

GÜNEŞ ENERJİ PANELLERİNDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASININ BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SHAHABULLAH AMIN

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
Şubat – 2021**

GÜNEŞ ENERJİ PANELLERİNDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASININ BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SHAHABULLAH AMIN

ORCIDID: 0000-0003-2399-6448

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**Danışman
Prof. Dr. Ali AKDAĞLI**

ORCIDID: 0000-0003-3312-992X

**MERSİN
Şubat- 2021**

ÖZET

GÜNEŞ ENERJİ PANELLERİNDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASININ BELİRLENMESİ

Elektrik enerjisi insan yaşamında hayati bir role sahiptir ve her geçen gün elektrik enerjisine olan talep artmaktadır. Doğayı korumak ve enerji üretimini sürekli kılmak için enerji talebinin çevre dostu enerji kaynakları ile karşılanması gerekmektedir.

Fotovoltaik (Photovoltaic, PV) sistemler, mevcut kaynakların elektrik enerjisine dönüştürülmesi çevresel etkileri azaltan dünyadaki elektrik enerjisi ihtiyaçlarının üstesinden gelmek için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Güneş enerjisi sistemlerini kullanarak elektrik enerjisini verimli bir şekilde üretmek için; sistem, çıkış gücünün maksimuma çıkarılacağı şekilde çalışmalıdır. Bu amaçla bu tez çalışmasında, DC enerji üreten sistemde en iyi sonucu elde etmek için DC-DC dönüştürücü topolojileri ve maksimum güç noktası takibi (Maximum Power Point Tracking, MPPT) algoritmaları kullanılmıştır. PV sisteminde en iyi sonucu elde etmek için en etkili yollardan biri olan ve yaygın olarak kullanılan MPP yöntemlerinden birisi çıkış voltajını dengelemektir. Bunu yapmak için DC-DC dönüştürücü, Yapay arı kolonisi, yapay sinir ağları, Genetik Algoritma, ve Öğretme-Öğrenmeye Dayalı Optimizasyon algoritmalarıyla birlikte bu tez çalışmasında kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik (PV), DC-DC dönüştürücü, MPPT, Yapay arı kolonisi, yapay sinir ağları, Genetik Algoritma, Öğretme-Öğrenmeye Dayalı Optimizasyon algoritma.

Danışman: Prof. Dr. Ali AKDAĞLI, Mersin Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.

ABSTRACT

DETERMINING OF THE MAXIMUM POWER POINT IN SOLAR ENERGY PANELS

Electrical energy has a vital role in human life and day-by-day the demand for electrical energy has been increased. Energy demand is need to be fulfilled by environmentally friendly energy sources in order to preserve nature and continuous energy production.

PV systems are widely used to overcome electrical energy needs in the world whose conversion of available sources to electrical energy reduces environmental impacts.

In order to produce electrical energy efficiently by using solar energy systems; the system must operate in a way that the output power should be maximized. For this purpose in this thesis work DC-DC converter topologies and MPPT algorithms are used to obtain the best result in DC energy-producing system, so for getting the best result in PV system one of the most effective way and widely used MPP (Maximum Power Point) method is to stable the output voltage, to do so DC-DC converter along with Artificial Bee Colony, Artificial Neural Networks, Genetic Algorithm, and Teaching Learning Based Optimization Algorithm are been used in this thesis work.

Keywords: PV, DC-DC converter, MPPT, Artificial Bee Colony, Artificial Neural Networks, Teaching Learning Based Optimization Algorithm, Genetic Algorithm

Advisor: Prof. Dr. Ali AKDAĞLI, Department of Electric and Electronics Engineering, University of Mersin.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince bilgi birikimi ve tecrübesiyle bana yol gösteren saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Ali AKDAĞLI'ya çalışmam boyunca bana verdiği destekten dolayı teşekkür ederim.

Tez savunmam sırasında jüride bulunan sayın hocalarım Prof. Dr. Hüseyin ERİŞTİ ve Doç. Dr. Ahmet KAYABAŞI'ya değerli yorumları, düzeltmeleri ve yapıcı eleştirilerinden dolayı teşekkür ederim. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde bana çalışma ortamı sağlayan Mersin Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'ne teşekkür ederim. Yüksek lisans eğitimi ve tez çalışması boyunca benden desteklerini esirgemeyen, Arş.Gör. Volkan YAMAÇLI'ya teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her konuda yanımda olan, bana olan inançlarını ve desteklerini her zaman hissettiren annem, babam, ve aileme sonsuz teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	i
ONAY	iii
ETİK BEYAN	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLO DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR ve SİMGELER	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI.....	2
2.1. Güneş Pili Çalışma Prensibi ve Fotoelektrik Etki.....	3
2.2. Güneş Pilleri için Elektriksel Modeli.....	4
2.3. Güneş Pilleri için Diyot Modelleri	4
2.4. Atmosferik Koşulların Etkisi.....	7
2.4.1. Işınım (G)	8
2.4.2. Sıcaklık (T)	8
2.4.3. Kısmi gölgeleme	9
2.5. Solar Hücre Teknolojileri	10
2.5.1. Monokristal Silikon Hücre	11
2.5.2. Polikristal Silikon Hücre	11
2.5.3. İnce Film Hücreleri	11
2.6. Fotovoltaik (PV) Sistem Bileşenleri	12
2.6.1. Merkezi İnvertör metodu	13
2.6.2. Dizi (String) İnvertör Metodu	14
2.6.3. Çoklu Dizeli (Multi String) İnvertörler metodu	15
2.6.4. AC Modülü Teknolojisi.....	15
2.7. Maksimum Güç Noktası İzleme Algoritmalarının İncelenmesi	16
2.7.1. Tepe Tırmanma (HC) Yöntemi.....	16
2.7.2. Küçük Yer Değiştirme (Perturbation) ve Gözlemleme (P&O) Yöntemi	18
2.7.3. Artımlı İletkenlik (INC) Yöntemi	20
2.7.4. Kesirli Açık Devre Gerilimi (FOCV) veya Sabit Gerilim Yöntemi	22
2.7.5. Kesirli Kısa Devre Akımı (FSCC) veya Sabit Akım Yöntemi	23
2.7.6. Bulanık Mantık Kontrolü (FLC) Yöntemi.....	23
2.7.7. Dalgalanma Korelasyon Kontrol (RCC) Yöntemi	25
2.7.8. Sistem Salınımları Yöntemi	26
2.7.9. Akım Tarama Yöntemi	26
2.7.10. DC-Link Kapasitör Düşüş Kontrol Yöntemi.....	27
2.7.11. Beta (β) Yöntemi	28
2.7.12. Eğri Uydurma Yöntemi	30
2.7.13. Tarama Tablosu (LUT) Yöntemi	31
2.7.14. Sıcaklık Metodu.....	31
2.7.15. Diğer MPPT Teknikleri.....	32
3. MATERYAL ve YÖNTEM	33
3.1. Fotovoltaik Sistem Modeli	33
3.2. DC-DC Boost Dönüştürücü.....	34
3.2. PID kontrolör	37
3.3. Darbe Genişliği Modülasyonu	39
3.4. Yapay Sinir Ağı.....	41

3.5. Genetik Algoritma	43
3.6. Yapay Arı Kolonisi (ABC)	45
3.7. Öğretme-Öğrenmeye Dayalı Optimizasyon (TLBO)	47
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	48
4.1. PV sistem çıkışı	48
4.2. YSA Eğitimi	50
4.3. YSA'nın Optimizasyonu	53
4.3.1. Yapay Sinir Ağının GA ile Optimizasyonu	53
4.3.2. Yapay Sinir Ağının TLBO ile Optimizasyonu	57
4.4. PID Denetleyici Optimizasyonu	58
4.4.1. GA Algoritması ile PID Optimizasyonu	58
4.4.2. TLBO Algoritması ile PID Optimizasyonu	61
4.4.3. ABC Algoritması ile PID Optimizasyonu	64
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	68
KAYNAKLAR	70
ESERLER	74

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1: PV güneş panellerinin karşılaştırması.....	12
Tablo 2.2: G ve T için β değerleri.....	29
Tablo 3.1: PV panelin özellikleri.....	33
Tablo 3.3: Yükseltici dönüştürücünün giriş ve çıkış voltajları	37
Tablo 3.4: Parametreyi bağımsız olarak artırmanın etkisi.....	39
Tablo 4.1: GA optimizasyonundan elde edilen PI değerleri	61
Tablo 4.2: TLBO optimizasyonundan elde edilen PI değerleri	63
Tablo 4.3: ABC optimizasyonundan elde edilen PI değerleri	66
Tablo 4.4: GA, TLBO ve ABC'nin Sonuçları	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1: Yarı İletken Bant Boşluk Enerjisi	3
Şekil 2.2.a. Bir güneş pilinin basitleştirilmiş tek diyot modeli	5
Şekil 2.2.b. Parazitik direnci içeren bir güneş pilinin tek diyot modeli.....	5
Şekil 2.3: Bir güneş pilinin iki diyot modeli	5
Şekil 2.4. Kırmızı renkte, V-I karakteristik eğrisi. Yeşil renkte, V-P karakteristik eğrisi.....	6
Şekil 2.5. 25° C'lik bir sıcaklıkta ışık koşullarını değiştirmek için MPP varyasyonları	8
Şekil 2.6. PV hücre parametrelerinin sıcaklık bağımlılığı.....	9
Şekil 2.7. 1kW / m2 Işık şiddetinde değişen sıcaklık koşulları için MPP varyasyonları	9
Şekil 2.8. Kısmi gölgeleme koşulları altında V-I ve V-P karakteristik eğrileri.....	10
Şekil 2.9: Merkezi İnvertör Teknolojisi yapılandırması	14
Şekil 2.10: Dizi İnvertör Teknolojisi	14
Şekil 2.11: Çok Dizeli İnvertör Teknolojisi	15
Şekil 2.12: AC Modülü Teknolojisi	16
Şekil 2.13: HC Yönteminin Blok Şeması	17
Şekil 2.14. MPP'den Sapma.....	18
Şekil 2.15. Tepe Tırmanışının PV Çalışma Noktasına Etkisi.....	19
Şekil 2.16. P&O Blok Şeması	20
Şekil 2.17: Artımlı İletkenlik Yöntemi Blok Şeması	21
Şekil 2.18: FLC Blok Şeması	24
Şekil 2.19. SSB Blok Şeması	26
Şekil 2.20. DC-Link Kapasitör Düşüş Kontrol Blok Şeması	28
Şekil 2.21. β Yöntem Blok Şeması	30
Şekil 3.1. Boost dönüştürücünün devre şeması	35
Şekil 3.2. Yükseltici dönüştürücünün Durum 1 çalışması	35
Şekil 3.3. Yükseltme dönüştürücünün 2.Durum çalışması.....	36
Şekil 3.4.b. Etkileşimli olmayan algoritmala	38
Şekil 3.4.c. Paralel algoritma.....	38
Şekil 3.5. Görev döngüsü senaryoları.....	40
Şekil 3.6. Sinir Ağı Şeması.....	41
Şekil 3.7. Elektrik Nöron Şeması.....	42
Şekil 3.8. NNTOOL ekran görüntüsü.....	43
Şekil 3.9. Basit GA'nın standart prosedürü	44
Şekil 3.10. Optim Tools araç kutusu	45
Şekil 3.11. ABC algoritmasının akış şeması.....	46
Şekil 3.12: TLBO algoritmasının akış şeması	46
Şekil 4.1. PV sistemi.....	48
Şekil 4.2. Sistemin voltaj çıkışı.....	49
Şekil 4.3. PID kontrollü PV sistem çıkışı	49
Şekil 4.4.a. PV sisteminin 1000 girişleri	51
Şekil 4.4.b. PV sisteminin 1000 çıkışları	51
Şekil 4.5. Sistemin sinir ağının eğitimi.....	52
Şekil 4.6.a. Ağın Performansı ve Eğitim durumu	52
Şekil 4.6.b. Ağın gerilemesi.....	53
Şekil 4.7: GA araç kutusu.....	54
Şekil 4.8: GA optimizasyon sonuçları	56
Şekil 4.9: Ağ için en iyi optimum değerler	56

Şekil 4.10. TLBO'nun optimizasyon sonuçları	57
Şekil 4.11. WB için TLBO sonuçları	58
Şekil 4.12: Aşma için GA optimizasyon sonucu.....	59
Şekil 4.13. yetersizliği için GA Optimizasyon sonucu	59
Şekil 4.14. Yerleşme süresi için GA optimizasyonu	59
Şekil 4.15: GA'nın SSE Optimizasyonun sonuçları	60
Şekil 4.16: Sistem için GA Optimizasyonu.	60
Şekil 4.17: Aşma için TLBO optimizasyon sonuçları.....	61
Şekil 4.18: Yetersizlik için TLBO optimizasyon sonuçları	62
Şekil 4.19: Yerleştirme süresi için TLBO Optimizasyon sonuçları.....	62
Şekil 4.20: SSE için TLBO optimizasyon Sonuçları.....	63
Şekil 4.21: Sistem için TLBO optimizasyon sonuçları.....	63
Şekil 4.22: Aşma için ABC optimizasyon sonuçları	64
Şekil 4.23: Yetersizlik için ABC optimizasyon sonuçları	64
Şekil 4.24: Yerleşim zamanı için ABC optimizasyon sonuçları	65
Şekil 4.25: SSE için ABC algoritması optimizasyon sonuçları	65
Şekil 4.26: Sistem hatası için ABC optimizasyonu.....	66

KISALTMALAR ve SİMGELER

Kısaltma/Simgesi	Tanım
PV	Photovoltaic
DC	Direct Current
AC	Alternative Current
MPPT	Maximum Power Point Tracking
ABC	Artificial Bee Colony
ANN	Artificial Neural Network
GA	Genetic Algorithm
TLBO	Teaching Learning Based Optimization Algorithm
SQ	Shockley–Queisser
I_{sc}	Short Circuit Current
V_{oc}	Open Circuit Voltage
FF	Fill Factor
GMPP	Global Maximum Power Point
EFG	Edge-Defined Film-fed Growth
HC	Hill Climbing
P&O	PO
INC	Incremental Conductance
FOCV	Fractional Open-Circuit Voltage
FSCC	Fractional Short-Circuit Current
AI	Artificial Intelligence
FLC	Fuzzy Logic Control
RCC	Ripple Correlation Control
LUT	Look-Up Table
NREL	National Renewable Energy Laboratory
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor
IGBT	Insulated-Gate Bipolar Transistor
FS	Switching Frequency
MV	Manipulated Variable
PID	Proportional, Integral, and Derivative
PWM	Pulse-Width Modulation

1. GİRİŞ

Dünya nüfusu hızlı artmasının yanı sıra elektronik teknolojisindeki hızla gelişmesi enerji tüketiminde artışa neden oluyor [1]. İnsani ihtiyaçların karşılanması için elektriğin daha çok üretilmesi gerekmektedir. Elektrik üretimi için talep edilen kaynak miktarı artmalıdır. Ancak şimdiye kadar ağırlıklı olarak kullanılan kaynaklar, sınırlı kaynaklar olan fosil yakıtlardır ve bu nedenle tükenmeyecek kaynaklardan enerji aramak gerekmektedir.

Ayrıca fosil yakıtların (kömür, petrol veya doğal gaz), yanmaları sırasında ortaya çıkan kirletici gazlar nedeniyle çevre kirliliği sorunları yaratmaktadır [2]. Bu sorunlar dünya çapında asit yağmurları, kentsel kirlilik veya sera gazlarının neden olduğu (özellikle karbondioksit (CO₂) ve metan (CH₄)) küresel ısınma gibi dünyaca bilinen sorunlardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı daha da geliştirilmektedir. Bu kaynaklar güneş, rüzgâr, su veya termal enerji gibi doğrudan doğadan çıkarılır ve enerji sürdürülebilir bir şekilde üretilir. Güneşin katkısı çok önemlidir çünkü kullanılabilirliği, gelecekteki olası enerji taleplerini fazlasıyla karşılamaktadır. Güneş enerjisinin son on yıldır geliştirilmesinin ve günümüzde termal güneş enerjisi veya PV sistemler gibi farklı uygulamaların kullanılmasının nedeni budur. Ancak benzer şekilde güneş potansiyel bir kaynaktır, değişen atmosfer koşullarından dolayı çok düzensizdir ve bu nedenle bu tür enerjinin verimliliği sorgulanabilir.

Bu tez çalışması PV sistemlerine ve üretilen gücü en üst düzeye çıkarmak için kullanılan algoritmalara odaklanacaktır. PV sistemleri, maksimum güç noktası (MPP) gösteren doğrusal olmayan bir P-V karakteristiğine sahiptir. Çalışma noktası, atmosferik koşullar ve ısıma nedeniyle değişebilir. Daha sonra çalışmanın amacı MPP'yi tahmin etmek ve çalışma noktasını ona yakın tutmak olacaktır. PV panelinden maksimum güç elde etmek için birçok farklı Maksimum Güç Noktası İzleme (MPPT) algoritması mevcuttur. MPP'yi belirlenmek için DC-DC Dönüştürücü topolojilerinin yanı sıra Yapay Sinir Ağı (Artificial Neural Network ANN), Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony, ABC), Öğretme-Öğrenmeye Dayalı Optimizasyon Algoritması (Teaching-Learning-Based Optimization, TLBO), ve Genetik Algoritma (GA), teoriyi sonuçlarla desteklemek için açıklanacak, uygulanacak ve simüle edilecektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

Yenilenebilir enerji kaynakları, endüstriyel ve nüfus artışına bağlı olarak sürekli artan enerji talebini karşılamak için ekonomik olarak daha uygun hale gelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretmek daha temizdir ve fosil yakıtların iklim üzerindeki etkisi kadar kötü bir etkiye sahip değildir. PV enerji temiz ve verimli olan, çevre dostu enerji üreten sistemlerden biridir. Bu nedenle güneş enerjisi yaygın olarak kullanılmaktadır [3].

PV sistemlerde hücreler, son birkaç yıldır hızlı bir büyüme gösteren güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmek için kullanılmaktadır. PV malzeme bu sistemdeki anahtar bileşendir, güneş ışığı hücreye çarptığında, hücrede kullanılan yarı iletken bir miktar elektron hareketine neden olur, bu da elektronun negatif elektroda hareket etmesine ve deliklerin pozitif elektrotlara hareket etmesine neden olur ve bir elektrik akımı oluşur. [4].

PV gücü Yalıtım, sıcaklık ve yük özelliklerine göre değişir, doğrudan ışınlama ile orantılıdır ve sıcaklıkla ters orantılıdır, bu sebeple atmosferik koşulların, özellikle sıcaklık ve ışınlama değişmesi nedeniyle, PV panel tarafından üretilen güç değişebilir ve maksimum güç noktasından (MPP) uzaklaşabilir. Sonuç olarak sistem verimi düşer ve maksimum enerjiden yararlanılmaz [5]. Bu nedenle, PV sisteminin verimliliği sorgulanabilir, PV sistemlerinin enerji üretimini maksimize etmek ve daha iyi verimlilik elde etmek için, panelden maksimum güç alma noktasını izlemek gerekir ki bu, her an mümkün olan maksimum gücü elde etmeyi mümkün kılacaktır.

Bu nedenle, maksimum güç noktası izleme (MPPT) algoritmaları uygulanır. Literatürde, karmaşıklık, gereken sensörler, yakınsama hızı, maliyet, etkinlik aralığı, uygulama donanımı, popülerlik ve diğer açılardan değişen farklı özelliklere sahip çok sayıda uygulanabilir yöntem mevcuttur [6]. Aslında, Güneş takip sistemi, MPPT algoritmaları ve Dönüştürücü topolojileri, PV sistemlerinden maksimum güç elde etmek amacıyla kullanılmaktadır [3]. Güneş takip sistemi, güneş panellerini güneşe doğru döndürerek yapılan maksimum güç noktası izleme yöntemidir [7]. MPPT kontrolörleri de bunu yapmak için kullanılır, PV için MPPT çevrimiçi ve çevrimdışı algoritmaları basittir ve yaygın olarak kullanılır. Çevrimiçi algoritmalar, PV panel voltajının ve akımının mevcut değerlerine dayalı olarak maksimum güç noktasını izler ve böylece sistem için optimal çalışma noktasını sağlayabilir [8]. Çevrimdışı algoritmalar veya açık döngü MPPT yöntemleri genellikle önceden elde edilen eğitim verilerini ve güneş ışınlaması, kısa devre akımı ve PV dizisinin açık devre voltajı ölçümlerini kullanır [8].

Literatürde MPP'nin hesaplanması için farklı teknikler kullanılmıştır. Tüm bu yaklaşımlar iki gruba ayrılabilir: klasik yaklaşımlar ve meta-sezgisel yaklaşımlar. Kaynak [9]'da önerildiği gibi, klasik tekniklerin kullanımı doğası gereği yereldir ve birden fazla çözüm varsa global değerleri optimize etmek yerine yerel optimizasyona neden olabilir. Kaynak [9]'da doğrudan bağlantı tekniği, önce maksimum güç noktasının meydana gelmesinin bir histogramı bulunarak

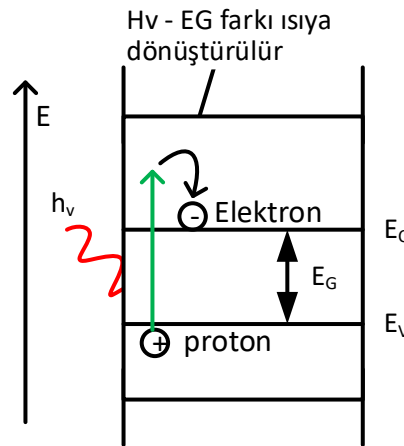
ve ardından bir optimal nokta seçilerek işleyiş için kullanılmıştır. Bu tekniğin en büyük dezavantajı, değişen çevre koşullarında düşük verimlilik içermesidir.

2.1. Güneş Pili Çalışma Prensibi ve Fotoelektrik Etki

PV sistemlerle başlamak için, bunların altında yatan temel süreci anlamak önemlidir. Temelde bu etki, güneş enerjisinin bir güneş pili aracılığıyla elektriğe dönüştürülmesinden sorumludur.

Elektromanyetik radyasyon ve dolayısıyla güneşin yaydığı radyasyon, $E_{ph} = h \times f$ enerjisini içeren foton adı verilen parçacıklardan oluşur; burada (h) Plank sabiti ve (f) güneş radyasyon frekansdır. Radyasyon bir malzemeye çarptığında, fotonlar atomlarla çarpışabilir, enerjisini malzemedeki elektronlara aktarabilir, böylece yayılabirler. Önceki formüle göre, gelen radyasyonun malzemesi ve dalga boyu bu etkinin başarısını etkiler.

Yarı iletken malzemeler kullanılarak yapılan güneş pillerinde, dahili fotoelektrik etki oluşur [10]. Yarı iletkenler, elektrik iletkenliği iletkenlerinkinden düşük ancak yalıtkanlardan daha yüksek olan malzemelerdir [11]. Dış koşullara bağlı olarak yalıtkan veya iletken malzemeler gibi davranabilirler. Bu durumda, fotonun sağladığı enerji bant aralığının enerjisiyse, yani değerlik bandının yüksek enerjisi ile iletim bandının tabanı arasındaki fark ise, elektron yayılır. Bu nedenle, Şekil 2.1'de gösterildiği gibi, değerlik bandında bir boşluk varken iletim bandında bir elektron belirir. Bununla birlikte, her iki parçacık da çok yakındır, bu nedenle elektronun geri dönmesi çok muhtemeldir ve tek sonuç yarı iletkenin ısınmasıdır.



