanımı ile modifiye parçacık sürü optimizasyonuna kıyasla % 0,069, parçacık sürü optimizasyonuna kıyasla % 0,112 daha yüksek verimlilik elde edilebilmektedir. 2020 yılı istatistiklerine göre Türkiye'nin kurulu güneş enerjisi güç kapasitesi 6667 MW'tır [45]. Bu durumda Türkiye'deki kurulu güneş enerjisi gücünden, maksimum güç noktası takibinin guguk kuşu arama algoritması ile gerçekleştirilmesi durumunda modifiye parçacık sürü optimizasyonuna kıyasla 4,6 MW, parçacık sürü optimizasyonuna kıyasla 7,467 MW daha yüksek kapasitede faydalanılabilecektir.

Klasik algoritmalar değiştir ve gözle, artırılmış iletkenlik, kısa devre akımı metodu ile açık devre gerilimi metodu ve yapay zekâ temelli parçacık sürü optimizasyonu, modifiye parçacık sürü optimizasyonu ile guguk kuşu arama algoritması olarak temelde iki kategoriye ayrılan tüm algoritmalar arasında en yüksek verimlilik ve en düşük kararlı durum güç

yüzdesi guguk kuşu arama algoritması ile elde edilmiştir. Tüm algoritmalar içerisinde en düşük verimlilik ve en düşük takip tepki süresi ise artırılmış iletkenlik algoritması ile elde edilmiştir. Bir diğer deyişle, artırılmış iletkenlik (INC) algoritması verimlilik bakımından en düşük performansı göstermekte, ancak değişken ortam koşullarına en hızlı tepkiyi vermektedir. Yapay zekâ temelli algoritmalar klasik algoritmalara göre daha uzun takip tepki sürelerine ancak daha yüksek verimliliklere sahiptir.

KAYNAKLAR

1. Hashim, I. (2021). *A new renewable energy ındex*. 2021 6th International Conference on Renewable Energy: Generation and Applications (ICREGA), Al Ain, 229-232.

2. Baba, A. O., Liu, G., and Chen, X. (2020). Classification and evaluation review of maximum power point tracking methods. *Sustainable Futures, 2*, 100020.

3. Hocaoglu, F., Serttaş, F., Kürekçi, M., Akarslan, E., Çınar, S., Doğan, R., and Yönetken, A. (2018). *Comparison of experimentally obtained I-V curves of different PV modules.* 2018 9th International Renewable Energy Congress (IREC), Hammamet, 1-4.

4. Patil, R., and Anantwar, H. (2017). *Comparitive analysis of fuzzy based MPPT for buck and boost converter topologies for PV application.* 2017 International Conference On Smart Technologies For Smart Nation (SmartTechCon), Bengaluru, 1479-1484.

5. Yahyaoui, I. (2018). *Advances in renewable energies and power technologies* (1th ed.), İspanya: Elsevier Science, 4-7.

6. Djalab, A., Bessous, N., Rezaouı, M., and Merzouk, I. (2018). *Study of the effects of partial shading on PV array*. 2018 International Conference on Communications and Electrical Engineering (ICCEE), El Oued, 1-5.

7. Twidell, J., and Weir, A. (2015). *Renewable energy resources* (3th ed.), New York: Routledge, 152-196.

8. Attou, A., Massoum, A., and Saidi, M. (2013). Photovoltaic power control using MPPT and boost converter. *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2(1), 23-27.

9. Tekale, A., Ware, V., and Devkar, V. (2018). Hybrid power generation by solar & vertical axis wind turbine: A review. *International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering*, 6(10), 15-19.

10. Sepulveda, S., Paipa, E., Serrano, M., and Márquez, L. (2019). Performance comparison between PWM and MPPT charge controllers. *Scientia et Technica*, 24(1), 6.

11. Karami, N., Moubayed, N., and Outbib, R. (2017). General review and classification of different MPPT Techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 1-18.

12. Glasner, I., and Appelbaum, J. (1996). Advantage of boost vs. buck topology for maximum power point tracker in photovoltaic systems. *Proceedings of 19th Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel*, 355-358.

13. Majaw, T., Deka, R., Roy, S., and Goswami, B. (2018). Solar charge controllers using MPPT and PWM: A review. *Department of Electrical and Electronics Engineering, School of Technology, Assam Don Bosco University*, 1-4.

14. Motahhir, S., El Hammoumi, A., and El Ghzizal, A. (2020). The most used MPPT algorithms: Review and the suitable low-cost embedded board for each algorithm. *Journal of Cleaner Production*, 246, 118983.

15. Lee, J., Jo, J., and Cha, H. (2018). *MPPT performance comparison between duty-cycle control and current control for photovoltaic power conditioning system.* 2018 21st International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Jeju, 1036-1040.

16. Hart, D. (2011). *Power electronics*. New York: McGraw-Hill, 196-259.

17. Hlaili, M., and Mechergui, H. (2016). Comparison of different MPPT algorithms with a proposed one using a power estimator for grid connected PV systems. *International Journal of Photoenergy*, 10.

18. Abdourraziq, M., Ouassaid, M., Maaroufi, M., and Abdourraziq, S. (2013). *Modified P&O MPPT technique for photovoltaic systems.* 2013 International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), Madrid, 728-733.

19. Tey, K., and Mekhilef, S. (2014). Modified incremental conductance MPPT algorithm to mitigate inaccurate responses under fast-changing solar irradiation level. *Solar Energy*, 101, 333-342.