Şekil 2.1: Yarı iletken Bant Boşluk Enerjisi [12]

Ayrılmış elektronları ve delikleri tutan bir elektrik alanının varlığına ihtiyaç vardır. Bununla birlikte, harici bir voltaj eklenirse, sonuç, elektrik üretemeyen pasif bir elemandan ibaret olur. Bu nedenle, güneş enerjisinden elektrik üretimi için, bir p-tipi ve n-tipi yarı iletken arasındaki etkiden yararlanılacaktır [12]. İletkenliklerini arttırmak için farklı tipteki içsel yarı iletkenler anlamına gelen dışsal yarı iletkenler kullanılır. Safsızlıklar donörler veya alıcılar olabilir, böylece n-tipi yarı iletken serbest elektronlara sahip olurken, p-tipi deliklere sahip olacaktır. Dahası, güneş pillerinin çalışması bir p-n bağlantısına dayanmaktadır. Böylece, hücrede, diğer yarı iletken kullanılmayan, tükenme bölgesi boyunca bir iç elektrik alanı oluşturan, sırasıyla serbest elektronlar ve delikler olacaktır. Bu, fotoelektrik etki tarafından üretilen delik-elektron çifti arasındaki ayırma izin verir ve böylece bir elektron yayıldığında, elektrik alanı delikle rekombinasyonu önler ve bir elektrik devresi sürekli bir akım oluşturmaya yardımcı olur. Çalışma prensibi Şekil 2.2'de görülebilir.

Özetlemek gerekirse, bir PV hücrenin temelde p-n bağlantısı ışığa maruz kalan yarı iletken bir diyot olduğu söylenebilir.

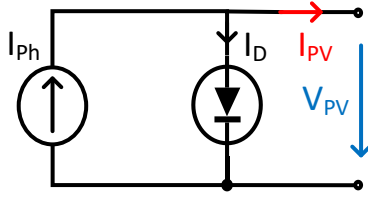
2.2. Güneş Pilleri için Elektriksel Modeli

Bir güneş pilinin ya da fotovoltail pilin iç yapısı bir n-tipi ve p-tipi yarı iletkenin birleşmesiyle oluşturulmuştur. Yük taşıyıcıların hareketinin, p bölgesinden n bölgesine yalnızca tek yönde olabileceği de bilinmektedir. Dolayısıyla, ısımanın olmadığı koşullarda, bir güneş pili yarı iletken bir diyot gibi davranır [12]. Fotovoltaik pilin üzerine güneş ışığı düştüğünde, bir foto-akımı da üretilir. Burdan yola çıkarak güneş pilinin elektriksel modeli temelde bir üretici kaynağa ve bir diyota dayanmaktadır.

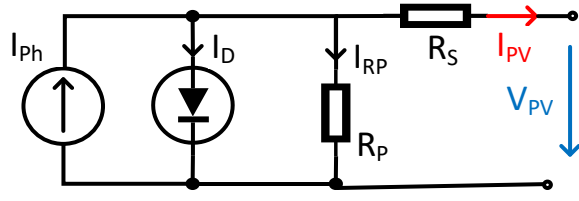
2.3. Güneş Pilleri için Diyot Modelleri

Refrans [13]'e göre bir akım kaynağı ve paralel bir diyot tarafından oluşturulan temel modelde hatalar ihmal edilir. Bu nedenle literatürde en çok kullanılan elektrik modeli tek diyot modelidir. Bu modelde, olası güç kayıplarını temsil eden parazitik dirençler olarak seri ve bir paralel direnç dahil edilmiştir ve modelin basitleştirilmiş versiyonu Şekil 2.2 A ve Şekil 2.2B 'de gösterilmiştir [13].

Şekil 2.2 A ve Şekil 2.2B' modellerine Kirchhoff Yasası'nı uygulayarak, hücre çıkış akımının I_{pv} değeri elde edilmektedir [12], ve denklem 2.1'de gösterilmiştir:



Şekil 2.2.a. Bir güneş pilinin basitleştirilmiş tek diyot modeli [13]



Şekil 2.2.b. Parazitik direnci içeren bir güneş pilinin tek diyot modeli [13]

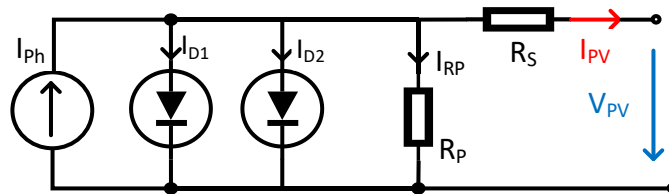
$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \cdot \left[\exp\left(\frac{V_{pv} + I_{pv}R_s}{nV_T}\right) - 1 \right] - \frac{V_{pv} + I_{pv}R_s}{R_p} \quad 2.1$$

$$I_D = I_s \cdot \left[\exp\left(\frac{V_{pv} + I_{pv}R_s}{nV_T}\right) - 1 \right] \quad 2.1.a$$

$$I_{RP} = \frac{V_{pv} + I_{pv}R_s}{R_p} \quad 2.1.b$$

Denklemler incelendiğinde üç ana terim gözlemlenmektedir. İlk terim, I_{ph} , fotoelektrik etkinin ürettiği akımdır; ikinci terim, diyottan (I_D) geçen akıma ve son terim ise, parazitik paralel dirence (I_{RP}) karşılık gelen kayıplara karşılık gelir. Ayrıca, I_s diyotun doyumluk akımıdır, n diyotun ideallik faktörüdür, R_s ve R_p sırasıyla seri ve paralel parazitik dirençlere karşılık gelir ve V_{pv} , PV hücresinin çalışma noktasındaki çıkış voltajıdır. V_T , KT/q ile tanımlanan diyotun termal voltajıdır; burada T , PV hücresinin Kelvin derece cinsinden sıcaklığı, K , Boltzmann sabiti ve q , temel yüküdür [13].

Daha fazla bilgi edinmek için, düşük ışınım seviyelerinde doğruluğu artırması nedeniyle iki diyot modeli belirlenmiştir. Bu modelde 1-2 arasında değişen tek diyot modelinde ideallik faktörleri, n 'nin aksine, $n_1 = 1$ ve $n_2 = 2$ 'dir. Yine de, hesaplamaları yaparken ortaya çıkan komplikasyonlar nedeniyle, genellikle tek diyot modeli ile değiştirilir [14]. Bu model Şekil 2.3'te görülebilir.



Şekil 2.3: Bir güneş pilinin iki diyot modeli [14].

Öte yandan, genellikle izole hücreler kullanılmaz, ancak bir PV hücresi çok düşük bir maksimum voltaj ve güce sahip olduğu için seri oluşturan modüller halinde bağlanırlar. Aslında, bir güneş pilinin maksimum güç noktasındaki (V_{mpp}) PV çıkış voltajı 0.45-0.58 V arasında değişir.

Bu nedenle, birkaç hücrenin seri bağlantısı maksimum voltajı artıracaktır [15]. Örneğin, 36 güneş hücresli bir PV modülü 15-20V civarında çalışacaktır. Bu nedenle, PV modülü tarafından üretilen akımın değeri denklem 2.2'de tanımlanmıştır:

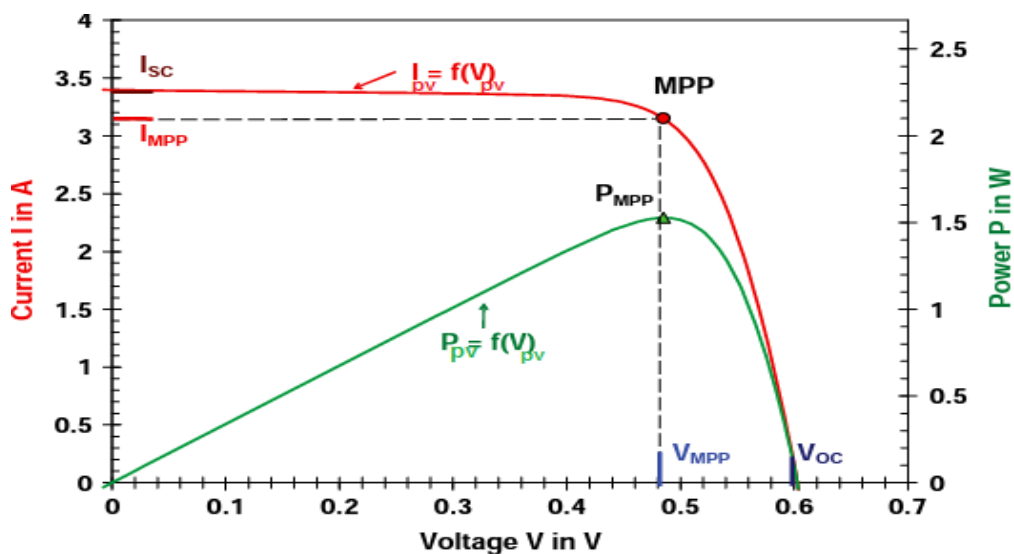
$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \cdot \left[\exp \left(\frac{V_{pv} + I_{pv} R_s}{n N_s V_T} \right) - 1 \right] - \frac{V_{pv} + I_{pv} R_s}{R_p} \quad 2.2$$

$$I_D = I_s \cdot \left[\exp \left(\frac{V_{pv} + I_{pv} R_s}{n N_s V_T} \right) - 1 \right] \quad 2.2.a$$

Bu denklemlerdeki, her bir terim denklem 2.1'deki ile aynıdır, ancak N_s terimi, seri olarak bağlanmış PV hücrelerinin sayısına karşılık gelen I_D 'de görünür. Ancak uygulamanın gerektirdiği güç daha yüksekse paralel bağlanabilirler. Böylece paralel bağlantı, PV modülünün maksimum akımını artırır [16]. Basitleştirilmiş tek diyot modelinin denklemleri denklem 2.3'te görülebilir:

$$I_{pv} = N_p \cdot I_{ph} - N_p \cdot I_s \cdot \left[\exp \left(K_o \frac{V_{pv}}{N_s} \right) - 1 \right] \quad 2.3$$

Ayrıca, önceki formüllere göre, üç işlemin karakteristik noktası işaret edilebilir. İlk olarak, PV hücresi boyunca voltajın (V_{pv}) sıfır olduğu ve kısa devre akımının (I_{sc}) görüldüğü kısa devre noktası, ikinci olarak, PV'den (I_{pv}) kaynaklanan akımın sıfır olduğu ve PV açık devre voltajının (V_{oc}) görüldüğü açık devre noktası ve son olarak, gerilim ve akım değerlerinin (I_{mpp} , V_{mpp}) olduğu maksimum güç noktası (MPP) dır. Şekil 2.4'te, PV hücresinin V_{pv} - I_{pv} eğrisi veya benzer şekilde PV modülünün yanı sıra V_{pv} - P_{pv} eğrisi de görülebilir. MPP'de türev dP_{pv} / dV_{pv} 'nin sıfır olduğuna dikkat etmek önemlidir.



Şekil 2.4. Kırmızı renkte, V-I karakteristik eğrisi. Yeşil renkte, V-P karakteristik eğrisi

Şekil 2.4'te, MPP ile ayrılmış iki bölge ayırt edilebilir. MPP'nin sol tarafında sabit akım (CC) bölgesi olarak adlandırılan bir alan bulunurken, MPP'nin sağ tarafında voltaj sabiti (CV) bölgesi bulunur [17].

Bir PV hücrenin temel özelliklerinden biri olan dolgu faktörünü (Fill Factor, FF) tanımlamak da önemlidir. Bir güneş pili tarafından elde edilen maksimum gücün açık ve kısa devre koşullarına göre oranı olarak tanımlanabilir ve 2.4 denkleminde tanımlandığı gibi formüle edilir. PV hücresi, doğrusal olmayan özelliği nedeniyle asla teorik MPP'de çalışmaz. Bu nedenle FF, bir PV hücresinin sağlayabileceği gerçek gücü bilmek ve ardından PV hücre kalitesini değerlendirmek için bir ölçümdür. Bu değer, piyasada bulunan PV hücreleri için %60-80 arasında değişir ve laboratuvar koşullarında %85'e ulaşabilir [12].

$$FF = \frac{P_{mpp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} = \frac{V_{mpp} \cdot I_{mpp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad 2.4$$

2.4. Atmosferik Koşulların Etkisi

PV enerji kısaca, güneş radyasyonun elektrik enerjisine dönüşümüdür. Doğrudan enerji dönüşümünde ışıyım (G) gibi çevresel koşullar etkili unsurlardır. Işıyım, bir düzleme gelen küresel radyasyonun güç yoğunluğu (güç / alan) olarak tanımlanabilir ve birimi W/m² 'dir [18]. Denklem 2.1'de görülebileceği gibi, PV çıkış akımı sıcaklığa (T) bağlıdır. Ek olarak, ortam sıcaklığının PV hücre p-n bağlantı sıcaklığı üzerinde bir etkisi vardır ve bu nedenle sıcaklık, PV hücresinin çalışmasını etkileyen başka bir atmosferik koşuldur. Bir hücrenin voltajından daha yüksek voltaj oluşturmak için, birkaç hücrenin seri olarak bağlanması ve bir hücrenin akımından daha yüksek bir akım için, birkaç hücrenin paralel bağlanması gerekir. Ancak modül kısmı gölgeleme koşullarında ise, bu bazı hücrelerin güneş ışınlarını almasını engelleyen bulutlar, ağaçlar veya binalardan kaynaklandığı anlamına gelir, davranışı, gölgeli olmayan modüllere göre değişecektir.

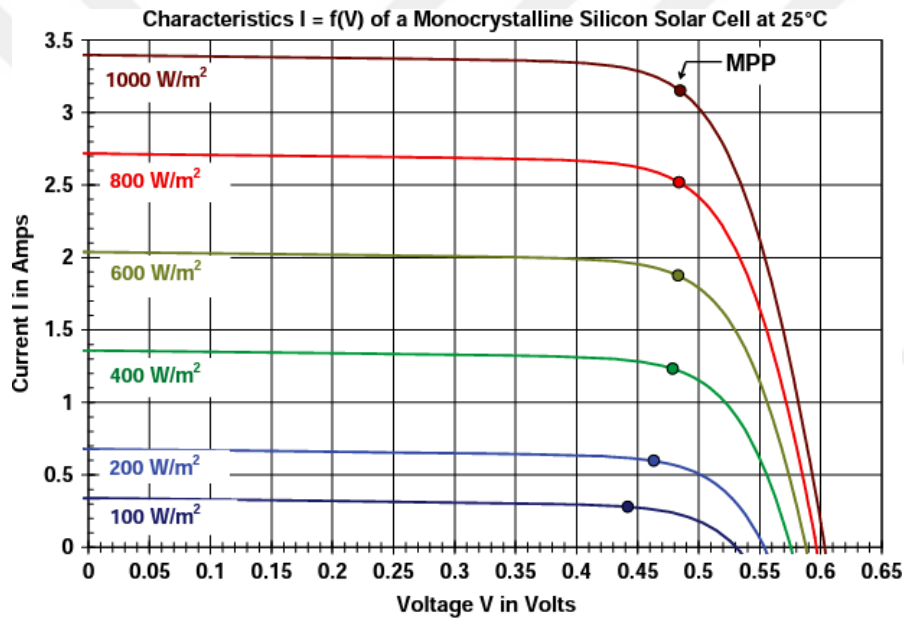
Tüm bunlar, doğrusal olmayan karakteristik eğrileri nedeniyle maksimum gücü elde etmeyi zorlaştıracak olan PV sistemlerinin beklenmedik davranışları anlamına gelir. Bu nedenle, maksimum güç noktası izleme (MPPT) algoritmaları geliştirilmiştir. Böylece çalışma noktası MPP'de çalışacak şekilde kontrol edilebilir. Atmosferik koşulların PV güneş sistemi üzerinde çok büyük bir etkisi olduğu için ayrıntılı bir açıklama önerilmiş ve verimi nasıl etkilediği de bu çalışmanın ilerleyen kısımlarında açıklanmıştır.

2.4.1. Işınım (G)

Güneş radyasyonu alınmadığında bir güneş hücresinin diyot olarak düşünülebileceği vurgulanmıştır. Bununla birlikte, güneş ışığı güneş piline düştüğünde akım üretilir, budan dolayı foto-akım (I_{ph}) G ile doğru orantılıdır. I_{ph} ve G arasındaki ilişki denklem 2.5'te görülebilir.

$$I_{ph} = I_{ph, stc} \frac{G}{G_{stc}} \quad 2.5$$

Denklem 2.5'te, I_{ph} , STC ve G_{stc} , standart test koşullarında üretilen foto-akım ve ışıdır. Şekil 2.5'te, 25 ° C'lik sabit bir sıcaklıkta değişen parlaklık seviyeleri için V-I eğrisindeki ve dolayısıyla MPP'deki değişiklikler gösterilmektedir.



Şekil 2.5. 25 ° C'lik bir sıcaklıkta ışık koşullarını değiştirmek için MPP varyasyonları [18].

MPP'nin daha yüksek ışınlamayla arttığı fark edilebilir. Ek olarak, daha düşük ışık şiddeti koşulları için, MPP voltajı ve V_{oc} değişir, ancak daha yüksek ışınlamay seviyeleri için nispeten sabit kalır.

2.4.2. Sıcaklık (T)

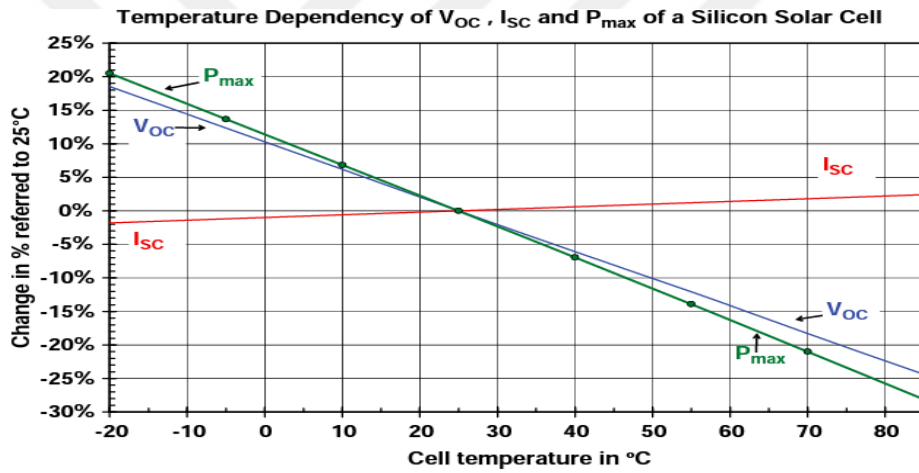
Sıcaklık, PV sistemlerinin davranışını etkileyen çevresel faktörlerden biridir. Bu bağımlılık, ışımanın aksine I_{sc} üzerinde önemli bir etkiye sahip değilken, sıcaklığın V_{oc} 'u etkilediğinin görülebildiği Şekil 2.7'de görülmektedir. Ayrıca, Şekil 2.7'de, MPP'nin sıcaklığa ve esas olarak V_{oc} 'a bağımlılığı gösterilmektedir. Sıcaklık değişirken I_{sc} 'nin nasıl ve neredeyse sabit

kaldığı tekrar görülebilir. Ancak sıcaklık arttıkça MPP'nin azaldığı fark edilmektedir. Bu, diyot doygunluk akımının (I_s) üssel olarak artması ve denklem 2.6'da gösterilen V_{oc} düşüşünü üreten diyot termal voltajının ($V_T = nkT / q$) artışını telafi etmekten daha fazla olduğu için üretilir:

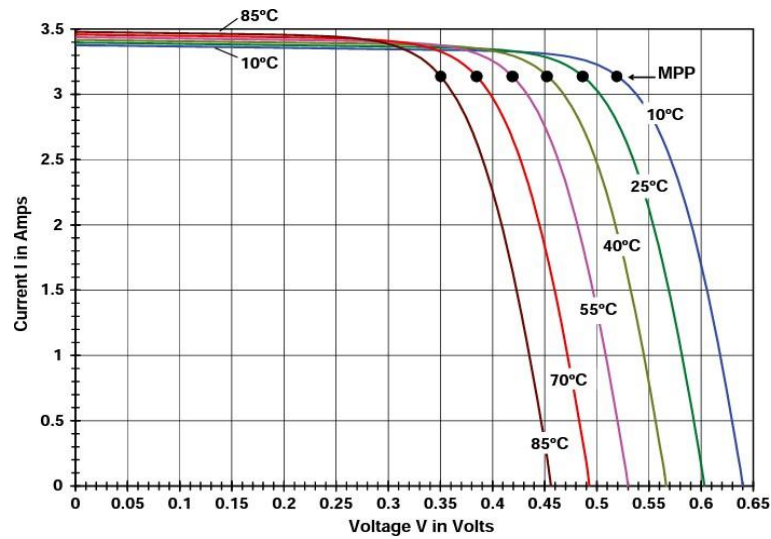
$$V_{oc} = V_t \cdot \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_s}\right) \text{ For } I_{ph} \gg I_s \quad 2.6$$

2.4.3. Kısmi gölgeleme

Temel olarak, yukarıda yorumlandığı gibi, daha yüksek voltaj seviyeleri elde etmek için hücre dizilerinin uygulanması gerektiği ve her modül veya hücrenin farklı çevresel koşullara maruz kalması nedeniyle, uyumsuz güç kayıpları ortaya çıktığı görülmüştür. Kısmi gölgeleme koşulları nedeniyle, evrensel bir maksimum güç noktası

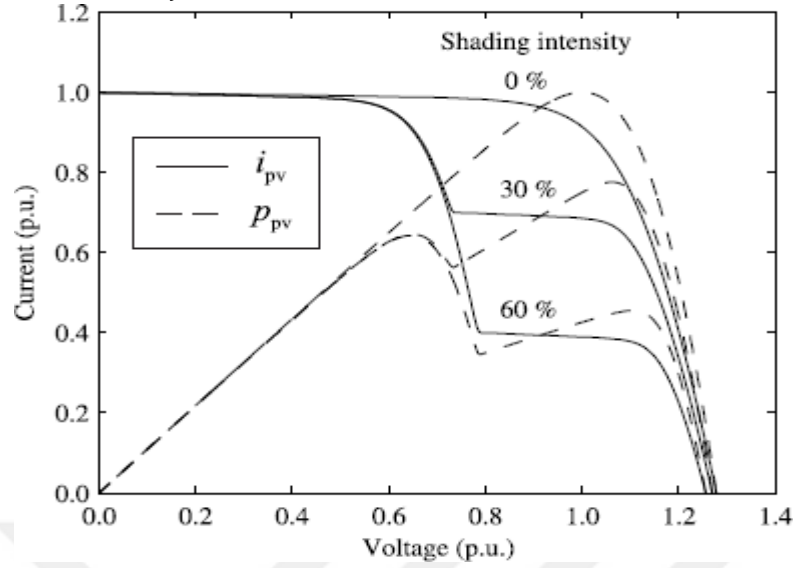


Şekil 2.6. PV hücre parametrelerinin sıcaklık bağımlılığı [18].



Şekil 2.7. 1kW / m² Işık şiddetinde değişen sıcaklık koşulları için MPP varyasyonları [18].

(Global Maximum Power Point, GMPP), Şekil 2.8'de görülebileceği gibi, birden çok yerel maksimum güç noktasına dönüştürülür.



Şekil 2.8. Kısmi gölgeleme koşulları altında V-I ve V-P karakteristik eğrileri

2.5. Solar Hücre Teknolojileri

Güneş Fotovoltaikleri (genellikle güneş PV olarak kısaltılır) adını, fotovoltaik etki adı verilen ışığı (fotonları) elektriğe (gerilime) dönüştürme işleminden alır. Bu fenomen ilk olarak 1954 yılında, güneş ışığına maruz kaldığında elektrik akımı üreten silikondan yapılmış çalışan bir güneş pili yaratan Bell Laboratuvarları'ndaki bilim adamları tarafından kullanıldı. Yukarıda belirtildiği gibi Güneş ışığı, ekonomik büyümeyi sürdürülebilir bir şekilde güçlendirmek için en fazla, güvenli ve temiz enerji kaynağıdır ve verimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Dolayısıyla güneş pili, güneş ışığını bir enerji kaynağı olarak kullanmanın ve elektriğe dönüştürmenin en verimli ve pratik yollarından biri olan kullanıma giriyor. Bir güneş pilinin verimliliği, gelen güneş foton enerjisi ve tek bağlantılı güneş pillerinin elektrik enerjisi çıktısıdır ki SQ (Shockley-Queisser) modeli ve formalizm ile belirlenir [19].

19. yüzyılda gözlemlendikten sonra, fotovoltaik etki olgusu ve bu yenilenebilir enerji kaynağından yararlanılarak gün geçtikçe gelişti, son birkaç yıldan beri güneş pili teknolojisinin gelişiminde dikkate değer bir ilerleme vardır. Bugün, güneş pillerinden elde edilen elektrik, birçok bölgede maliyet açısından rekabetçi hale geldi ve PV sistemler, elektrik şebekesine güç sağlamaya yardımcı olmak için büyük ölçeklerde konuşlandırılıyor [19].

Dünya pazarına hâkim olan üç tür PV hücre teknolojisi mevcuttur; monokristal silikon, polikristal silikon ve ince film. Galyum arsenit ve çok bağlantılı hücreler dahil olmak üzere daha yüksek verimli PV teknolojileri, yüksek maliyetleri nedeniyle daha az yaygındır, ancak konsantre PV sistemlerde ve uzay uygulamalarında kullanım için idealdir. Ayrıca, Perovskite hücreleri, organik güneş pilleri, boyaya duyarlı güneş pilleri ve kuantum noktaları içeren, gelişmekte olan çeşitli PV hücre teknolojileri de bulunmaktadır.

2.5.1. Monokristal Silikon Hücre

Piyasada bulunan ilk güneş pilleri, son derece saf bir silikon formu olan monokristal silikondan yapılmıştır. Bunları üretmek için, bir çekirdek kristali erimiş silikon kütlesinden çekilerek tek, sürekli, kristal kafes yapısına sahip silindirik bir külçe yaratılır. Bu kristal daha sonra mekanik olarak ince levhalar halinde kesilir, gerekli p-n birleşimini oluşturmak için cilalanır ve katkılanır. Bir yansıma önleyici kaplama, ön ve arka metal kontaklar eklendikten sonra, hücre nihayet kablolanır ve diğer birçok hücrenin yanında tam bir güneş paneline paketlenir. Monokristalin silikon hücreleri oldukça verimlidir, ancak üretim süreçleri yavaştır ve yoğun emek gerektirir, bu da onları polikristalin veya ince film emsallerinden daha pahalı hale getirir.

2.5.2. Polikristal Silikon Hücre

Tek bir homojen kristal yapı yerine, polikristalin (veya çok kristalli) hücreler birçok küçük kristal taneciği içerir. Erimiş silikondan küp şeklindeki bir külçe dökülerek basitçe yapılabilir, daha sonra monokristal hücrelere benzer şekilde kesilip paketlenir. Kenar tanımlı film beslemeli büyüme (EFG) olarak bilinen başka bir yöntem, bir erimiş silikon kütlesinden ince bir polikristalin silikon şeridi çekmeyi içerir. Daha ucuz ancak daha az verimli bir alternatif olan polikristalin silikon PV hücreleri, 2015 yılında Dünya çapında PV üretiminin yaklaşık %70'ini temsil ederek dünya pazarına hakimdir.

2.5.3. İnce Film Hücreleri

İnce film hücrelerin yapımı çok esnek ve dayanıklıdır. Amorf silikon (a-Si), ince silikon katmanlarının bir cam alt tabaka üzerine bırakılmasıyla üretilen bir tür ince film PV hücreleridir. Bir kristal hücre için gereken silikonun %1'inden daha azını kullanan çok ince ve esnek bir hücredir. Hammaddedeki bu azalma ve daha az enerji-yoğun üretim süreci nedeniyle, amorf

silikon hücrelerin üretimi çok daha ucuzdur. Bununla birlikte, silisyum atomları, kristalize formlarından çok daha az sıralı olduğundan, diğer elementlerle birleşerek onları elektriksel olarak etkisiz hale getiren 'sarkan bağlar' bıraktığı için verimlilikleri büyük ölçüde azalır. Bu hücreler aynı zamanda, stabilize edilmeden önceki ilk birkaç ay içinde verimlilikte %20'lik bir düşüş yaşarlar ve bu nedenle, bozulmuş çıkışlarına göre güç derecelendirmeleriyle satılırlar.

Diğer ince film hücre türleri arasında bakır indiyum galyum diselenide (CIGS) ve kadmiyum tellürür (CdTe) bulunur. Bu hücre teknolojileri, amorf silikondan daha yüksek verimlilikler sunar, ancak üretim ve nihai geri dönüşüm sırasında ekstra önlemler gerektiren kadmiyum dahil nadir ve toksik elementler içerir.

Tablo 2.1: PV güneş panellerinin karşılaştırması

Güneş pili tipi	Verimlilik	Avantajları	Dezavantajları
Monokristal güneş panelleri	~20%	Yüksek verimlilik oranı; ticari kullanım için optimize edilmiştir; yaşam süresinin yüksek değeri	Pahalı
Polikristalin güneş panelleri	~15%	Düşük fiyat	Yüksek sıcaklıklara duyarlı; daha düşük kullanım ömrü ve biraz daha az alan verimliliği
İnce film güneş paneli	~7-10%	Nispeten düşük maliyetler; üretmesi kolay ve esnek	Daha kısa garantiler ve ömür

2.6. Fotovoltaik (PV) Sistem Bileşenleri

İlk başta, PV sistemleri doğrudan küçük yüklere bağlanmak ve güç sağlamak için tasarlandı. Bununla birlikte, dünyadaki enerji talebinin artması nedeniyle, şebekeye bağlı PV modüllerinin alternatifi daha olağanüstü hale gelmektedir [20]. PV modülü tarafından üretilen voltaj sürekli olduğundan ve şebeke voltajı değiştiğinden, üretilen gücün şebekeye enjekte edilebilmesi için PV sisteminde bir dönüştürme adımı gereklidir. Bu nedenle, katı hal invertörleri, DC / AC dönüştürücüler, PV modülü ile şebeke arasına bağlanacaktır [21].

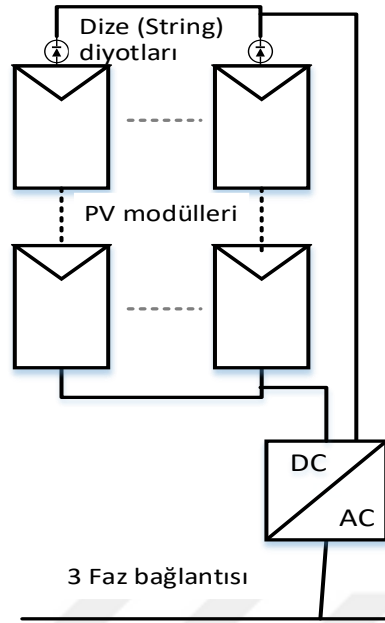
Bu cihaz iki önemli görevi yerine getirmelidir: birincisi, PV modülünün MPP'de çalışmasını sağlamaktan sorumlu olacak ve ikinci olarak, doğru akımı dönüştürüp şebekeye sinüzoidal bir akım enjekte edecek. DC / DC dönüştürücülerinin görünebileceği çoklu güç dönüştürücü aşamalarından oluşan PV sistemleri mevcuttur. Bu durumda, MPP'yi izlemek ve kontrol etmekten sorumlu olabilirler [3].

Şebekeye bağlı PV sistemlerinde eviricilerin bulunması gerektiğinden, eviricilerin maliyeti, PV sistemlerinin toplam maliyetinde ve dolayısıyla bu tür enerjinin geliştirilmesinde önemli bir role sahiptir. Ayrıca, daha önce açıklanan kısmi gölgeleme olgusunun, PV sistemi davranışını etkileyebileceğini hesaba katmak önemlidir. Böylelikle hem elektrik şebekesi şirketlerinin hem PV modüllerinin hem de operatörün gereksinimlerinin karşılanması için farklı konfigürasyonlar önerilmiştir. Kaynak [22] ve [23]'e göre, aşağıda açıklanan dört farklı konfigürasyon bulunmaktadır:

2.6.1. Merkezi İnvertör metodu

Bu konfigürasyon geçmiş teknoloji olarak kabul edilebilir. Paralel olarak bağlanmış birkaç dizinin (seri bağlanmış PV modülleri) merkezi bir evirici tarafından kontrolüne dayanır. Diziler yeterli voltaj üretirler, böylece DC / DC güçlendirme aşaması anlamına gelen amplifikasyona gerek kalmaz. Ayrıca, MPP kontrolü invertör tarafından gerçekleştirilir [22].

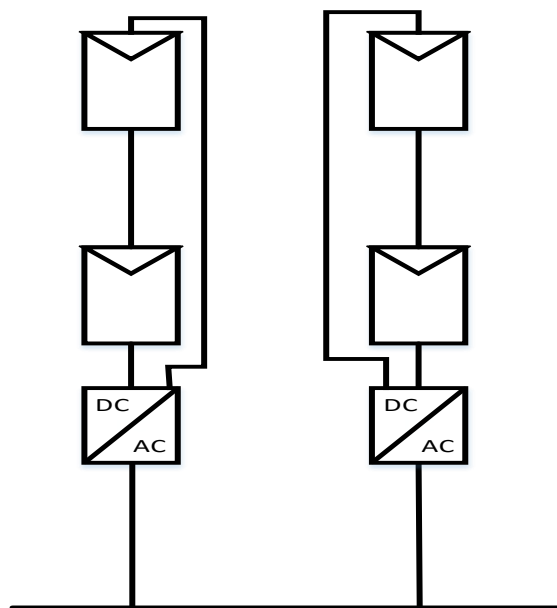
Kaynak [22]'ye göre, merkezileştirilmiş bir MPPT nedeniyle güç kayıpları, PV modülleri arasındaki uyumsuzluk kayıpları, dizi diyotlarındaki kayıplar ve seri üretimin faydalarına ulaşamayan ve esnek olmayan bir tasarım gibi çeşitli dezavantajları mevcuttur. Bunlar, yapılandırmanın reddedilmesinin nedenlerinden bazılarıdır. PV sisteminin Merkezi İnvertör Teknolojisi konfigürasyonu aşağıda Şekil 2.9'da gösterilmektedir.



Şekil 2.9: Merkezi İnvertör Teknolojisi yapılandırması

2.6.2. Dizi (String) İnvertör Metodu

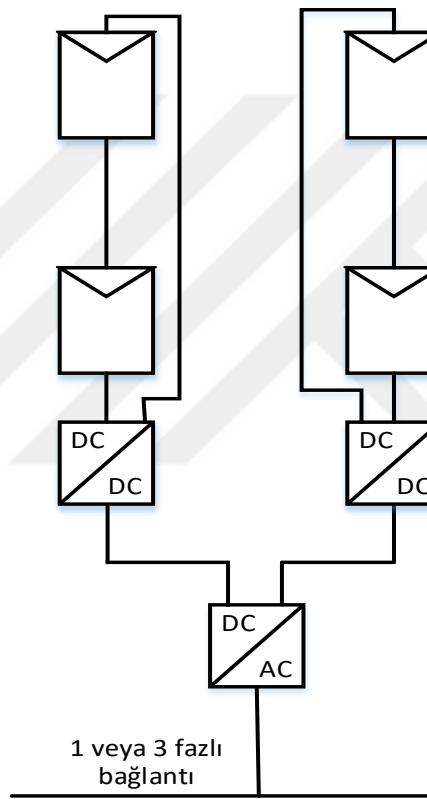
Dizi İnvertör Metodu, önceki konfigürasyonun basitleştirilmiş bir sürümüdür. Aynı şekilde, amplifikasyon aşamasına gerek yoktur çünkü her dizi yeterince yüksek voltaj elde eder. Merkezileştirilmiş eviricilerle ilgili avantaj, telli diyotlarından dolayı güç kayıplarının olmaması ve ayrıca MPP izlemenin her diziye uygulanabildiğinden daha doğru olmasıdır. Böylece, seri üretim sayesinde verimlilik artar ve fiyat düşer [22]. Şekil 2.10 Telli İnvertör Teknolojisinin şemasını göstermektedir:



Şekil 2.10: Dizi İnvertör Teknolojisi

2.6.3. Çoklu Dizeli (Multi String) İnvertörler metodu

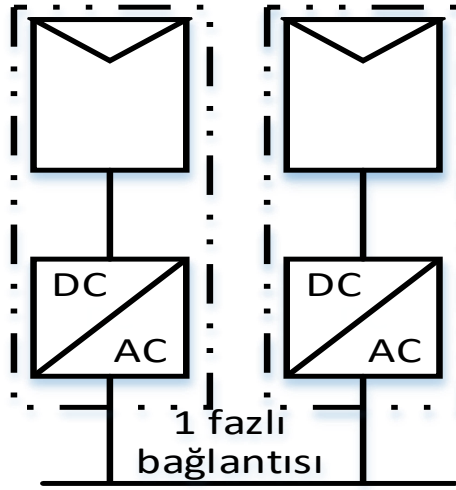
Çoklu dizeli invertörler metodu, dizi çeviriciler teknolojisini geliştirir, böylece her dizinin kendi DC / DC dönüştürücüsü ve merkezi bir dönüştürücüsü olur. Bu nedenle, bir amplifikasyon aşaması olduğundan, gerekli voltajı elde etmek için daha az PV modülü bağlanmalıdır. Ayrıca, serideki hücre sayısının azalması nedeniyle, kısmi gölgelemeye bağlı güç kayıpları da azalır. Şekil 2.11'de gösterilen bu teknolojiye, MPP izleme DC / DC dönüştürücü tarafından gerçekleştirilebilir ve ardından her dizi ayrı ayrı kontrol edilebilir [22]. Bununla birlikte, daha az PV modülüne ihtiyaç duyulmasına rağmen, daha fazla farklı bileşen gereklidir.



Şekil 2.11: Çok Dizeli İnvertör Teknolojisi

2.6.4. AC Modülü Teknolojisi

Şekil 2.12'de gösterilen bu konfigürasyon, PV modülünün ve DC / AC dönüştürücünün yalnızca bir elektrik ünitesine entegrasyonuna dayanmaktadır. Bu nedenle, sadece bir modül olduğundan, modüller arasındaki uyumsuz güç kayıpları ortadan kalkar. Dahası, MPP kontrolü, benzersiz bir birimi izlediği için daha hassastır. Bununla birlikte, bir PV modülünün çok düşük voltajı aynı zamanda yüksek verimlilikle yükseltilmelidir.



Şekil 2.12: AC Modülü Teknolojisi

2.7. Maksimum Güç Noktası İzleme Algoritmalarının İncelenmesi

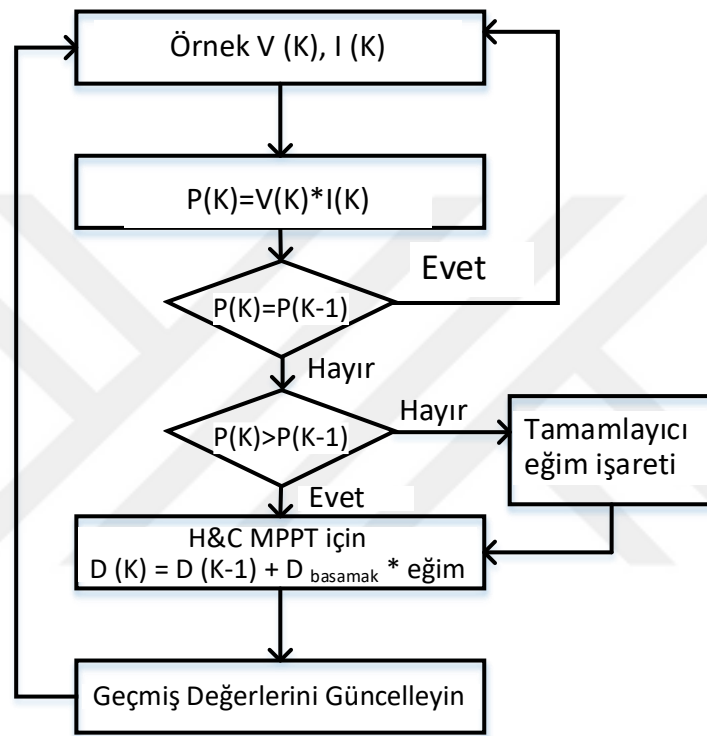
Daha önce tartışıldığı gibi, atmosferik koşulların, özellikle sıcaklık ve ışıının değişmesi nedeniyle, PV panel tarafından üretilen güç değişebilir ve maksimum güç noktasından (MPP) uzaklaşabilir. Sonuç olarak sistem verimi düşer ve maksimum enerjiden yararlanılmaz. Bu nedenle, maksimum güç noktası izleme (MPPT) algoritmaları uygulanır. Literatürde, karmaşıklık, gereken sensörler, yakınsama hızı, maliyet, etkinlik aralığı, uygulama donanımı, popülerlik ve diğer açılardan değişen farklı özelliklere sahip çok sayıda uygulanabilir yöntem mevcuttur. Aslında, Güneş izleme, MPPT algoritmaları ve Dönüştürücü topolojileri, PV sistemlerinden maksimum güç elde etmek amacıyla kullanılmaktadır [4].

Bu tez çalışmasında en çok kullanılan yöntemlerden bazıları herhangi bir sınıflandırma olmadan sunulmuştur. Ayrıca çalışma prensibi anlatılmış, avantajları ve dezavantajları değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, PV sistemlerinden maksimum güç elde etmek için bazı değiştirilmiş versiyonlar önerilmiştir.

2.7.1. Tepe Tırmanma Yöntemi

Tepe Tırmanma (Hill Climbing, HC) yöntemi, ölçümler gerçek zamanlı olarak alındığından ve davranışı hemen sonra açıklanacak olan Küçük Yer Değiştirme (Perturb and Observe, P&O) Yöntemi ile çok benzer olduğundan, doğrudan veya çevrimiçi bir yöntem olarak sınıflandırılabilir. Ayrıca, DC/DC dönüştürücünün görev oranını bir PI denetleyicisi olmadan doğrudan kontrol ettiğinden, bazen doğrudan görev döngüsü tekniği olarak kabul edilir [24].

Temel olarak çalışma prensibi, mevcut PV gücünü (P_{pv}) hesaplamak için PV voltajını (V_{pv}) ve akımı (I_{pv}) periyodik olarak ölçmekten oluşur ve ardından DC / DC dönüştürücünün görev oranında (D) bir bozulma uygulanır, böylece yönü operasyon noktasının MPP'ye yaklaşmasını sağlar [25]. Görev döngüsünün değiştirilmesi doğrudan I_{pv} değerini etkiler ve sonuç olarak V_{pv} 'yi değiştirir. Pertürbasyon yönü, mevcut ve önceki P_{pv} ölçümünün karşılaştırılmasına bağlıdır ve sabit bir adım boyutuna sahiptir. Tepe Tırmanma yöntemi blok diyagramı Şekil 2.13'te görülebilir ve PV çalışma noktasının ilerlemesi Şekil 2.15'te, P&O yöntemiyle aynı şekilde çalışır.



Şekil 2.13: HC Yönteminin Blok Şeması [26].

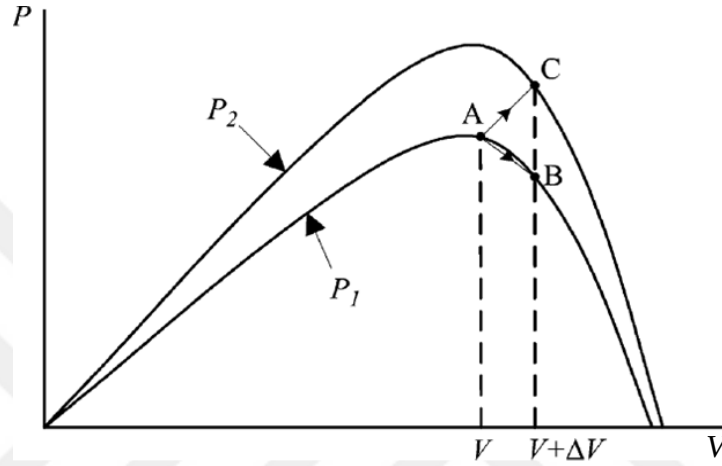
Bu nedenle, P_{pv1} akım ve gerilim değerleri ile hesaplanır. Daha sonra, görev döngüsünde bir karışıklık (ΔD) uygulanır ve buna karşılık gelen bir sonraki güç değeri (P_{pv2}) elde edilir. Böylece, eğer $P_{pv2} > P_{pv1}$ ise operasyon noktaları MPP'ye doğru hareket ediyor ve dolayısıyla yön doğrudur. Ancak, $P_{pv2} < P_{pv1}$ ise, pertürbasyon yönünün tersine çevrilmesi gerekir. Bu davranış 2.7 ve 2.8 denklemlerinde özetlenmiştir:

$$P_{pvk} > P_{pv(k-1)} \quad \Delta D_k = \Delta D(k-1) \quad (2.7)$$

$$P_{pvk} < P_{pv(k-1)} \quad \Delta D_k = -\Delta D(k-1) \quad (2.8)$$

Bu teknik esas olarak kolay uygulanması ve basit hesaplamaları ile karakterizedir [25]. Dolayısıyla, P&O yöntemiyle birlikte, tüm MPPT algoritmaları arasında yaygın olarak uygulanan bir tekniktir [26].

Yine de, HC algoritması bazı dezavantajlar sunmaktadır. Havanın parçalı bulutlu olması gibi çevresel koşulların hızla değişmesi nedeniyle, MPP'den sapmalar görünebilir. Bu, PV dizisinin karakteristik eğrisi değiştiği için üretilir. Kayank [27]'ye göre, bu değişiklik, eğer farklı ışık şiddeti yoğunluğunun neden olduğu güç varyasyonu, pertürbasyon tarafından üretilenlerden daha büyükse, bir sorun haline gelebilir.