20. Yung, K., Sarimuthu, R., and Lim, J. (2020). Artificial ıntelligence based MPPT techniques for solar power system: A review. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 8(6), 1043-1059.

21. Babaa, S., Armstrong, M., and Pickert, V. (2014). Overview of maximum power point tracking control methods for PV systems. *Journal of Power and Energy Engineering*, 2(8), 59-72.

22. Salman, S., AI, X., and Wu, Z. (2018). Design of a P-&-O algorithm based MPPT charge controller for a stand-alone 200W PV system. *Protection and Control of Modern Power Systems*, 3(1), 25.

23. Mohamed, S., and Abd El Sattar, M. (2019). A comparative study of P&O and INC maximum power point tracking techniques for grid-connected PV systems. *SN Applied Sciences*, 1(2), 174.

24. Yang, X. (2014). *Nature-inspired optimization algorithms*. Amsterdam: Elsevier, 170-187.

25. Wang, D., Tan, D., and Liu, L. (2017). Particle swarm optimization algorithm: An overview. *Soft Computing*, 22(2), 387-408.

26. Chao, K., Chang, L., and Liu, H. (2013). Maximum power point tracking method based on modified particle swarm optimization for photovoltaic systems. *International Journal of Photoenergy*, 1-6.

27. Salim, J., Alwan, M., and Albaker, B. (2021). A conceptual framework and a review of AI-Based MPPT techniques for photovoltaic systems. *Journal of Physics: Conference Series*, 1963(1), 012168.

28. Koad, A., and Zobaa, A. (2014). Comparison between the conventional methods and pso based mppt algorithm for photovoltaic systems. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 8, 690-695.

29. Joshi, A., Kulkarni, O., Kakandikar, G., and Nandedkar, V. (2017). Cuckoo search optimization- A review. *Materials Today: Proceedings*, 4(8), 7262-7269.

30. Mosaad, M., Abed el-Raouf, M., Al-Ahmar, M., and Banakher, F. (2019). Maximum power point tracking of PV system based cuckoo search algorithm; Review and comparison. *Energy Procedia*, 162, 117-126.

31. Eltamaly, A. (2021). An improved cuckoo search algorithm for maximum power point tracking of photovoltaic systems under partial shading conditions. *Energies*, 14(4), 953.

32. Ahmed, J., and Salam, Z. (2014). A maximum power point tracking (MPPT) for PV system using cuckoo search with partial shading capability. *Applied Energy*, 119, 118-130.

33. Alturki, F., Al-Shamma'a A., and Farh, H. (2020). Simulations and dSPACE real-time implementation of photovoltaic global maximum power extraction under partial shading. *Sustainability*, 12(9), 3652.

34. Sudhakar, T., Rajasekar, N., and Sangeetha, K. (2015). Modified particle swarm optimization technique based maximum power point tracking for uniform and under partial shading condition. *Applied Soft Computing*, 34, 613-624.

35. Al-Shetwi, A., Hannan, M., Jern, K., Alkahtani A., and PG Abas, A. (2020). Power quality assessment of grid-connected PV system in compliance with the recent ıntegration requirements. *Electronics*, 9(2), 366.

36. Brinkel, N. (2020). Impact of rapid PV fluctuations on power quality in the low-voltage grid and mitigation strategies using electric vehicles. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 118, 105741.

37. Martin, A., and Vazquez, J. (2015). *MPPT algorithms comparison in PV systems: P&O, PI, neuro-fuzzy and backstepping controls.* 2015 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Seville, 2841-2847.

38. Chowdhury, A., Samal, S., Rout, T., and Maharana, M. (2018). *A complete comparison of the two maximum power point tracking technique (MPPT) for photovoltaic systems.* 2018 4th International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES), Chennai, 72-76.

39. Djalab, A., Rezaoui, M., Teta, A., and Boudiaf, M. (2018). *Analysis of MPPT methods: P & O, INC and fuzzy logic (CLF) for a PV system.* 2018 6th International Conference on Control Engineering & Information Technology (CEIT), İstanbul, 1-6.

40. Banu, I., Beniuga, R., and Istrate, M. (2013). *Comparative analysis of the perturb-and-observe and incremental conductance MPPT methods.* 2013 8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), Bucharest, 1-4.

41. Khadidja, S., Mountassar, M., and M'hamed, B. (2017). *Comparative study of incremental conductance and perturb & observe MPPT methods for photovoltaic system.* 2017 International Conference on Green Energy Conversion Systems (GECS), Hammamet, 1-6.

42. Hichami, N., Abbou, A., Marhraoui S., and Rhaili, S. (2017). *Comparison between both commands photovoltaic MPPT of the system: Algorithm P&O and IncCond, using converter BOOST*. 2017 International Conference on Engineering and Technology (ICET), Antalya, 1-6.

43. Mishra, J., Das, S., Kumar, D., and Pattnaik, M. (2019). *Performance comparison of P&O and INC MPPT algorithm for a stand-alone PV system*. 2019 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT), Vellore, 1-5.

44. Belghith, O., Sbita, L., and Bettaher, F. (2016). MPPT design using PSO technique for photovoltaic system control comparing to fuzzy logic and P&O controllers. *Energy and Power Engineering*, 8(11), 349-366.

45. İnternet: URL: https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes Son Erişim Tarihi: 21.03.2022.



GAZİ GELECEKTİR..