Şekil 2.14. MPP'den Sapma [28]

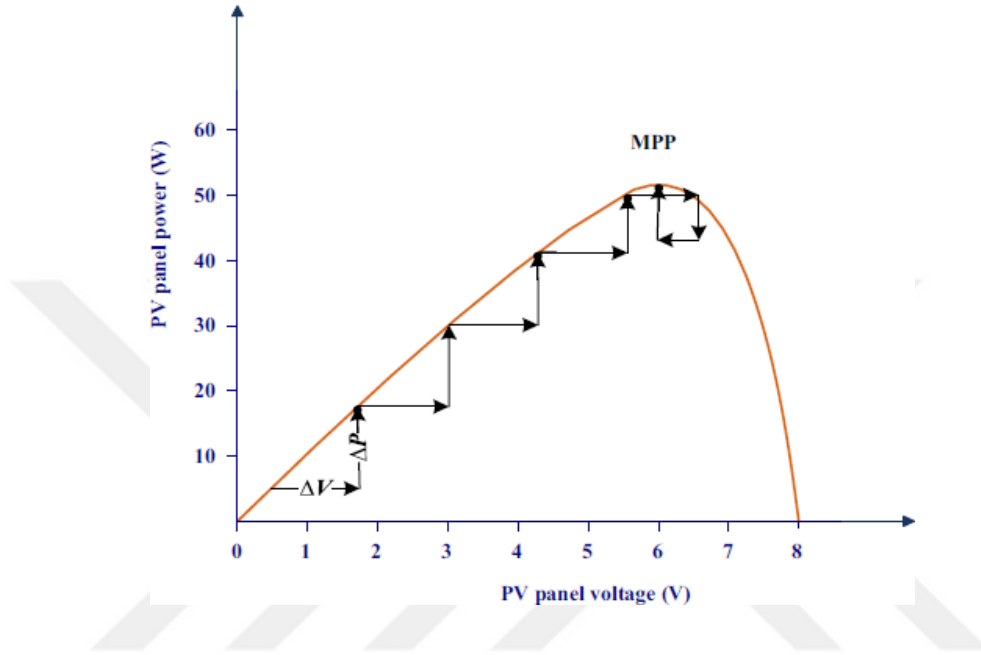
Ek olarak, bu yöntemde uygulanan sabit adım boyutundaki pertürbasyon, hem dinamik hem de kararlı durum yanıt koşullarının karşılanmasını zorlaştırır, çünkü büyük pertürbasyonlar hızlı bir MPP erişimi sağlar, ancak aynı zamanda büyük salınımlara da neden olur. Öte yandan, küçük değişiklikler bu salınımları ortadan kaldırır ancak yavaş bir performans verir. Ayrıca, kısmi gölgeleme, MPP izleyicinin çoklu yerel güç zirvelerinden biri etrafında salınmasına neden olabilir çünkü bu teknik, yerel ve evrensel MPP arasında ayrım yapamaz [24]. Böylece verilen güçte bir azalma yaşanır. Bu nedenle, aynı ilkeye dayanan gelişmiş versiyonlar geliştirilmiştir, böylece bu dezavantajlar ihmal edilebilir düzeydedir.

2.7.2. Küçük Yer Değiştirme (Perturbation) ve Gözlemleme Yöntemi

Pratik olarak HC tekniği gibi çalıştığı için küçük yer değiştirme ve gözlemleme yöntemi, doğrudan veya çevrimiçi bir yöntem olarak sınıflandırılabilir [25]. Bu algoritmalar arasındaki temel fark, tedirgin olan değişkendir.

P&O algoritması, PV dizi geriliminde, yönü pozitif veya negatif, elde edilen önceki güç değerinin bir fonksiyonu olacak bir bozulmanın eklenmesine dayanmaktadır. Bu yöntemin amacı MPP'ye olabildiğince yakın kalmaktır, bu noktaya $dP_{pv} / dV_{pv} = 0$ olduğunda ulaşılır [29].

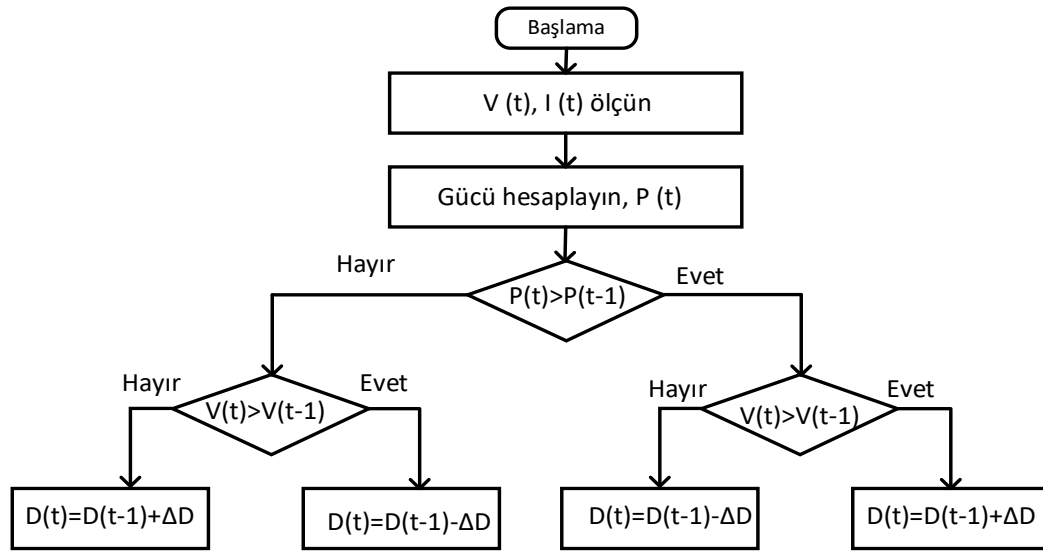
Şekil 2.15'te tekrar gösterilen fotovoltaik panelin $P_{pv} - V_{pv}$ karakteristik eğrisine göre, bir voltaj artışı güç artışına neden olurken, MPP'ye sağ ise güç sisteminde artışa neden olan voltaj düşüştür.



Şekil 2.15. Tepe Tırmanışının PV Çalışma Noktasına Etkisi [25]

Temel çalışması Şekil 2.16'da gösterilen akış şemasında bulunabilir. Bu şemaya göre, eğer PV sisteminin gücü artarsa, MPP'ye ulaşmak için referans voltajın bozulması aynı yönde kalır, PV çıkış gücünde bir azalma varsa bozulma işareti değişir. Bu nedenle, eğim değeri 1 ile -1 arasında değişecektir [26].

P&O tekniği, basitliği ve uygulama kolaylığı nedeniyle en yaygın kullanılanlardan biridir. Dezavantajlarından biri, hava koşullarındaki hızlı değişikliklerden güçlü bir şekilde etkilenmesidir [30]. Ek olarak, diğer dezavantajlar, her ikisi de uygulanan sabit adım boyutunun neden olduğu, bozulma adım boyutu ile artan MPP etrafındaki salınımlar ve oldukça yavaş zaman tepkisidir. Bu nedenle, P&O ve HC yöntemlerinin neredeyse aynı olduğu ve aynı zamanda avantajları ve dezavantajlarının oldukça benzer olduğu görülebilir.



Şekil 2.16. P&O Blok Şeması [31]

2.7.3. Artımlı İletkenlik Yöntemi

Artımlı İletkenlik (Incremental Conductance, INC) yöntemi çevrimiçi veya doğrudan bir teknik olarak kabul edilir çünkü PV hücre parametrelerinin ölçümlerinin gerçek zamanlı olarak elde edilmesi gerekir. Ayrıca, P&O veya HC yöntemi ile birlikte en bilinen ve genişletilmiş MPPT algoritmalarından biridir [32].

Bu yönteme Artımlı İletkenlik (INC) algoritması denilmesinin sebebi MPP'ye göre çalışma noktasının konumunu tahmin etmek için PV sisteminin iletkenliğinin türevinin kullanılmasıdır [32]. Ayrıca, 2.9, 2.10 ve 2.11 denklemlerinde verildiği gibi MPP'deki P_{pv} , V_{pv} eğrisinin eğiminin sıfır, MPP'nin sol bölgesinde pozitif ve sağda negatif olması gerçeğine dayanmaktadır ve Şekil 2.5'te gösterilmiştir.

$$dP_{pv}/dV_{pv} = 0 \quad \text{MPP'de} \quad (2.9)$$

$$dP_{pv}/dV_{pv} > 0 \quad \text{MPP'nin solunda} \quad (2.10)$$

$$dP_{pv}/dV_{pv} < 0 \quad \text{MPP'nin sağında} \quad (2.11)$$

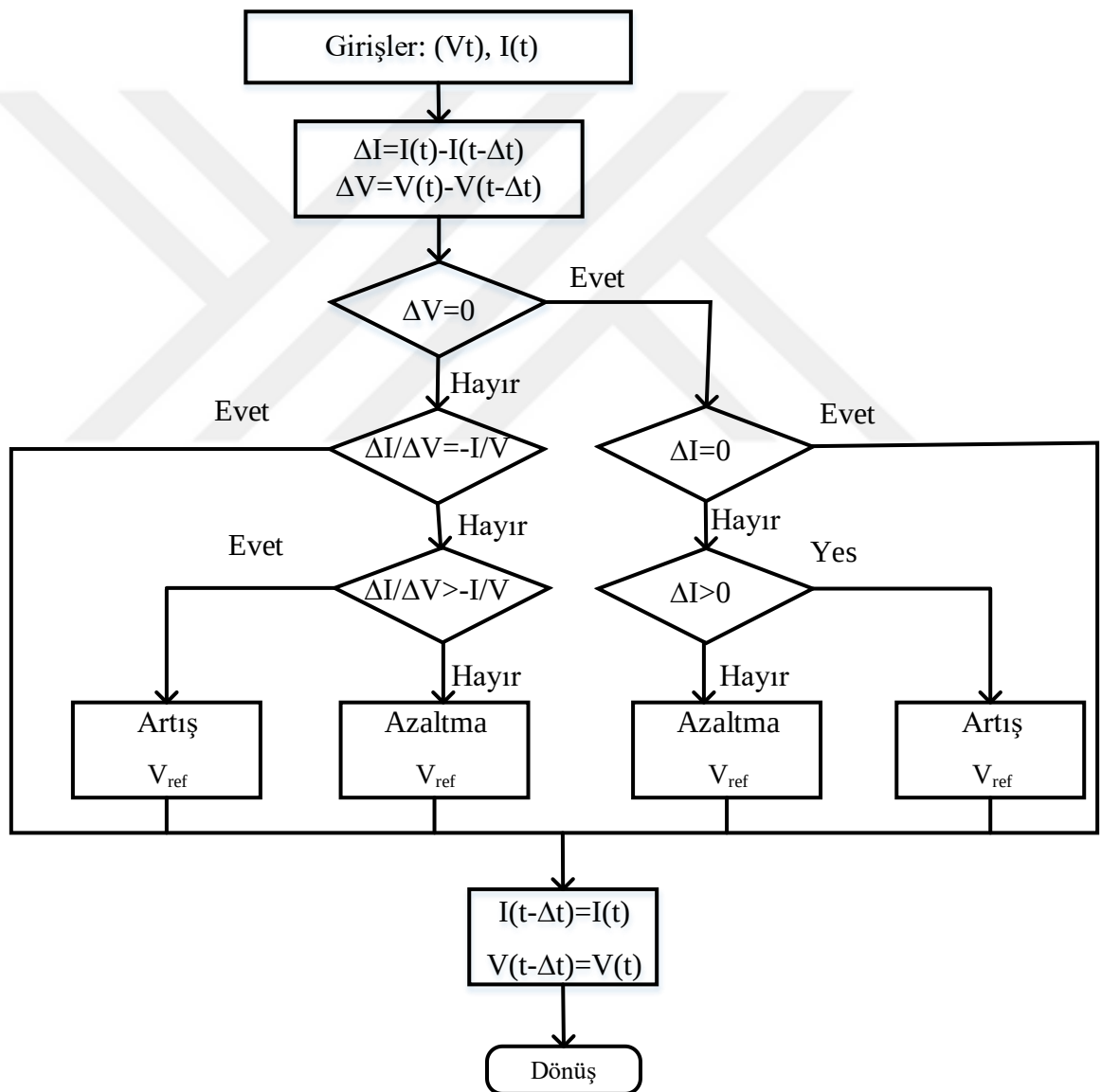
Gücün gerilime göre türevi geliştirilirse ve kaynak [33]'ye göre önceki denklemlerin koşulları uygulanırsa, bu denklemler aşağıdaki gibi yeniden yazılabilir:

$$\Delta I_{pv}/\Delta V_{pv} = -I_{pv}/V_{pv} \quad \text{MPP'de} \quad (2.12)$$

$$\Delta I_{pv}/\Delta V_{pv} > -I_{pv}/V_{pv} \quad \text{MPP'nin solunda} \quad (2.13)$$

$$\Delta I_{pv}/\Delta V_{pv} < -I_{pv}/V_{pv} \quad \text{MPP'nin sağında} \quad (2.14)$$

Bu yöntem anlık iletkenlik (I_{pv} / V_{pv}) ve artımlı iletkenlik ($\Delta I_{pv} / \Delta V_{pv}$) karşılaştırılmasına dayanır. INC algoritmasında ilk olarak mevcut çalışma noktası değerlendirilir ve değişiklik önceki örnekten hesaplanır ($\Delta I_{pv}, \Delta V_{pv}$). Daha sonra, PV modülünün voltajında değişiklikler varsa, PV modülünün MPP'nin solunda veya sağında çalışmasına bağlı olarak, daha yüksek bir seviyede çalışmak üzere hareket etmek için, bir artış veya azalma uygulanacaktır. Gerilimde herhangi bir değişiklik yoksa, modül tarafından üretilen akım değerlendirilir ve MPP izleyici gerilim üzerinde benzer şekilde hareket etmektedir. Çalışma noktasında değişiklik olmaması veya her iki iletkenliğin çakışması durumunda, teorik olarak MPP olan operasyon noktası korunacaktır. INC yöntemi blok şeması Şekil 2.17'de gösterilmektedir.



Şekil 2.17: Artımlı İletkenlik Yöntemi Blok Şeması [33]

Bu yöntem teoride P&O tekniğinden daha iyi bir MPPT algoritmasıdır. Ancak deneysel olarak, ölçümlerdeki gürültü ve hata nedeniyle MPP'ye hiçbir zaman tam olarak ulaşmadığı bulunmuştur, salınımlar ve güç kayıpları meydana geldiğinden ve ayrıca INC algoritması hesaplama süresinin karmaşıklığı P&O'ya göre artar.

Ancak, örnekleme frekansının belirli koşulları altında, INC yöntemiyle çıkarılan güç daha yüksektir ve salınımlar daha düşüktür. Bu nedenle, birkaç artımlı adım örnekleme frekansının değeri iyi seçildiğinde her iki algoritma arasındaki güç ve yanıt süresindeki farklılıklar önemsiz hale gelir.

2.7.4. Kesirli Açık Devre Gerilimi veya Sabit Gerilim Yöntemi

Kesirli Açık Devre Gerilimi (Fractional Open-Circuit Voltage, FOCV) algoritması, MPP'yi izlemek için önceden PV elektrik parametrelerine ihtiyaç duyduğundan dolayı çevrimiçi bir teknik olarak kabul edilir. Bu teknik bazı literatürlerde sabit voltaj yöntemi olarak adlandırılır [34]. FOCV yöntemi, açık devre voltajı (V_{oc}) ile MPP'deki (V_{mpp}) voltaj arasındaki yaklaşık orantılı ilişkiye dayanır. Değişen çevre koşulları altında sağlanmıştır ve denklem 2.15'te tanımlanabilir:

$$V_{mpp} \approx k_v \cdot V_{oc} \quad (2.15)$$

k_v orantılı sabittir. k_v 'nin güneş pili teknolojisine, doldurma faktörüne veya atmosferik koşullara bağlı olması nedeniyle, farklı ışınım ve sıcaklık koşullarında hem V_{oc} hem de V_{mpp} belirlenerek önceden hesaplanması gerekir [35]. Polikristalin PV paneller için yaklaşık olarak k_v 0.7 ile 0.8 arasında değişir. Yine de, PV panelin özelliklerine bağlı olarak yaklaşık 0.9 değerlerine ulaşabilir [25]. Bu nedenle, V_{oc} ölçülerek ve 2.15 denklemi uygulanarak MPP'deki gerilim elde edilebilir. Kaynak [35]'a göre, V_{mpp} 'nin geniş bir parlaklık ve sıcaklık seviyeleri aralığında nispeten sabit tutması beklenir. Son olarak, MPPT kontrolörü, dönüştürücünün görev oranını ayarlanacaktır.

Bir dezavantajı, bu tekniğin gerçek MPP sağlamamasıdır, denklem 2.15 sadece bir yaklaşımdır. Ayrıca kısmi gölgeleme altında güvenilir değildir. Son olarak, V_{oc} , bir saniyenin kesri sırasında yükün bağlantısı kesilerek elde edilir, bu da bir açık devreye neden olduğu anlamına gelir. Böylece, bir miktar güç kaybı meydana gelir ve böylece değiştirilmiş açık devre voltaj yöntemleri geliştirilmiştir [35]. Bununla birlikte, avantaj olarak, bu yöntem karmaşık değildir ve DSP veya mikro denetleyicilere ihtiyaç duyulmadığından uygulanması düşük maliyetler gerektirir. Bu nedenle, doğru bir yöntem olmadığından, hassas bir öncelik olmadığından uygulanır. Ayrıca, hızlı bir tekniktir ve çok sayıda sensöre ihtiyaç duymaz. Son olarak, FOCV tekniğinin düşük ışınım koşullarında daha etkili olduğu varsayılmaktadır [36].

2.7.5. Kesirli Kısa Devre Akımı veya Sabit Akım Yöntemi

Kesirli Kısa Devre Akımı (Fractional Short-Circuit Current, FSCC) algoritması, FOCV tekniğine çok benzediği düşünülerek dolaylı veya çevrimdışı bir teknik olarak da sınıflandırılır. Kaynak [36]'a göre bu algoritma, Sabit Akım yöntemi olarak da bilinmektedir.

FSCC yöntemi, kısa devre akımı (I_{sc}) ile MPP'deki (I_{mpp}) akım arasındaki yaklaşık doğrusal ilişkiyi takip eder ve bu da değişken atmosferik koşullar altında karşılanır ve bu denklem 2.16'da görülebilir:

$$I_{mpp} = k_i \cdot I_{sc} \quad (2.16)$$

k_i , orantılı sabittir. FOCV yönteminde k_v ile aynı şekilde, bu sabit belirli PV panele bağlıdır. Literatüre göre k_i değeri 0,78 ile 0,92 arasında değişmektedir ve hesaplanması oldukça zordur. Ancak, hücre teknolojisine bağlı olarak 0.7 ile 0.9 arasında daha geniş bir aralık önermektedir [25]. Bu nedenle, I_{sc} 'yi ölçerek ve denklem 2.16'yı uygulayarak, MPP'deki akım FOCV yönteminde olduğu gibi elde edilebilir. I_{sc} ölçümleri, görev oranı ve ardından dönüştürücü anahtarının darbeleri kontrol edilerek alınır. İstenen akım, I_{mpp} 'ye ulaşılan kadar bir akım geri besleme döngüsü tarafından kontrol edilmektedir [11].

FSCC yöntemiyle ilgili olumlu nokta, karmaşık olmadığı için çok kolay uygulanabilmesi ve MPP'nin çok hassas olmayan izleme uygulamaları için uygun olmasıdır [37]. Bununla birlikte, bir dezavantajı, bu tekniğin doğru bir MPP sağlamamasıdır, çünkü denklem 2.16, FOCV algoritmasına benzer şekilde sadece bir yaklaşımdır. Yine de, bu yöntem FOCV tekniğinden daha doğrudur [35]. Ayrıca, PV panelini kısa devre yapmak için ek bir anahtar ve akımı ölçmek için bir sensör gerekir. Böylece, maliyetlerin artması için daha fazla üniteye ihtiyaç duyulur ve güç kayıpları da ortaya çıkar. Son olarak, çoklu yerel maksimumlar görünebileceğinden kısmi gölgeleme sorunlara neden olabilir. Böylece güç kaybını önlemek için k_i , PV voltajını açık devreden kısa devreye periyodik olarak süpürerek güncellenmektedir [36].

2.7.6. Bulanık Mantık Kontrolü Yöntemi

Literatürdeki çok sayıda makalelere göre bulanık mantık kontrol (Fuzzy Logic Control, FLC) yöntemi, en yaygın kullanılan MPPT yöntemlerinden biridir. Kaynak [38]'da söylendiği gibi, dolaylı veya çevrimdışı bir yöntem olarak sınıflandırılabilir, ancak kaynak [39]'e göre, yumuşak bir hesaplama tekniği olarak kategorize edilir. Literatürde bazı araştırmaların sınıflandırmasına

göre, yapay zeka (Artificial Intelligence, AI) MPPT tekniğidir, dolayısıyla katı bir sınıflandırma yoktur.

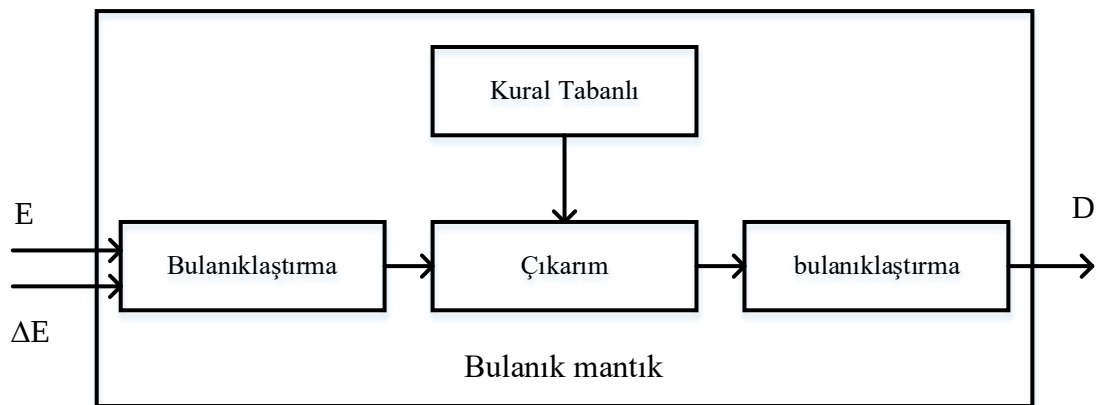
Temel olarak, FLC yöntemi üç aşamaya dayanmaktadır. Şekil 2.18'deki blok diyagramında gösterildiği gibi bulanıklaştırma, çıkarım mekanizması ve kural temel tablosu araması ve bulanıklaştırma (defuzzification). Bulanıklaştırma safhasında, sayısal giriş değişkenleri dilsel değişkenlere dönüşür [40]. Tipik olarak, kontrolörün giriş değişkenleri hata (E) ve hata değişimi (CE veya ΔE) sırasıyla 2.17 veya 2.118 ve 2.19 denklemlerine göre hesaplanır, burada P_{pv} , I_{pv} ve V_{pv} , PV sisteminin gücü, akımı ve voltajıdır ve k, örnekleme anıdır. Hata, PV sisteminin MPP'ye göre çalışma noktasını gösterir ki burada sıfır olmalıdır ve değişimi, bu noktanın $P_{pv} - V_{pv}$ eğrisinde nasıl hareket ettiğini gösterir.

$$E(k) = \frac{P_{pv}(k) - P_{pv}(k-1)}{V_{pv}(k) - V_{pv}(k-1)} \quad 2.17$$

$$E(k) = \frac{P_{pv}(k) - P_{pv}(k-1)}{I_{pv}(k) - I_{pv}(k-1)} \quad 2.18$$

$$\Delta E(k) = E(k) - E(k-1) \quad 2.19$$

Dönüşüm, farklı giriş değişkenleri aralıkları için ayarlanmış üyelik fonksiyonları uygulanarak gerçekleştirilir ve değeri sıfır ile bir arasında değişir [40]. Bu işlevler doğruluğu artırmak için sayı olarak değişebilir, ancak genellikle şu şekildedir: NB (Negatif Büyük), NS (Negatif Küçük), ZE (Sıfır), PS (Pozitif Küçük) ve PB (Pozitif Büyük).



Şekil 2.18. FLC Blok Şeması [40]

İkinci olarak, girişleri hatanın dil değişkenleri ve varyasyonu olan çıkarım aşaması, kontrolörün davranışını tanımlayan kurala dayalı tablonun uygulanmasından sorumludur. Kontrolör çıkışı, dönüştürücünün görev oranını tanımlayan ve yinelemeli olarak hatayı sıfıra

eğilimli yapan dilsel bir değişken olacaktır. Son olarak, bulanıklaştırma aşamasında, ilk aşamada olduğu gibi, sayısal bir çıktı değeri elde etmek için üyelik fonksiyonları uygulanır.

Bu nedenle, FLC yöntemi hatalı girişlerle, doğrusal olmayan sistemlerle veya doğru bir matematiksel model olmadan çalışmak için avantajlıdır [38]. Tasarlaması nispeten basittir ve aynı zamanda hızlı bir kontrol ve MPP'ye ulaştığında küçük salınımlar sağlar. Ayrıca değişen ışık şiddeti altında iyi performans sağlar. Bununla birlikte, bir dezavantajı, deneme yanılma yaklaşımına dayalı yaklaşık çıktılar sağlamasıdır ve bu, üyelik işlevlerini ve çıkarım kurallarını oluşturmak için zaman alıcı olabilir.

2.7.7. Dalgalanma Korelasyon Kontrol Yöntemi

Daha önce tartışıldığı gibi, PV dizileri tarafından üretilen sürekli akım nedeniyle, PV jeneratörü ile şebeke arasında bir DC / AC güç dönüştürücünün bağlantısı gereklidir. Kaynak [31]'e göre, güç dönüştürücünün anahtarlama eylemi, PV dizisine voltaj ve akım dalgalanması uygular ve bu nedenle, bir güç dalgası da oluşturulur. Dalgalanma Korelasyon Kontrolü (Ripple Correlation Control, RCC) algoritması, tek aşamalı konfigürasyona sahip PV sistemlerinde uygulanan bir tekniktir [25]. Bu yöntem, MPP'yi izlemek için inverter tarafından üretilen güç salınımlarından yararlanır. Yüksek geçiren filtreler aracılığıyla voltajı ve güç dalgalanmasını yakalar ve son olarak, INC yönteminde belirtildiği gibi PV dizisi çalışma noktasını tanımlayan dP_{pv} / dV_{pv} 'yi hesaplar [30].

RCC yöntemi, 2.20, 2.21 ve 2.22 denklemleri PV dizisinin karakteristik eğrisinin farklı bölgelerinde karşılandığından, güç gradyanını sıfıra sürmek için gücün zaman türevini voltaj veya akımın zaman türeviyle ilişkilendirir [33]. Gerçek PV voltajıyla karşılaştırılacak PV referans voltajını oluşturmak için bir entegratör kullanılır ve hata sinyali dönüştürücünün PWM modülasyon indeksini değiştirmek için kullanılır [41].

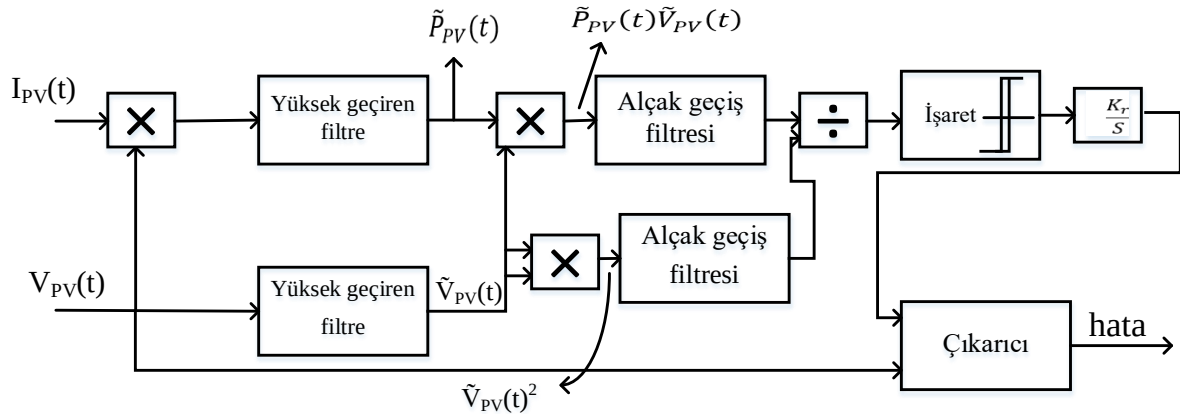
$$\frac{dP_{pv}}{dt} \cdot \frac{dV_{pv}}{dt} = 0 \quad \text{MPP'de} \quad 2.20$$

$$\frac{dP_{pv}}{dt} \cdot \frac{dV_{pv}}{dt} > 0 \quad \text{MPP'nin solda} \quad 2.21$$

$$\frac{dP_{pv}}{dt} \cdot \frac{dV_{pv}}{dt} < 0 \quad \text{MPP'nin sağ} \quad 2.22$$

Avantaj olarak, RCC yöntemi MPP'ye yüksek bir yakınsama hızına sahiptir ve hatta dönüştürücünün anahtarlama frekansına benzer bir değer elde edebilir [25]. Ek olarak, başlatma süresi P&O veya INC yöntemi gibi geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında çok daha düşüktür.

Yöntemi açıklayan blok diyagram Şekil 2.19'da görülebilir; burada I_{pv} , V_{pv} ve P_{pv} , PV akımının, geriliminin ve gücünün anlık değerleri ve $\tilde{V}_{pv}$, $\tilde{P}_{pv}$, gerilim ve güç dalgalanmasıdır.



Şekil 2.19. SSB Blok Şeması [41]

2.7.8. Sistem Salınımları Yöntemi

Sistem Salınımları algoritması RCC yöntemine benzer çünkü esasen filtreler kullanır ve dönüştürücünün performansı nedeniyle yaşanan voltaj salınımlarını ölçer. Bu algoritma, MPP'de sabit olan k_k parametresinin hesaplanmasına dayanır ve PV dizisi V_{pv} 'nin gerilimi ile bir filtre tarafından çıkarılan V_{pv} 'nin tepe dalgalanması arasındaki oran olarak tanımlanır. Bu yöntem, gerilimi ölçmek için yalnızca bir sensöre ihtiyaç duyar ve karmaşık matematiksel hesaplamalar gerektirmez [41].

2.7.9. Akım Tarama Yöntemi

Akım Taraması tekniği, çalışma zamanında PV dizisi parametrelerini ölçtüğü için doğrudan bir yöntem olarak düşünülebilir. Spesifik olarak, bu yöntem bir tarama akımı dalga biçimi kullanır, böylece karakteristik eğri V_{pv} I_{pv} elde edilir ve sabit zaman aralıklarında güncellenir. Akım değerlerden, V_{mpp} hesaplanabilir [42]. Spesifik olarak, kullanılan akım tarama dalga formu, türeviyle doğru orantılıdır, tekniği denklem 2.23'te gösterilir ve sonra çözümü denklem 2.24'tedir:

$$I_{pv}(t) = k_s \frac{dI_{pv}}{dt} \quad 2.23$$

$$I_{pv}(t) = C_1 \exp(t/k_s) \quad 2.24$$

Burada k_s bir orantılılık sabiti ve C_1 , entegrasyon sabitidir. Ayrıca, çıkış gücünün zaman türevi (P_{pv}), denklem 2.25'te gösterildiği gibi MPP'de sıfır olacaktır. Ek olarak, bu denklem V_{mpp} 'yi

hesaplamak ve 2.24 denklemini uygulamak için kullanılabilir. Sonunda, gerçek MPP olup olmadığını kontrol etmek için V_{mpp} 'yi ölçebiliriz.

$$\frac{dP_{pv}}{dt} = \frac{dV_{pv}}{dt} \cdot I_{pv}(t) + V_{pv}(t) \cdot \frac{dI_{pv}}{dt} \Rightarrow \frac{dP_{pv}}{dt} = \left[\frac{dV_{pv}}{dt} \cdot k_s + V_{pv}(t) \right] \cdot \frac{dI_{pv}}{dt} \quad 2.25$$

Bu yöntemin avantajları arasında gerçek MPP elde etme yeteneği mevcuttur. Bununla birlikte, süpürme sırasında güç kayıpları gözlenir ve bu teknik, yalnızca güç tüketimi MPPT tekniği ile elde edilen artıştan daha az ise uygulanabilir kabul edilir. Dahası, hesaplama karmaşıklığı yüksektir ve bu nedenle MPP'ye ulaşmak için yakınsama hızı düşüktür. Ayrıca gerilim ve akımın her ikisi de ölçülmelidir. Bu yöntem kaynak [42]'de daha derinlemesine geliştirilmiştir.

2.7.10. DC-Link Kapasitör Düşüş Kontrol Yöntemi

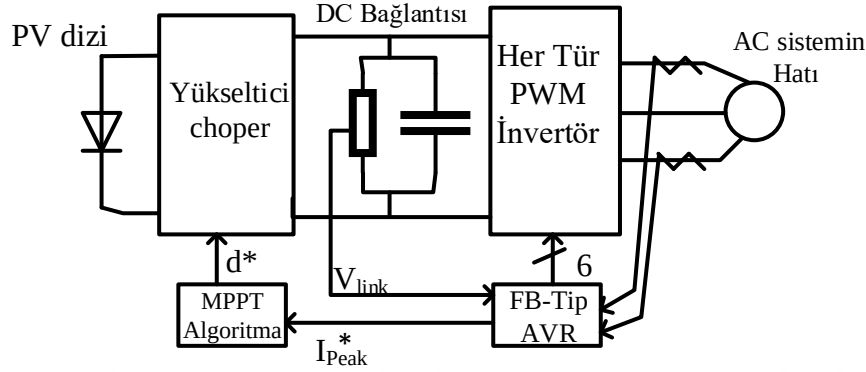
Ayrıca, bazı durumlarda, voltaj seviyesini yükseltmek ve sızıntıyı önlemek için önceki adımdaki gibi bir DC / DC yükseltici dönüştürücü eklenir. DC-bağı Kapasitör Düşüş Kontrolü Yöntemi, RCC algoritmasından farklı şekilde, esas olarak iki dönüştürme aşamasına sahip sistemlerde kullanılır ve DC bağlantısındaki güç dengesine dayalı bir MPPT yöntemi önerir. Kaynak [43] 'e göre, kararlı durumda, güneş dizisinin üretilen gücü ile sistem tarafına gelen rejeneratif güç bir dengeye sahip olmalıdır.

Bu yöntemde, invertör tarafının akımı, yani AC akımının genliği ($I_p \cdot e_{ak}$) değiştirilerek, PV dizisi tarafından iletilen güç kontrol edilir. Bunun için, yükseltici dönüştürücünün (V_{link}) çıkış voltajı sabit tutulmalıdır ve görev oranının kontrolü yoluyla, $I_p \cdot e_{ak}$ maksimize edilir. Takviye dönüştürücü için kararlı durum koşulundaki görev oranının ifadesi, denklem 2.26'da gösterilmiştir.

$$d^* = D = 1 - \frac{V_{pv}}{V_{link}^*} \quad 2.26$$

Bu nedenle, AC hat akımının genliği artırılırsa, yükseltici dönüştürücü tarafından sağlanan güç ve dolayısıyla P_{pv} de yükselir. Bu nedenle, invertörün ihtiyaç duyduğu güç P_{mpp} 'den düşükse, güç artan akımla artar, V_{link} ise sabit kalır. Bununla birlikte, MPP'nin üstesinden gelindiğinde, V_{link} sarkmaya başlar ve DC bağlantısındaki güç dengesi kaybolur, böylece AC hat akımı dengeyi geri kazanmak için geri beslenir ve görev oranını değiştirilmesile, çalışma noktası MPP'ye doğru yönlendirilir. Algoritmanın şematik diyagramı Şekil 2.20'de görülebilir. Bu yöntemin uygulanması çok kolaydır. Çünkü güç hesaplamasını gerektirmez ve geleneksel yöntemlerin aksine bir sensörün kullanımı, mantıksal kararlar veya arama tabloları ihmal edilebilir. Bununla

birlikte, birkaç operasyonel amplifikatör kullanılır, karşılık, gücü doğrudan hesaplayan yöntemlere kıyasla azalmıştır [43].



Şekil 2.20. DC-Link Kapasitör Düşüş Kontrol Blok Şeması [43]

2.7.11. Beta (β) Yöntemi

Beta (β) algoritması hibrit yöntem olarak sınıflandırılabilir, ki denklem 2.27'de tanımlanan bir ara değişken olan beta, MPP'ye yaklaşmak için bir parametre olarak kullanılır [44].

$$\beta = \ln \left(\frac{I_{pv}}{V_{pv}} \right) - c \cdot V_{pv} \quad 2.27$$

I_{pv} ve V_{pv} 'nin güncel PV akımı ve voltajı olduğu ve c diyot sabitidir, $q / (nN_sKT)$ olarak tanımlanır, burada q temel yüküdür, N_s seri bağlı PV hücrelerinin sayısıdır, n ise diyot ideallik faktörü, K , Boltzman sabiti ve T , Kelvin cinsinden sıcaklıktır.

Bu algoritmanın blok diyagramı Şekil 2.21'de görülebilir. I_{pv} ve V_{pv} ölçülerek, β 'nın mevcut değeri periyodik olarak hesaplanır. β (β_{min} , β_{max}) aralığı içindeyse, çalışma noktasının MPP'ye yakın olduğu anlamına gelir, böylece doğruluğu artırmak, MPP'de çalışmak ve kararlı durumda salınımları azaltmak için sabit boyutlu adımla geleneksel yöntemlerden birinin uygulandığı ikinci aşama başlatılır. Aksi takdirde, çalışma noktası MPP'den hala uzaktır, bu nedenle ilk aşamaya devam edilir ve değişken boyutlu adımlar uygulanır. Adım büyüklüğü değerini hesaplamak için, a ve ortalama aralık değeri (β_g) arasındaki farktan kaynaklanan hata denklem 2.28'de görüldüğü gibi kullanılır [44].

$$X_{new} = X_{old} + (\beta_a - \beta_g) \cdot kb \quad 2.28$$

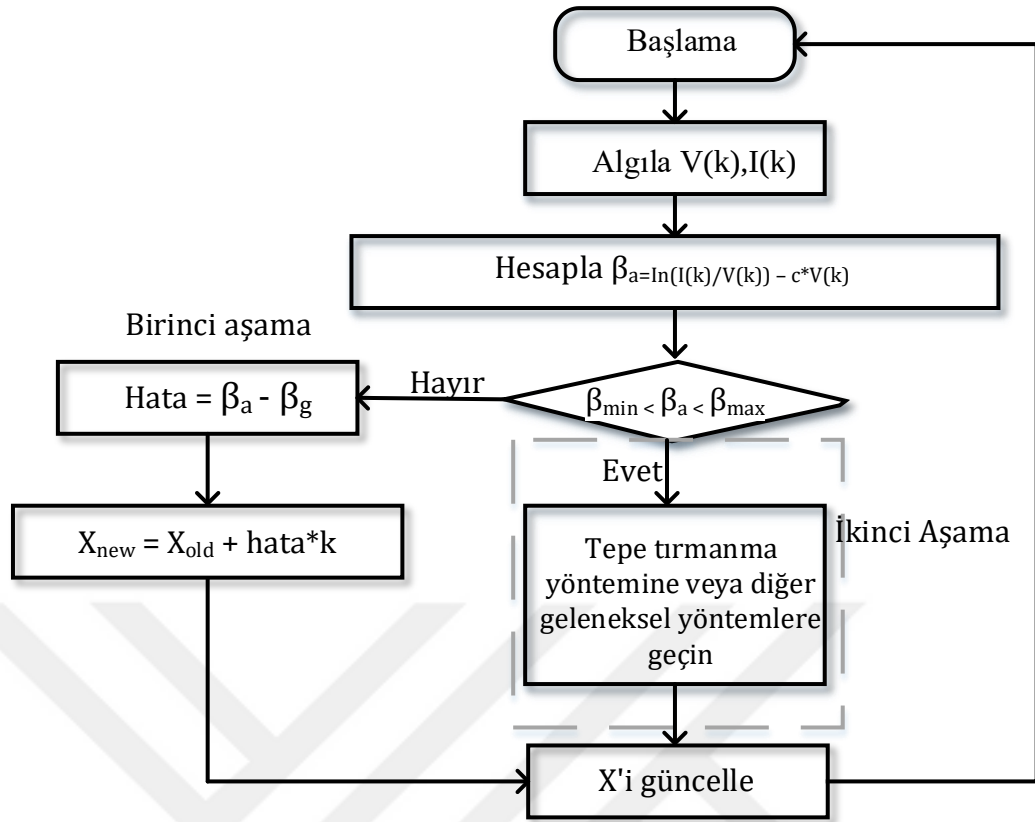
Xnew ve Xold, sırasıyla yeni ve eski adım boyutu ve kb ise ölçek faktörüdür. Bu nedenle, yukarıda açıklanan işlemi uygulamak için aralık (β_{min} , β_{max}) hesaplanmalıdır. β aralığı çalışma koşullarına, ışıma (G) ve sıcaklığa (T) bağlıdır çünkü MPP bunlara göre değişir [45]. Yine de, dar bir aralıktır, çünkü β MPP etrafında nispeten sabit kalır çünkü pratikte G ve T'den bağımsızdır [38]. Bu nedenle, PV dizisinin bilinen parametreleri aracılığıyla ve farklı G ve T koşulları için farklı değerler hesaplanır ve aralık belirlenir. Tablo 2.2'de, daha önce tartışılan depend bağımlılığı gözlemlenebilir.

Tablo 2.2: G ve T için β değerleri

Numara	Işınlama	Sıcaklık	β
1	1000 W/m ²	45 ⁰ C	-15.4505
2	1000 W/m ²	5 ⁰ C	-18.3431
3	300 W/m ²	45 ⁰ C	-15.9587
4	300 W/m ²	5 ⁰ C	-19.0214

Özetlemek gerekirse, β parametresini hesaplayarak, çalışma noktasına hızlı bir şekilde MPP'ye yaklaşılabılır, büyük yinelemeli adımlar uygulanabilir ve daha sonra, küçük sabit adımlarla geleneksel yöntemlerden birine geçilerek tam MPP elde edilebilir.

Beta yönteminin avantajlarından biri, mevcut MPPT algoritmaları arasındaki iki tipik sorunu çözmesidir. Bir yandan, kararlı durumdaki salınımlar ile geçici aşamadaki davranış arasındaki değişim elde edilir ve diğer yandan, doğruluğu ve hesaplama karmaşıklığını telafi eder. β parametresiyle çalışarak, sabit adım boyutu yöntemleriyle kombinasyon nedeniyle başlangıçta kararlı durumda düşük salınımlarla birlikte hızlı bir izleme hızı elde edilir. Ayrıca, bu yöntemin uygulanması orta düzeyde karmaşıktır [44]. Ancak, bu sonuçları elde etmek için, HC, P&O veya INC gibi diğer geleneksel yöntemlerle kombinasyon gereklidir ve ayrıca PV dizisinin parametrelerini bilmek zorunludur [30].



Şekil 2.21. β Yöntem Blok Şeması [44]

2.7.12. Eğri Uydurma Yöntemi

Eğri Uydurma Yöntemi, MPP'yi izlemek için deneysel verilere ihtiyaç duyduğundan, dolaylı bir teknik olarak düşünülebilir. Temel olarak, bu algoritma, PV dizisinin karakteristik eğrisinin tahmininden ve yukarıda bahsedilen eğrinin maksimumu olarak MPP'nin hesaplanmasından oluşur [35].

İlk olarak, bir polinom fonksiyonu aracılığıyla, PV dizisinin doğrusal olmayan karakteristik eğrisi çevrimdışı olarak modellenir. Eğriyi yaklaşık olarak belirleme hassasiyeti, seçilen polinom fonksiyonunun derecelerine bağlıdır. Denklem 2.29'da gösterildiği gibi üçüncü dereceden bir polinom kullanılmıştır [46]:

$$P_{pv}(V_{pv}) = a_1 \cdot V_{pv}^3 + a_2 \cdot V_{pv}^2 + a_3 \cdot V_{pv} + a_4 \quad 2.29$$

Burada a_1 , a_2 , a_3 ve a_4 bu polinom fonksiyonunun katsayılarıdır ve V_{pv} , PV dizisinin voltajıdır. bu katsayıları elde etmek için birkaç PV akımı, voltajı ve gücü örneği gereklidir. Daha sonra MPP, denklem 2.30'da görülebileceği gibi denklem 2.29 türetilerek elde edilecektir. [39]'a

göre, gücün de PV sıcaklığına bağlı olması nedeniyle, değiştirilmiş bir eğri uydurma yöntemi mevcuttur ve dördüncü derece bir polinom önerilmiştir.

$$\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} = 0 \Rightarrow V_{mpp} = \frac{-a_2 \pm \sqrt{a_2^2 - 3a_1a_3}}{3.a_1} \quad 2.30$$

Bu tekniğin bir avantajı basitliğidir çünkü hesaplamalar karmaşık değildir. Bununla birlikte, dezavantajlar olarak, PV elektrik parametrelerinin önceden bilinmesi gereklidir ve ayrıca basitleştirilmiş versiyonda, atmosferik koşullardaki değişiklikler hesaba katılmaz, bu da PV özelliklerinde değişikliklere neden olabilir [46].

2.7.13. Tarama Tablosu Yöntemi

Tarama tablosu (Look-Up Table, LUT) yöntemi, dolaylı veya çevrimdışı bir teknik olarak sınıflandırılır, çünkü farklı atmosfer koşullarında PV malzemesi veya PV elektrik parametreleri gibi PV özellikleri, bunu uygulamak için önceden gereklidir.

Temel olarak, LUT algoritması, farklı çevre koşullarına karşılık gelen birkaç MPP'nin daha erken hesaplanmasından ve bunun MPPT kontrol sisteminin belleğinde depolanmasından oluşur. Daha sonra, çalışma durumunda, PV gücünü elde etmek için V_{pv} ve I_{pv} ölçülür ve daha sonra bu değer, mevcut atmosferik ışıyım ve sıcaklık koşullarına karşılık gelen MPP ile karşılaştırılır. Son olarak, bir PI denetleyicisi, MPP'ye ulaşmak için DC / DC dönüştürücünün görev oranını uyarlar.

Bu nedenle, LUT tekniğinin bir avantajı, değişen çevre koşulları altında doğru sonuçlar vermesidir. Bununla birlikte, elde edilen tüm önceki verilerin depolanması için büyük bir belleğe ihtiyaç mevcuttur ki bu, istenen daha yüksek doğrulukta bile artar ve ayrıca, bu izleme yöntemi belirli bir PV sistemine uygulandığından, PV modülünün önceden bilinmesi gerekir. Dezavantajı, bu yöntemin hızının yavaş olmasıdır.

2.7.14. Sıcaklık Metodu

Yukarıda açıklandığı gibi, kısa devre akımı (I_{sc}), açık devre voltajı (V_{oc}) sıcaklıkla birlikte yaptığı için ışıyımına bağlı olarak değişir. Bu varyasyon, Bölüm 2.4'te görünen Şekil 2.5 ve 2.7'de görülebilir. Bu nedenle, MPP'deki (V_{mpp}) voltaj, FOCV yönteminin açıklamasında gösterildiği gibi (V_{oc}) ile doğru orantılı olduğundan, aynı zamanda sıcaklığa da bağlıdır.

Bu nedenle, MPPT Sıcaklık Yöntemi, (V_{mpp}) 'nin sıcaklığa göre sunduğu bağımlılığa dayanmaktadır. Bu nedenle, bu algoritmayı uygulamak için PV sıcaklığı ölçülür ve denklem 2.31 uygulanır [39]:

$$V_{mpp}(t) = V_{mpp}(T_{ref}) + T_{Kvoc} \cdot (T - T_{ref}) \quad 2.31$$

T_{ref} 'in standart test koşulları sıcaklığı olduğu durumlarda, T , çalışma PV sıcaklığıdır ve T_{Kvoc} , sıcaklık katsayısıdır. Bunun için düşük maliyetli bir sıcaklık sensörü kullanılır. Böylece MPPT, sıcaklık değişimlerinden bağımsız olarak tatmin edilebilir [30].

Bu algoritmanın avantajı, uygulama kolaylığı ve düşük maliyetidir. Ancak, PV hücresindeki düzensiz sıcaklık dağılımı ve sensörün kalibrasyon hatası nedeniyle sıcaklık ölçümü yanlış olabilir. Ayrıca, küçük PV dönüştürücülerinde düzensizlik önlenemez [30].

2.7.15. Diğer MPPT Teknikleri

Önceden, literatürde en genişletilmiş MPPT algoritmalarından bazıları açıklanmıştı. Bununla birlikte, mevcut yöntemlerin önleyemediği sorunları çözmek için birçok başka MPPT tekniği geliştirilmiştir. Sonraki listede, literatürde bulunan bazı MPPT teknikleri sıralanmıştır:

Parazitik Kapasitans Yöntemi

Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) Yöntemi

Durum Uzay Temelli Yöntem

dP / dV veya dP / dI Geri Besleme Kontrolü / Farklılaştırma Yöntemi

Yük Akımı veya Yük Gerilimi Maksimizasyon Yöntemi

Ekstremum Arama Kontrol (ESC) Yöntemi

Slayt Kontrol Yöntemi

MPPT amacıyla kullanılan çok sayıda algoritma literatürde bulunabilir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, PV panelden alınan çıkış gerilimini artırmak için PV modeli DC / DC boost dönüştürücüye bağlanır ve ardından yüke yükseltilmiş DC gerilim verilir. Bu durumda, maksimum güç noktası izleme (MPPT), DC-DC boost dönüştürücü tarafından kontrol edilir. Dönüştürücünün çıkış voltajı, görev döngüsü oranı ile kontrol edildiğinden, voltajı gereken noktada tutmak için bir PID kontrolörü kullanılır. Bu tez çalışmasında kullanılan tüm bileşen malzemeleri ve yöntemler bu bölümde detaylı olarak anlatılmıştır.

3.1. Fotovoltaik Sistem Modeli

MATLAB Simulink'te bulunan PV dizi bloğu, PV dizi modeli olarak kullanılmıştır. PV dizisi bloğu, Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) Sistem Danışmanı Modelinden mevcut PV modelinin seçilmesini sağlar. PV dizisi modeli, paralel bağlanmış dizeler olarak uygulanır. Dizi modülü, seri bağlı modüller ile oluşturulmuştur. PV dizi modülünün ana girdileri olarak güneş yoğunluğu ve hücre sıcaklığı değerleri dikkate alınır. Modellemede kullanılan PV panelin özellikleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1: PV panelin özellikleri

Maksimum Güç (W)	305.226
Açık Devre Gerilimi (V)	64.2
Kısa Devre Akımı (A)	5.96
MPP'de Gerilim (V)	54.7
MPP'de akım (A)	5.58
Modül başına hücre	96
Dizi başına seri bağlı modül	5
Paralel bağlı dizeler	66

Seri bağlı bir güneş modülleri seti "dizi" olarak adlandırılırken, bir çerçeveye monte edilmiş bir fotovoltaik hücre grubuna modül adı verilir. Hücrelerin ve modüllerin bağlantısı hem seri hem de paralel olarak yapılır, bir seri bağlantıda panel daha yüksek bir çıkış voltajı verirken, paralel bir bağlantıda çıkış akımı yüksek olacaktır [47].

Güneş ışıınımı ve sıcaklık, panelin girişlerdir, çıktı, ışıınımla doğru orantılıyken, dolaylı olarak sıcaklıkla orantılıdır. Tablo 3.2, IR ve T'nin panel çıktısı üzerindeki etkisini göstermektedir.

Tablo 3.2: PV panelin Giriş ve Çıkışları

Giriş		Verim	
İşıma (W/m ²)	Sıcaklık (°C)	Voltaj (V)	Akım (A)
30.97540405	30.97540405	314.8376765	0.314837677
35.46881519	35.46881519	309.9291118	0.309929112
39.64888535	39.64888535	308.0347301	0.30803473
39.70592782	39.70592782	305.8343804	0.30583438
34.85375649	34.85375649	312.2434667	0.312243467
31.41886339	31.41886339	314.8716929	0.314871693
39.15735525	39.15735525	307.0715377	0.307071538
39.59492426	39.59492426	307.6679155	0.307667916

Tablo 3.2 ışıınım ve sıcaklığın çıktıyı nasıl etkilediğini gösterir, dolayısıyla, bu tez çalışmasında PV panelinden maksimum güç elde etmek için voltaj kontrol edilmiştir. Bu çalışmada hedeflenen çıkış voltajı panel voltaj çıkışından daha yüksek alınmıştır, bu nedenle DC voltajı istenen çıkışa yükseltmek için DC/DC boost dönüştürücü kullanılmıştır.

3.2. DC-DC Boost Dönüştürücü

Dönüştürücüler, doğru akım gerilimini bir seviyeden başka bir seviyeye dönüştürmek için yapılan, istenen çıkış gerilimini vermek için kontrol edilen devrelerdir. PV hücrelerinin kullanımında daha iyi verimlilik için DC-DC dönüştürücüler kullanılır [3]. MOSFET ve IGBT, dönüştürücülerde anahtarlama cihazları olarak kullanılmıştır. Dönüştürücü verimliliği aşağıdaki gibi hesaplanır:

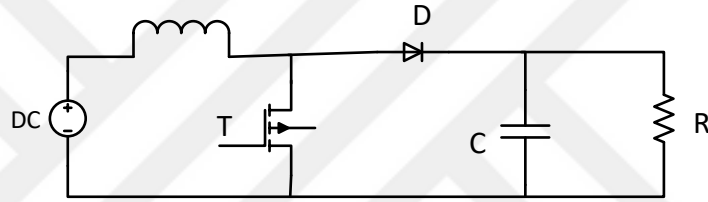
$$\eta_{\text{converter}} = \frac{V_{\text{out}} * I_{\text{out}}}{V_{\text{in}} * I_{\text{in}}} = \frac{V_{\text{in}} * I_{\text{in}} - P_{\text{loss}}}{V_{\text{in}} * I_{\text{in}}} \quad (3.1)$$

V_{out} , I_{out} , çıkış voltajı ve akımı, V_{in} , I_{in} giriş voltajı ve akımıdır ve P_{loss} , dönüştürücünün güç kaybıdır. Farklı uygulamalar için kullanılan farklı dönüştürücü topolojileri mevcuttur ki DC voltajını düşürür ya da DC voltajını yükseltir. DC-DC dönüştürücüde anahtarlama amacıyla kullanılan MOSFET ve IGBT'nin anahtarlama görev döngüsü ile yapılır [4]. Bu tez çalışmasında anahtarlama elemanlarının kontrolü veya DC-DC dönüştürücülerin kontrolü, hemen ardından anlatılacak olan PID kontrolör ile yapılmıştır.

Gerekli çıkış voltajı yüke göre değişir. Kaynak voltajından daha düşük voltaj gerekiyorsa, voltajı düşüren Buck dönüştürücü topolojisi kullanılır. Bu dönüştürücüde, çıkış voltajı giriş voltajından düşükken çıkış akımı girişteki akımdan daha yüksek olacaktır. Verimliliği %90'ın üzerindedir [3].

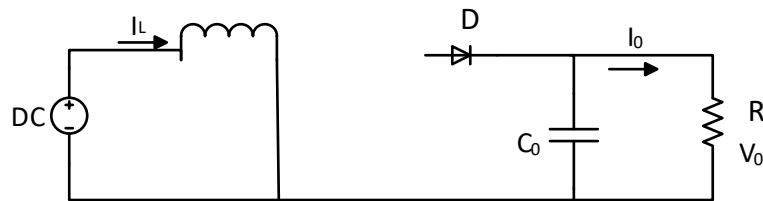
Yük için gereken voltaj değişiyorsa ve bu da yüke sağlanan voltajda değişikliklere neden oluyorsa, DC-DC Buck-Boost dönüştürücü kullanılır. Bu dönüştürücü topolojisi hem buck hem de Boost dönüştürücü olarak çalışır, voltajı artırır veya voltajı düşürür. Çıkış voltajı, dönüştürücünün görev döngüsü tarafından kontrol edilir. Görev döngüsü %50'den yüksekse, dönüştürücü bir Boost dönüştürücü olarak çalışacaktır, aksi takdirde Buck dönüştürücü olarak çalışacaktır [4].

DC-DC Boost dönüştürücü topolojisi, giriş voltajından daha yüksek bir çıkış voltajına sahiptir ve PV hücrelerinden maksimum gücü çıkarmak için kullanılan dönüştürücü topolojilerinden biridir [3]. Şekil 3.1, boost dönüştürücünün devre şemasını göstermektedir. bu dönüştürücünün iki çalışma modu ve tasarım denklemleri aşağıda açıklanmıştır.



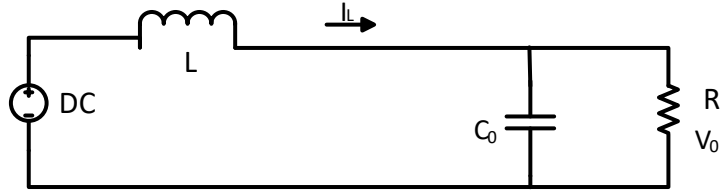
Şekil 3.1. Boost dönüştürücünün devre şeması

Yükseltici dönüştürücü iki modda çalışır, Şekil 3.2 ve 3.3, yükseltici dönüştürücünün iki çalışma durumunu gösterir. Şekil 3.2, anahtarın (S1) açıldığı ($t = t_{on}$) bir yükseltici dönüştürücünün çalışma durumunu gösterir, bu sırada indüktör 'IL' üzerinden geçen akım doğrusal olarak yükselir ve sıfırdan büyüktür, çıkış akımı (S1) ton zamanı boyunca yükü beslemek için yeterince büyük kapasiteye sahip çıkış kondansatörü ile beslenir.



Şekil 3.2. Yükseltici dönüştürücünün Durum 1 çalışması

İkinci durum, anahtar (S1) kapatıldığında ($t = t_{off}$) başlar, bu durumda akım indüktör, kapasitör ve yükten geçer. Bu toff durumunda, indüktörde depolanan enerji yüke iletilir ve kondansatör bir sonraki döngü için enerji depolar, boost dönüştürücünün bu modu Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Yükseltme dönüştürücünün 2.Durum çalışması

Eq. (3.2), yükseltici dönüştürücünün çıkış voltajını (V_o) gösterir:

$$V_o = \frac{V_s}{1-D} \quad (3.2)$$

V_o , çıkış voltajı, D , yükseltici dönüştürücü için görev döngüsü ve V_s , kaynak voltajıdır.

Arttırma endüktansı, izin verilen maksimum dalgalanma akımına göre seçilir. Tepe indüktör akım dalgalanması Denklem (3.3) ile hesaplanır.

$$\Delta I = \frac{V_s * D}{F_s * L} \quad (3.3)$$

L bir indüktördür ve F_s , yükseltici dönüştürücünün anahtarlama frekansıdır ve anahtarlama süresi Denklem (3.4) ile verilmiştir.

$$\delta = \frac{V_s * D}{V_o - V_s} \quad (3.4)$$

Yükseltici dönüştürücü çıkışı, düşük frekansın yüksek frekansları geçmesine ve bloke etmesine izin veren bir düşük geçiş filtresi ile filtrelendir, bu topoloji iki sürekli ve süreksiz modda çalışır, sürekli yükseltici dönüştürücü modunda indüktör akımı (I_L) her zaman sıfırdan büyüktür sürekli olmayan modunda akımın genliği çok yüksek iken, indüktör tüm komütasyon döngüsünün bitiminden önce tamamen boşaltılabilir, bu genellikle hafif yüklerde meydana gelir.

Aşağıdaki Tablo 3.3'te çıkış voltajının giriş voltajından daha yüksek olduğu bir DC-DC Yükseltici dönüştürücünün çalışmasını göstermektedir.

Tablo 3.3: Yükseltici dönüştürücünün giriş ve çıkış voltajları

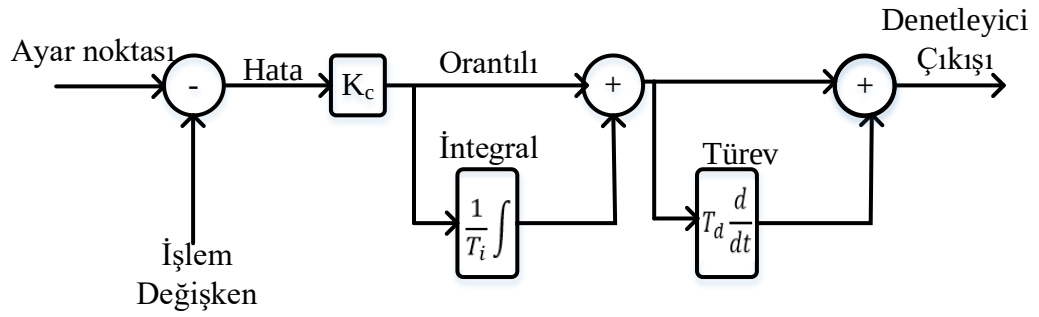
Giriş voltaj (V)	Çıkış voltaj (V)
37.57740131	124.5261429
37.43132468	124.0294838
33.9222702	112.0987318
36.5547789	121.0492364
31.71186688	104.5831539
37.06046088	122.7682831
30.31832846	99.84514682
32.76922985	108.1784056
30.46171391	100.3326549
30.97131781	102.0655217

Tablo 3.3'te giriş değiştikçe çıkış voltajı da değişir ancak panelden maksimum güç çekilirken çıkış sabit ve gerekli bir noktada olmalıdır, bu nedenle çıkış voltajını kontrol etmek için bu nedenle çıkış voltajını kontrol etmek için PID kontrolörü kullanılmıştır. PID kontrolör eğer giriş voltajı değişiyorsa bile çıkış voltajı sabit tutulacak ve aynı kalacaktır.

3.2. PID kontrolör

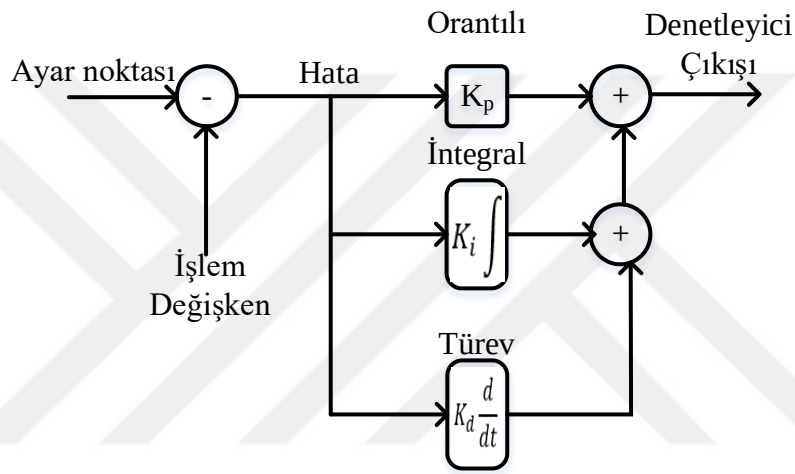
PID kontrol şeması, toplamı işlenen değişkeni (MV) oluşturan üç düzeltme teriminden sonra adlandırılır. Orantılı, integral ve türev terimler toplanarak PID kontrol cihazının çıkışını hesaplar. Orantılı, integral ve türev terimler toplanarak PID kontrol cihazının çıktısının hesaplanması sağlanır. (t) 'yi kontrolör çıkışı olarak tanımlayan Orantılı, İntegral ve Türev modları, üç farklı kontrol algoritması veya kontrolör yapısı şeklinde düzenlenmiştir. Bunlara Etkileşimli, Etkileşimli Olmayan ve Paralel algoritmalar denir. Bazı denetleyici üreticileri, denetleyici yazılımında bir yapılandırma seçeneği olarak farklı denetleyici algoritmaları arasında seçim yapmanıza izin verir [48].

Şekil 3.4.a, 3.4.b ve 3.4.c kontrolör yapılarının blok diyagramlarıdır ve denklem 3.5, 3.6 ve 3.7 sırasıyla bu kontrolör algoritmalarının formülleridir.



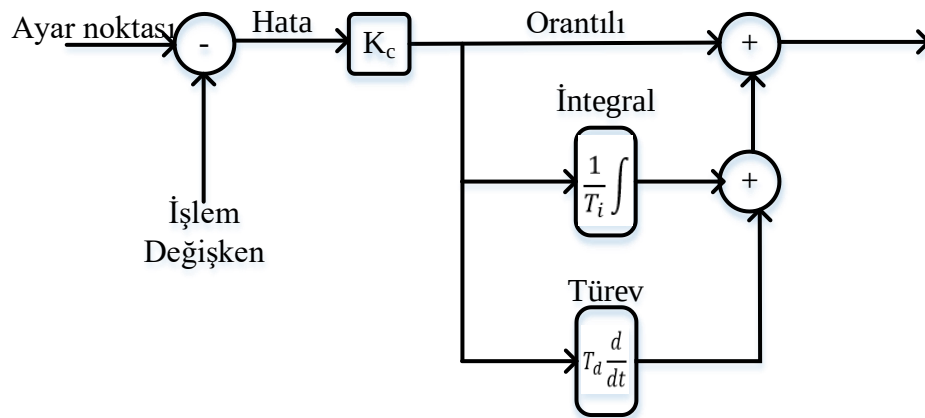
Şekil 3.4.a. Etkileşimli algoritma

$$u(t) = K_c [e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau] \times [1 + T_d \frac{d}{dt} e(t)] \quad 3.5$$



Şekil 3.4.b. Etkileşimli olmayan algoritmala

$$u(t) = K_c [e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{d}{dt} e(t)] \quad 3.6$$



Şekil 3.4.c. Paralel algoritma [48]

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad 3.7$$

$K_p = K_c$: Oransal Kazanç

$K_i = K_c/T_i$: İntegral Kazanç

$K_d = K_c T_d$: Türev Kazanç

$e(t) = r(t) - y(t)$

Her parametrenin verim üzerinde bir etkisi mevcuttur, bu nedenle bu etki aşağıdaki Tablo 3.4' te verilmiştir:

Tablo 3.4: Parametreyi bağımsız olarak artırmanın etkisi

Parametre	Yükselme Zamanı	Aşma	Yerleşme Zamanı	Kararlı Durum Hatası	Kararlılık
K_p	Azalır	Artışlar	Küçük değişim	Azalır	Düşer
K_i	Azalır	Artışlar	Artışlar	Elemek	Düşer
K_d	Küçük Değişiklik	Azalır	Azalır	Etkisi yok	K_d küçükse geliştirir

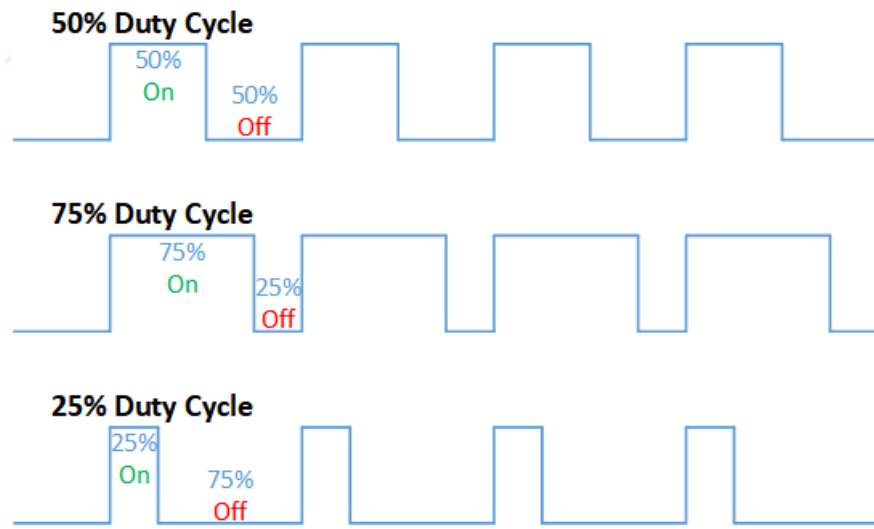
Bu tez çalışması, PV panelin güç çıkışı üzerinde yoğunlaşmıştır ve MPP elde etmek için sistemi binlerce kez çalıştırmalıyız, dolayısıyla sistemi tekrar çalıştırmak yerine Matlab'da bulunan NNTTOOLS kutusu zamandan tasarruf etmek için kullanılmıştır ve GA, ABC ve TLBO ise parametre optimizasyonları için kullanılmıştır.

3.3. Darbe Genişliği Modülasyonu

PWM, bir elektrik sinyalinin sağladığı ortalama gücü etkili bir şekilde ayrı parçalara bölerek azaltmanın bir yöntemidir. Yüke beslenen ortalama voltaj değeri, besleme ve yük arasındaki anahtarı hızlı bir oranda açıp kapatarak kontrol edilir. Anahtar kapalı olduğu zamanla kıyasla ne kadar uzun süre açık kalırsa, yüke sağlanan toplam güç o kadar yüksek olur. PWM, ataletlerinin yavaş tepki vermesine neden olduğu için bu ayrık anahtarlardan kolayca etkilenmeyen motorlar gibi atalet yüklerini çalıştırmak için özellikle uygundur. PWM anahtarlama frekansı, yükü etkilemeyecek kadar yüksek olmalıdır; yük tarafından algılanan sonuçta ortaya çıkan dalga biçiminin mümkün olduğunca pürüzsüz olması gerektiği anlamına gelir [49].

Güç kaynağının değişmesi gereken hız (veya frekans), yük ve uygulamaya bağlı olarak büyük ölçüde değişebilir. PWM'nin temel avantajı, anahtarlama cihazlarındaki güç kaybının çok düşük olmasıdır. Bir anahtar kapalıyken neredeyse hiç akım yoktur ve açıldığında ve güç yüke aktarılırken, anahtar boyunca neredeyse hiç voltaj düşüşü olmaz. Gerilim ve akımın ürünü olan güç kaybı, bu nedenle her iki durumda da sıfıra yakındır. PWM, açık / kapalı yapıları nedeniyle gerekli görev döngüsünü kolayca ayarlayabilen dijital kontrollerle de iyi çalışır. PWM, görev döngüsünün bir iletişim kanalı üzerinden bilgi iletmek için kullanıldığı belirli iletişim sistemlerinde de kullanılmıştır [49].

Görev döngüsü, 'açık' sürenin düzenli aralık veya 'dönem' ile oranını tanımlar; Düşük görev döngüsü, güç çoğu zaman kapalı olduğu için düşük güce karşılık gelir. Görev döngüsü yüzde olarak ifade edilir, %100 tamamen çalışır durumda. Zamanın yarısında ve diğer yarısında bir dijital sinyal olduğunda, dijital sinyal %50'lik bir görev döngüsüne sahiptir ve bir "kare" dalgayı andırır. Bir dijital sinyal açık durumda kapalı durumdan daha fazla zaman harcadığında, %50'nin üzerinde bir görev döngüsüne sahiptir. Bir dijital sinyal, kapalı durumda açık durumdan daha fazla zaman harcadığında, %50'nin altında bir görev döngüsüne sahiptir. Şekil 3.5, bu üç senaryoyu gösteren bir resimdir:



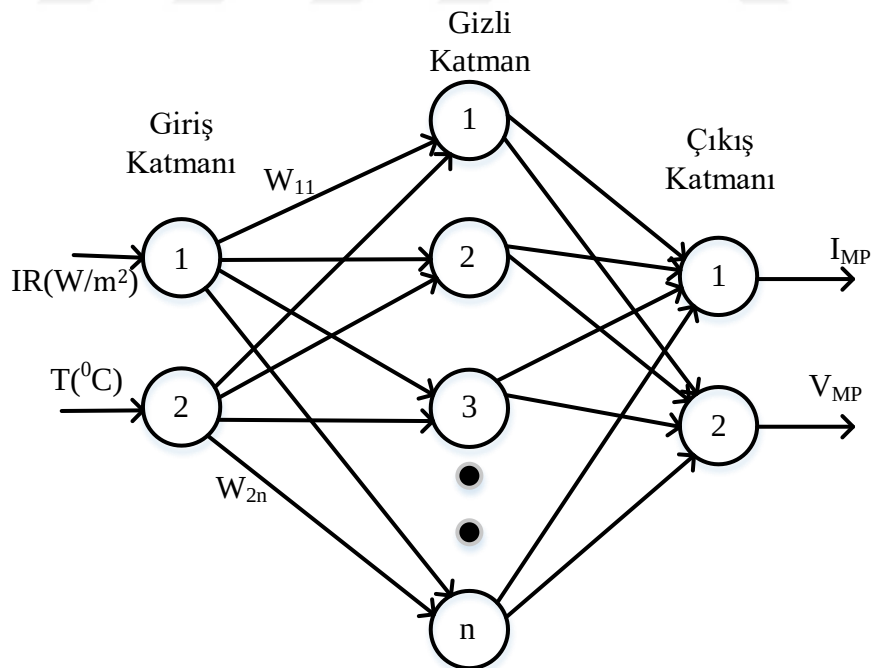
Şekil 3.5. Görev döngüsü senaryoları

DC-DC Boost konvertöründen gerekli çıkış gerilimini almak ve sistemden daha iyi çıkış alabilmek için görev döngüsü tarafından kontrol yapılır.

3.4. Yapay Sinir Ağı

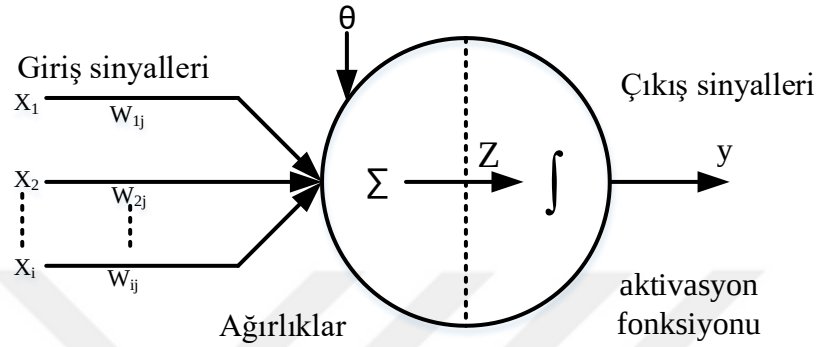
Yapay sinir ağı (YSA), dolaylı bir yöntem veya yapay zeka yöntemi olarak sınıflandırılabilir. İnsan beynine benzer yapıdaki ve benzer şekilde çalışan insan yapımı bir sistemdir [50]. YSA yöntemi, merkezi sinir sistemine dayanmaktadır. Bu teknik, karmaşık ve doğrusal olmayan fonksiyonlarla modellenen ve ağırlıkları (w_i), bir süre boyunca PV sisteminin girdileri ve çıktıları incelenerek belirlenen bir dizi elektrik nöronuna dayanmaktadır. Bu nedenle YSA yöntemi, ağ kararlı durum dengesine ulaşmaya kadar ağırlıkların güncellendiği bir adaptasyon süresine ihtiyaç duyar [51]. Bu nedenle, makine öğrenimi yapabilen bir sistem olarak düşünülebilir. Açıklık getirmek için, ağırlık w_{ij} 'in, nöron j 'ye göre i girişine karşılık geldiği belirtilmektedir[50].

Sinir ağları eğitilebilir. Eğitim süresi boyunca, sinaptik ağırlıklar güçlendirilir veya zayıflatılır, böylece YSA, belirli bir girdi modeline önceden belirlenmiş bir çıktı tepkisi ile tepki verebilir. Her iki nöron arasındaki bağlantının gücü sinaptik bir ağırlık ile tanımlanır. Eğitimin başlangıcında, sinaptik ağırlıklar rastgele değerlere ayarlanır. Tipik, basit bir YSA yapısında, girdi örüntüleri YSA'nın girdilerine sıralı olarak sokulur ve istenen doğrulukta karşılık gelen çıktı örüntülerine ulaşmak için veya önceden belirlenmiş sayıda yineleme adımı yapılana kadar sinaptik ağırlıklar değiştirilir [52].



Şekil 3.6. Sinir Ağı Şeması. [52]

Şekil 3.6'da gösterilen YSA, üç katmana sahiptir: Giriş, gizli ve çıkış katmanları. İlk nöron katmanına ($n = 0$) giriş katmanı denir. Giriş katmanı, daha fazla işlem yapmadan, öncelikle giriş sinyallerini bir sonraki (ikinci) katmanın girişlerine dağıtır. İkinci katmanda, giriş sinyalleri belirli bir şekilde işlenir ve ardından sonraki katmanlara doğru yoluna devam eder. Ağdaki son katmana çıktı katmanı denir [52]. Giriş katmanı ile çıkış katmanı arasındaki katmanlara gizli katmanlar denir, Şekil 3.7 YSA'nın elektriksel nöron diyagramını gösterir.

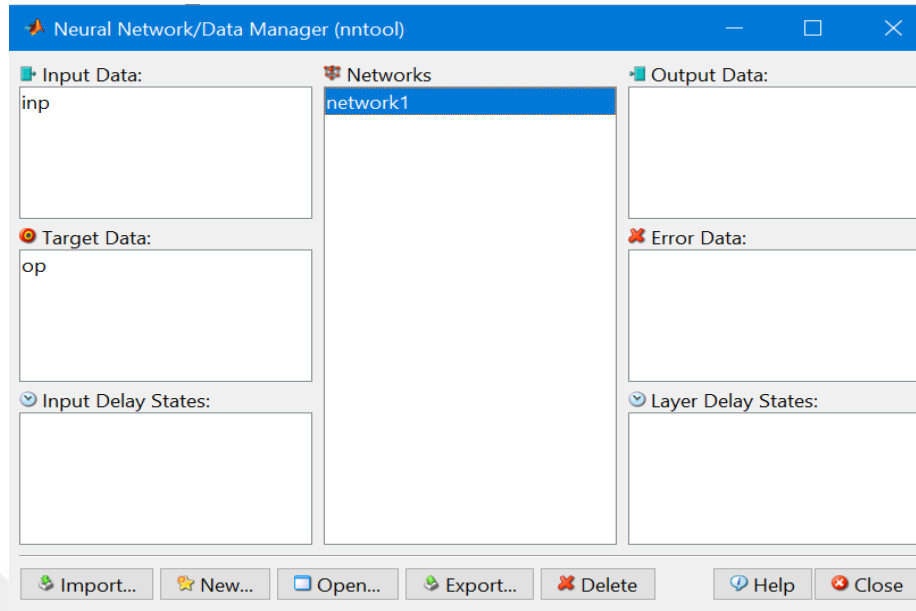


Şekil 3.7. Elektrik Nöron Şeması [50].

Öğrenme sadece sinaptik ağırlıklardan değil, hatta önyargıların değerinden de etkilenir. Bir önyargı, bir nöronun çıkış sinyalinin giriş sinyallerinden bağımsız olarak belirli bir seviyesini ayarlar.

Eğitim aşaması bittiğinde (YSA, uygun çıktı modellerini üreterek girdi modellerine tepki verebildiğinde), YSA modelleme için kullanılabilir. Modelleme döneminde YSA, eğitim sırasında YSA'ya eklenen bilgileri sinaptik ağırlıkların ve önyargıların değişen değerleri şeklinde kullanır.

Şu anda birçok sinir ağı türü geliştirilmiştir. Bu YSA'lar mimarileri açısından farklılık gösterir (tek nöronların ağına bağlanması), nöronların türüne göre değişiklik gösterebilir, farklı öğrenme yollarından yararlanabilirler, vb.

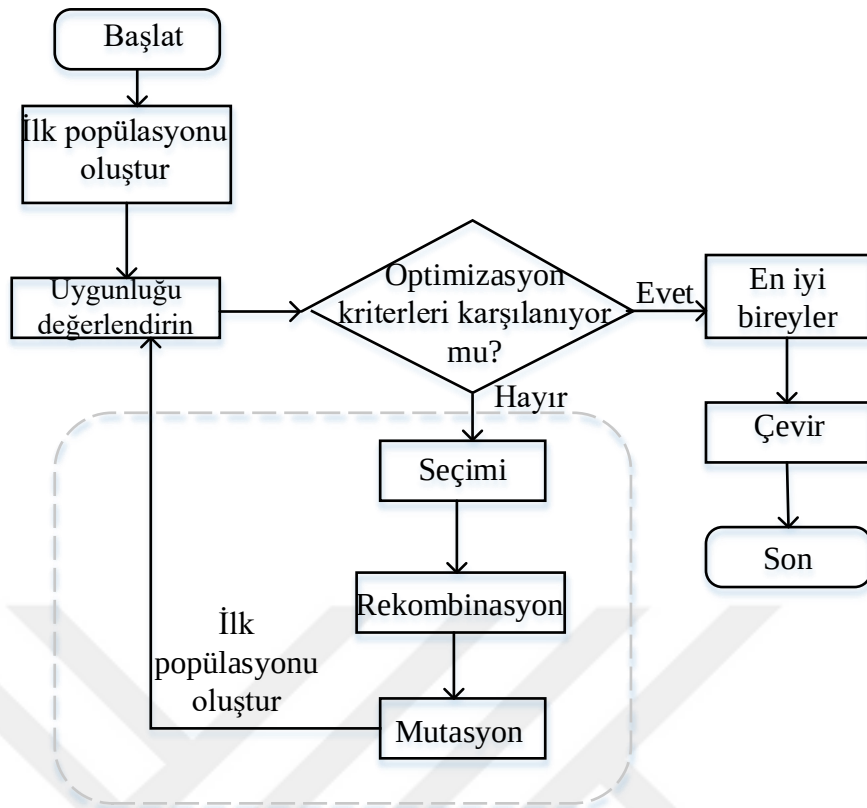


Şekil 3.8. NNTOOL ekran görüntüsü

Bu tez çalışmasında, Şekil 3.8'de gösterilen NNTOOLS'taki bir ağ, bir PV sistemi olarak çalışmak üzere eğitildi, bu ağ, hedeflenen PV sisteminin alınan örnekleriyle eğitildi. Bu, optimizasyon parametrelerini kolayca optimize etmemize yardımcı olur ve daha az zaman tüketir.

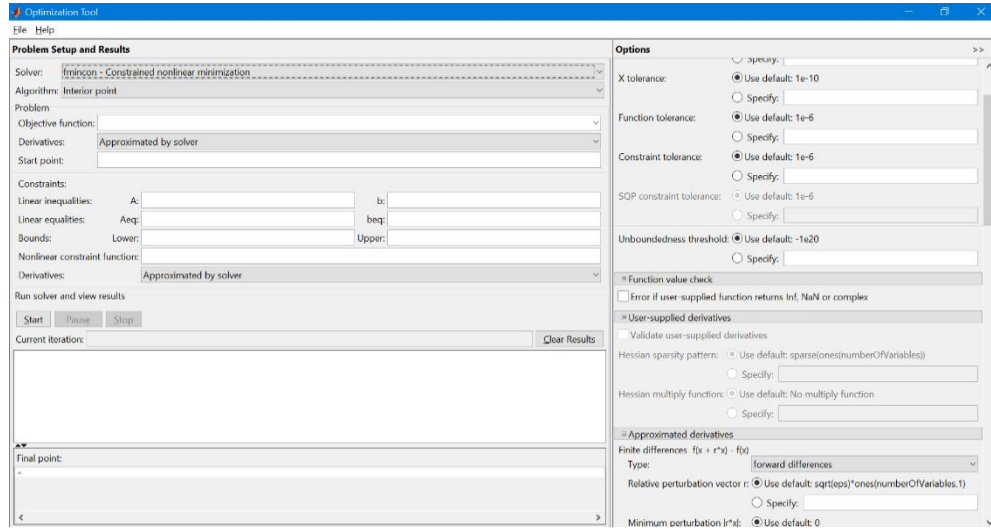
3.5. Genetik Algoritma

GA, biyolojik evrim sürecine benzeyen bir optimizasyon yöntemidir. Bu yöntemle, kromozom adı verilen bir dizi aday çözüm değerlendirilir. Daha sonra rekombinasyona uğrarlar veya bir mutasyon sürecinden geçerler. Son olarak, popülasyonun her üyesi, her birinin iyiliğini yansıtmak için kullanılan bir uygunluk işlevi için test edilir [53]. GA, seçim, geçiş ve mutasyon olmak üzere üç temel operatöre dayanır. Seçim sürecinde, daha yüksek uygunluk değerlerine sahip kromozomların, sonraki neslin popülasyonuna dahil edilmek üzere seçilmesi muhtemeldir. Ancak, mutasyon operatörü, fotovoltaiik MPPT algoritmasında, yanıt yakınsaması ve salınımların azaltılması üzerindeki etkisine bakılmaksızın dikkate alınmaz. Bu durumda, her güneş ışıması değişikliğinden sonra yeni MPP'yi aramak için GA işleminin yeniden başlatılması zorunludur. Şekil 3.9, en iyi sonuçları elde etmek ve optimize etmek için GA'nın çalışmasını göstermektedir.



Şekil 3.9. Basit GA'nın standart prosedürü [53]

GA'ların artan popülaritesi, birçok klasik matematiksel programlama yönteminin başarısız olduğu karmaşık problemleri çözmek için sağlamlıkları ve verimliliklerine bağlanabilir [54]. Etkin olarak kabul edilecek bir optimizasyon yöntemi, iki süreç arasında optimal bir denge sağlamalıdır: yeni, faydalı çözümler arama (keşif) ve bu çözümlerin kullanımı ve yayılması (sömürü) [55]. GA'larda, tüm meta-sezgisel yöntemlerde olduğu gibi, keşif ve sömürü arasında en iyi dengeyi sağlayan algoritmanın yapılandırmasını bulmak önemsiz olmasa da, işlev optimizasyonu için GA kullanımının çok çeşitli problemler için iyi çözümler sağladığı kanıtlanmıştır, dolayısıyla bu çalışmada amaçları optimize etmek için kullanılmıştır.



Şekil 3.10. Optim Tools araç kutusu

Şekil 3.10'da gösterilen optim tools araç kutusu Matlab'da mevcuttur ve bu tez çalışmasında optimizasyon yapmak için Genetik Algoritma için Optim Tools kutusundan yararlanılmıştır.

3.6. Yapay Arı Kolonisi (ABC)

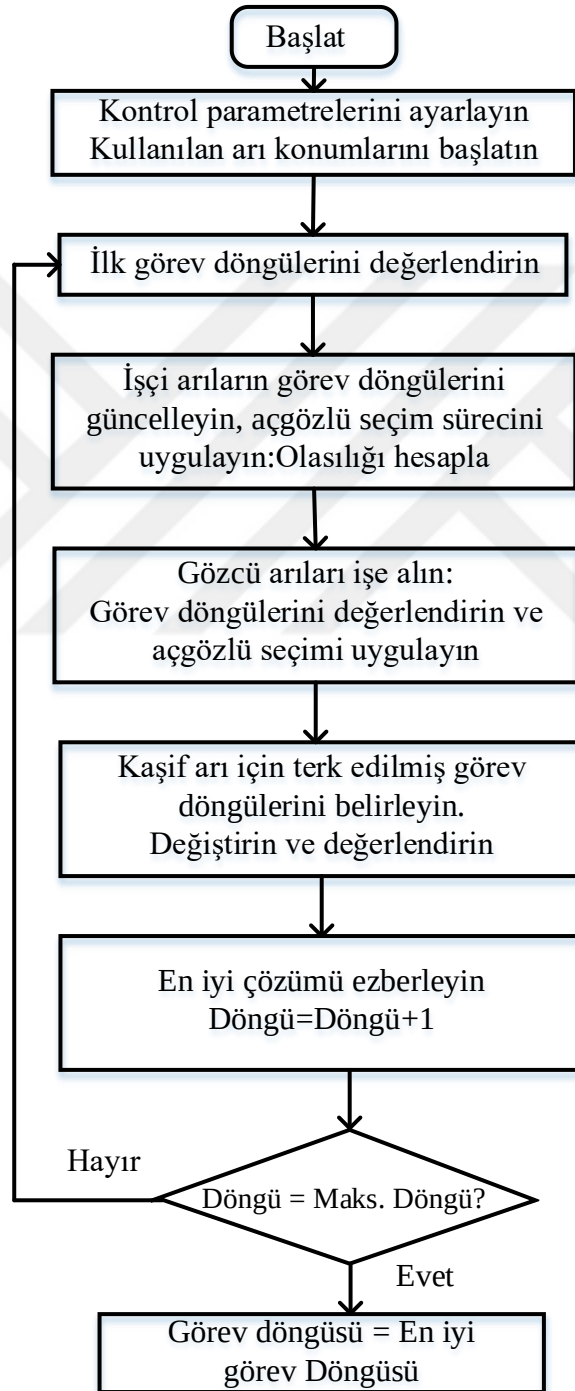
Karaboga tarafından 2005 yılında geliştirilen ABC algoritması, doğal arıların davranışına dayanmaktadır [56]. Birçok alanda çok boyutlu ve çok modlu optimizasyon problemlerinin üstesinden gelmek için geliştirilmiştir meselâ elektrik mühendisliğinde: optimum güç akışı, güneş sisteminin optimum boyutlandırılması, kontrol mühendisliği ve optimum tasarım yaklaşımları için mekanik alanda kullanılmıştır.

Algoritma üç bölümden oluşur: görevli arı fazı, gözcü arı fazı ve kâşif arı fazı. İstihdam edilen toplayıcılar, yiyecek kaynaklarını araştırmaya giderler ve bu bilgileri, sallanma dansı olarak bilinen dans medyası aracılığıyla gözcü arılar olan kovanda bekleyen arılarla paylaşırlar. Besin kaynağı terk edilen görevli arı, keşif arı olur ve tekrar besin aramaya başlar. Parametre Başlatma, Nektar miktarı değerlendirmesi, Çalışan arı aşaması, kâşif arı aşaması ve gözcü arı aşaması, aşağıda kısa açıklaması verilen ABC algoritmasının aşamalı sürecidir.

Parametre başlatma işleminin bu aşaması, koloni boyutunu, kullanılan, gözcü ve kâşif arıların sayısını ve maksimum döngü sayısını başlatır. Olası her çözüm, maksimum ve minimum sınırları dahilinde üretilir. İkinci adım üretilen popülasyonun nektar miktarını amaç fonksiyonuna göre değerlendirir, bundan sonra istihdam edilen arı aşamasında istihdam edilen toplayıcılar yeni besin kaynaklarını değerlendirir, gözcü arı evresinden daha son kâşif arıda

olasılığa dayalı olarak istihdam edilen arının besin kaynağını seçer. Aşama aşama döngü sonunda besin kaynağı geliştirilemeyen çalışan arı, kaşif aracı olur ve kullanarak rastgele yeni bir besin kaynağı arar.

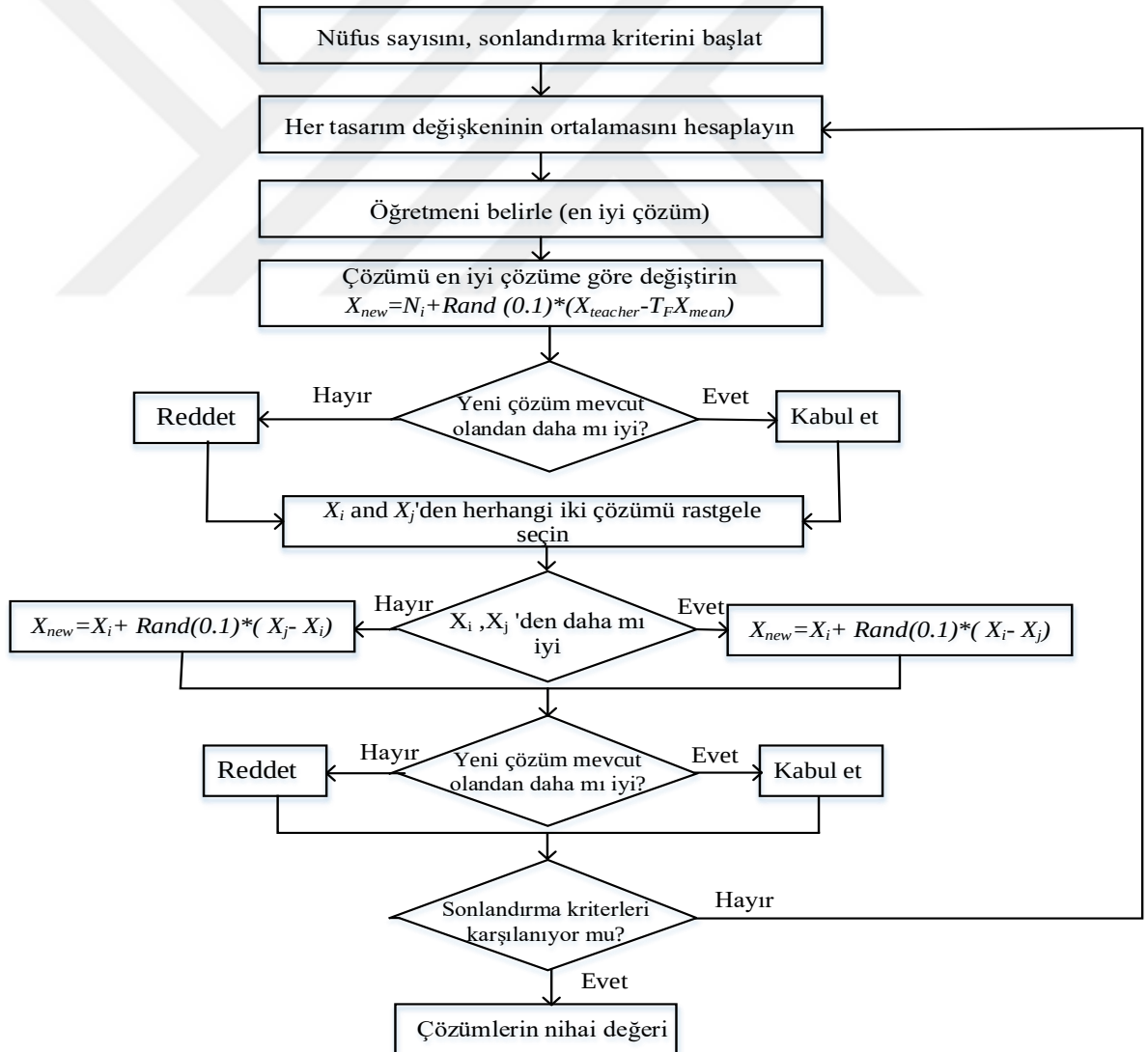
Şekil 3.11'de gösterilen ABC algoritması diğerlerinden daha hızlı çalışır ve optimizasyon için kullanılan en iyi algoritmalarından biridir. Bu tez çalışmasında optimizasyon amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 3.11. ABC algoritmasının akış şeması

3.7. Öğretme-Öğrenmeye Dayalı Optimizasyon (TLBO)

TLBO, bir öğretmenin sınıftaki öğrencilerin çıktıları üzerindeki etkisine dayanan öğretme-öğrenme sürecinden ilham alan bir algoritmadır. Algoritma iki temel öğrenme modunu açıklar: (i) öğretmen aracılığıyla (öğretmen aşaması olarak bilinir) ve (ii) diğer öğrencilerle etkileşime girerek (öğrenen aşaması olarak bilinir) [57]. Bu optimizasyon algoritmasında, bir grup öğrenci popülasyon olarak kabul edilir ve öğrencilere sunulan farklı konular, optimizasyon probleminin farklı tasarım değişkenleri olarak kabul edilir ve bir öğrencinin sonucu, optimizasyon probleminin 'uygunluk' değerine benzerdir. Nüfusun tamamında en iyi çözüm öğretmen olarak kabul edilir. Tasarım değişkenleri aslında verilen optimizasyon probleminin amaç fonksiyonunda yer alan parametrelerdir ve en iyi çözüm, amaç fonksiyonunun en iyi değeridir. TLBO'nun çalışması "Öğretmen aşaması" ve "Öğrenci aşaması" olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır [58]. TLBO algoritmasının akış şeması Şekil 3.12'de gösterilmektedir.



Şekil 3.12. TLBO algoritmasının akış şeması

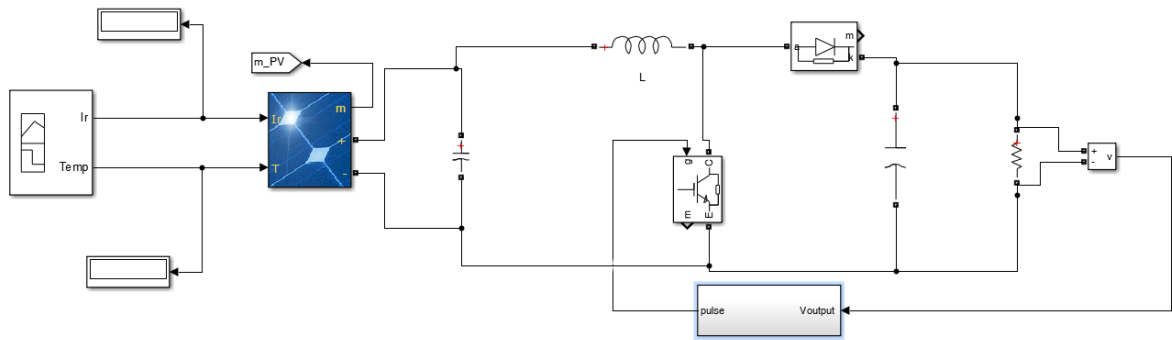
Öğretmen aşaması sırasında, bir öğretmen, yeteneğine bağlı olarak, kendisi tarafından öğretilen konudaki sınıfın ortalama sonucunu artırmaya çalışır. Öğretim rolü en iyi kişiye atanır. Algoritma, bireylerin mevcut ortalama değerini dikkate alarak, konumlarını en iyi birey konumuna taşıyarak diğer bireyleri iyileştirmeye çalışır [59]. Bu, problem alanı (boyut) içindeki her parametrenin ortalama değerleri kullanılarak oluşturulur ve mevcut nesilden tüm öğrencilerin niteliklerini temsil eder.

Algoritmanın ikinci aşaması, öğrencilerin kendi aralarında etkileşime girerek bilgilerini artırdıkları öğrenen aşamasıdır. Bir öğrenci, bilgilerini geliştirmek için diğer öğrencilerle rastgele etkileşime girer [60]. Bir öğrenci, diğer öğrenci kendisinden daha fazla bilgiye sahipse yeni şeyler öğrenir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

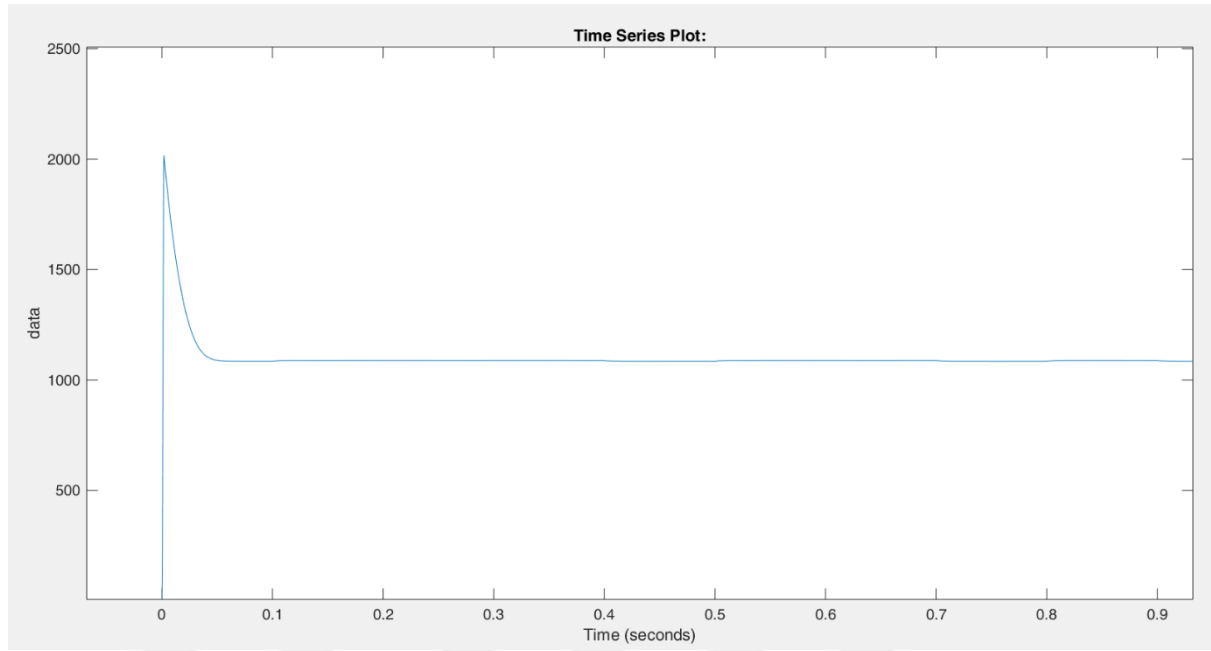
4.1. PV sistem çıkışı

PV sisteminin simülasyonu Simulink Matlab'de yapılmıştır. Şekil 4.1'de gösterilen Matlab Simulink'te gerekli çıkış voltajını elde etmek için yükseltici dönüştürücü ile birlikte güneş sistemi yapılmıştır.



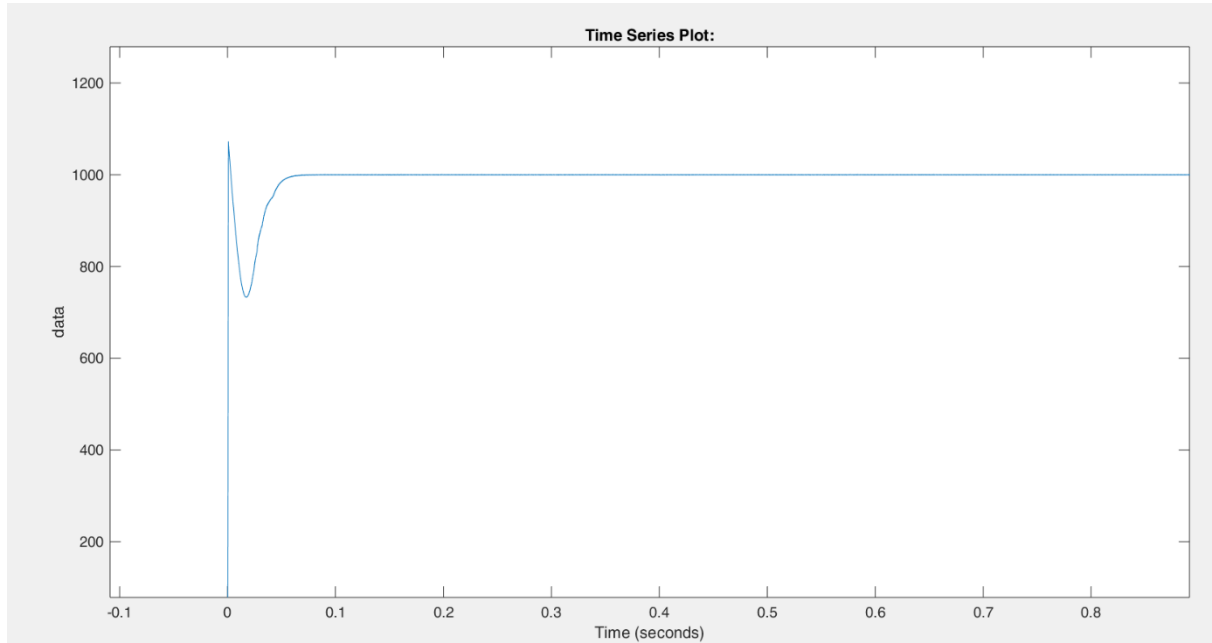
Şekil 4.1. PV sistemi

DC-DC Boost dönüştürücü, çıkış gerilimini kontrol eden görev döngüsünün yüzdesine göre çalışır, bu nedenle gerekli çıkış gerilimini elde etmek için PID kontrolörü kullanılır ve dolayısıyla gerekli çıkış voltajını elde etmek için PWM jeneratörü, Boost dönüştürücüye verilen görev döngüsünü üretir. Sistemin çıkışı, PID tarafından kontrol edilmediği ve görev döngüsü manuel olduğu halde Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Sistemin voltaj çıkışı

Şekil 4.2'de gösterildiği gibi çıkışta aşma, yetersizlik, çökme süresi ve büyük bir sabit durum hatası mevcuttur, bu nedenle bunları en aza indirmek için PID denetleyicisinin kullanılması zorunlu hale gelmesi gerekir. P ve I değerleri hataları en aza indirmek için kullanılmış ve bir dizi P ve I değerinden en iyi sonucu elde etmek için optimize edilmiştir. Şekil 4.3, PID kontrollü sistem çıkışını gösterir.



Şekil 4.3. PID kontrollü PV sistem çıkışı

Şekil 4.3'te gösterilen PID kontrollü sistem çıkışı. Birkaç milisaniyeden sonra sabitlenir, ancak yine çıktı çok büyük bir aşma ve yetersizliğe sahip ve yerleşme süresi de daha iyi olabilir,

bu nedenle sistem YSA sinir ağı kutusu yardımıyla GA, ABC ve TLBO algoritmaları tarafından optimize edilmiştir.

Kontrol teorisinde, sinyal işlemede, matematikte ve elektronikte, aşma, hedefini aşan bir işlev veya sinyalin tezahürüdür. Öncelikle bantlı sistemlerde meydana gelir veya aşımı, kararlı durumunu veya nihai değerini aşan bir çıktı olarak adlandırabiliriz.

Yetersizliğe, ters yöndeki aşmayla aynı olgudur. Özellikle bantlı sistemlerin adım yanıtında ortaya çıkar. Aşma ve yetersizlik, girişten daha yüksek çıktı veya gerekli çıktıdan daha düşük çıktıyla sonuçlanan hatalı bir yaklaşımdır.

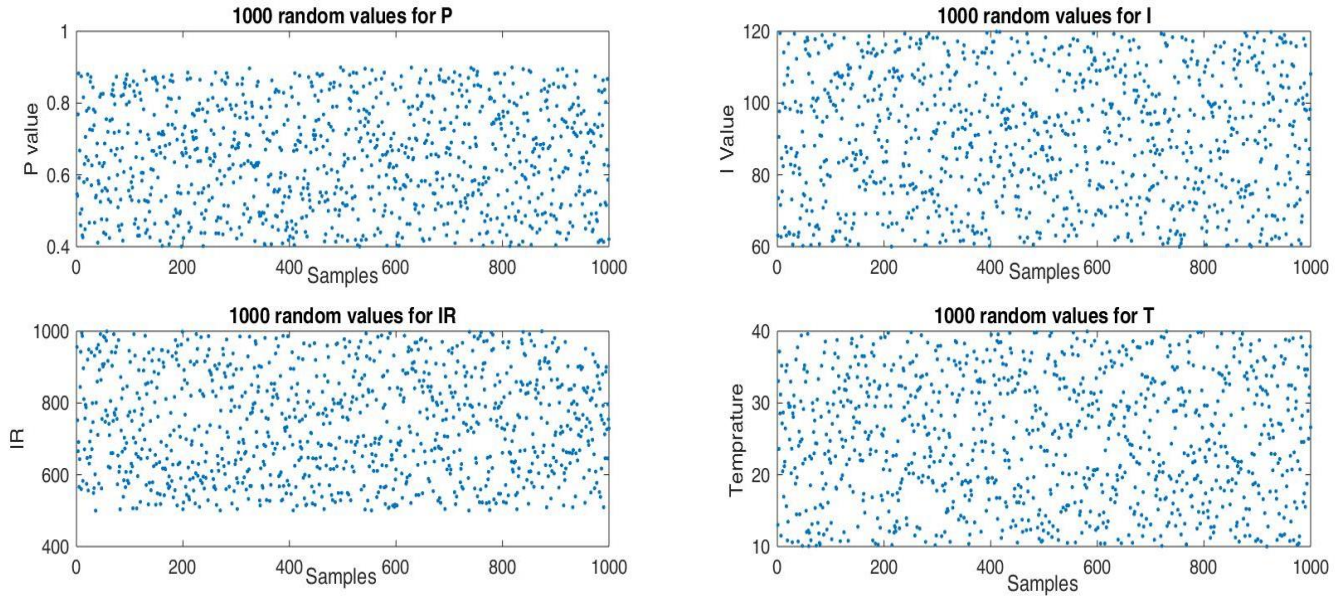
Yükselme süresi, bir sinyalin belirli bir düşük değerden belirli bir yüksek değere değişmesi için geçen süredir. Bu değerler, oranlar olarak veya eşdeğer olarak, belirli bir referans değere göre yüzde olarak ifade edilebilir veya yükselme süresi, yanıtın nihai değerinin %x'inden %y'ye yükselmesi için gereken süre olarak açıklanabilir.

Kararlı durum hatası, zaman sonsuza giderken sınırdaki bir sistemin girişi (komut) ve çıkışı arasındaki fark olarak tanımlanır. Kararlı durum hatası, girişin türüne ve sistem türüne bağlı olacaktır.

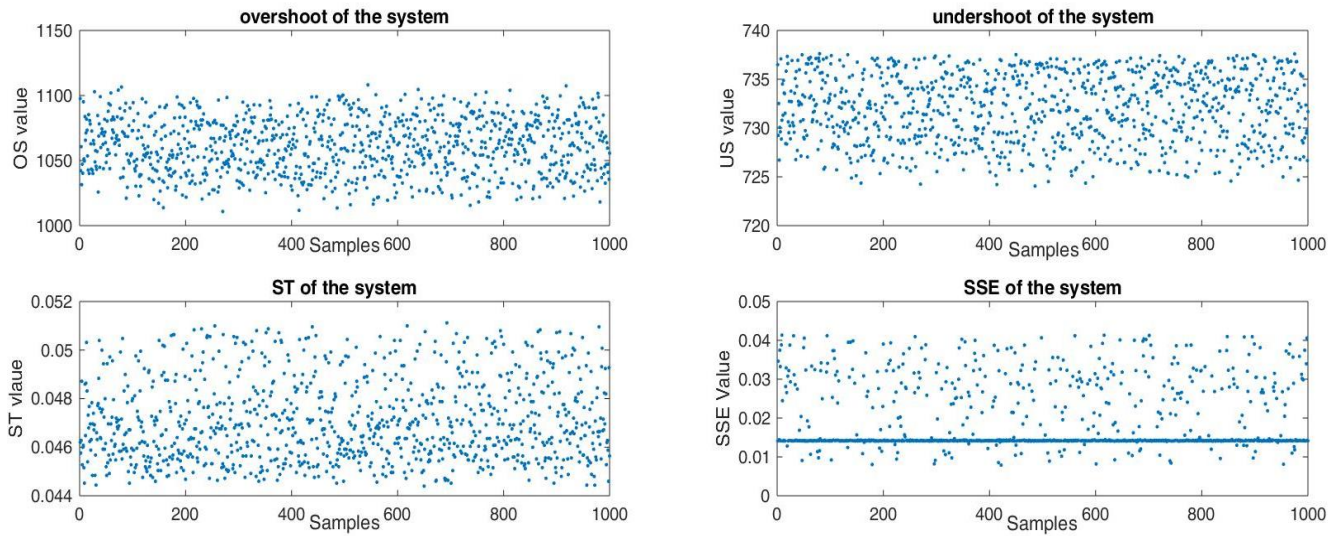
4.2. YSA Eğitimi

Sinir ağları eğitilebilir. Eğitim süresi boyunca, sinaptik ağırlıklar güçlendirilir veya zayıflatılır, böylece YSA, belirli bir giriş modeline önceden belirlenmiş bir çıkış tepkisi ile tepki verebilir. Her iki nöron arasındaki bağlantının gücü sinaptik bir ağırlık ile tanımlanır. Eğitimin başlangıcında, sinaptik ağırlıklar rastgele değerlere ayarlanır. Tipik, basit bir YSA yapısında, giriş örüntüleri YSA'nın girişlerine sıralı olarak sokulur ve istenen doğrulukta karşılık gelen çıkış örüntülerine ulaşmak için veya önceden belirlenmiş sayıda yineleme adımı yapıldıktan sonra sinaptik ağırlıklar değiştirilir.

Bu tez sonucunda, verilen girdi örüntüleri için istenen çıkış yanıtları ölçülen sonuçlardan elde edilmiştir. Yapı, yapının belirli sayıda benzersiz parametre kombinasyonu (giriş modelleri) için analiz edilir ve ardından YSA, istenen yanıtlar olarak analizin sonuçları kullanılarak eğitilir. Hesaplama açısından mütevazı sinir modeli daha sonra sayısal bir modele yaklaşır.



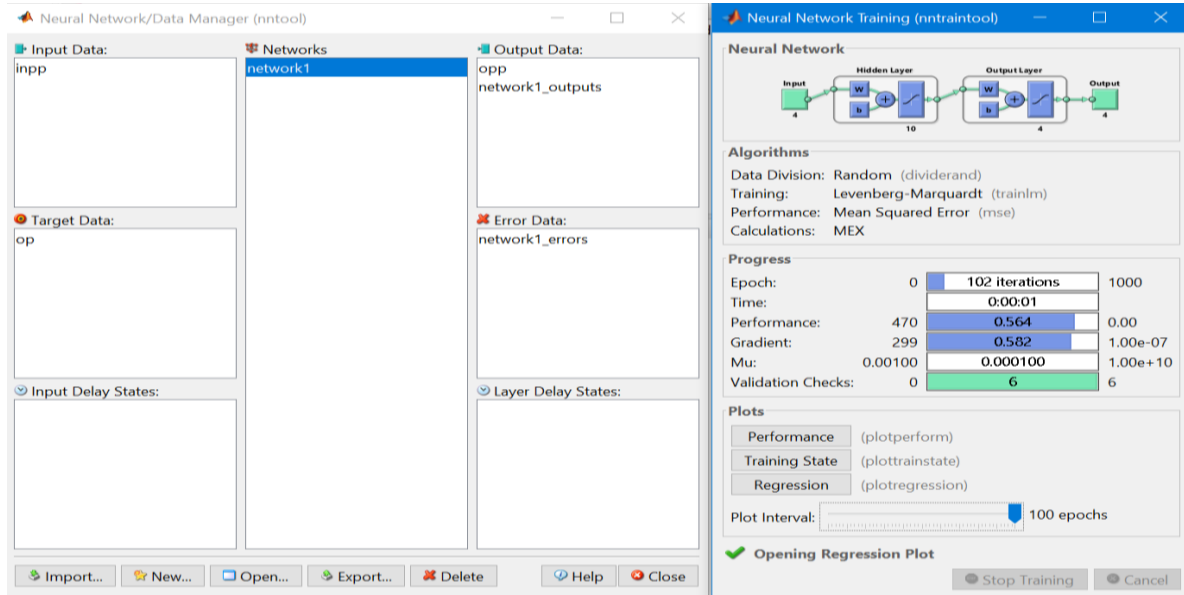
Şekil 4.4.a. PV sisteminin 1000 girişleri



Şekil 4.4.b. PV sisteminin 1000 çıkışları

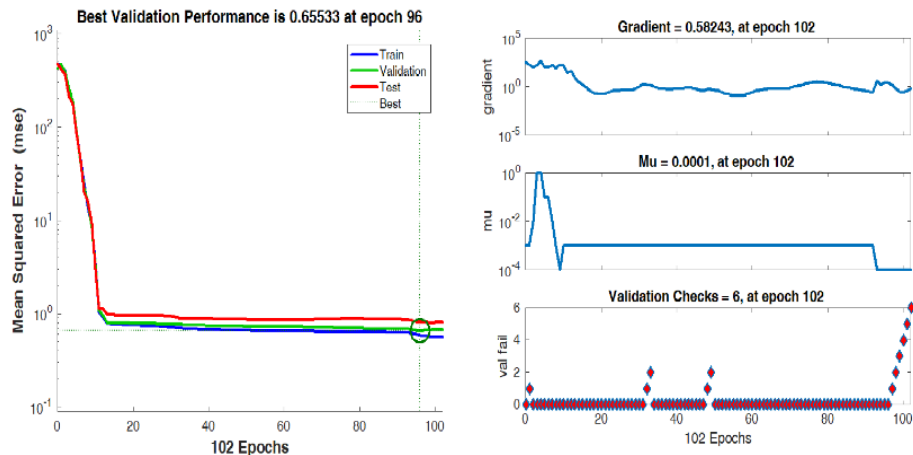
Bu tez çalışmasında kullanılan PV sistemi 1000 defa çalıştırılmış ve bir Sinir ağını eğitmek için örnekler alınmıştır. Şekil 4.4.a'da sistemin girişleri ve Şekil.4.4.b'de çıkışlarını göstermektedir. Girişler ışık, sıcaklık, P ve I değerleridir, bunun için çıkış yanıtında aşma, çekim altı, çökme süresi ve sabit durum hata değerleri olarak verilmiştir. Sistemin giriş ve çıkışının bu 1000 örneği ile ağ, optimizasyon için gereken süreyi azaltmak için sinir ağında eğitilmiştir.

Öğrenme sadece sinaptik ağırlıklardan değil, aynı zamanda önyargıların değerinden de etkilenir. Bir önyargı, bir çıkışı ve iki nöronun bir girişini birleştirmeyen, ancak tek bir sinyalle çarpılan ve nörona eklenen bir ağırlığı temsil eder. Bir önyargı, bir nöronun çıkış sinyalinin giriş sinyallerinden bağımsız olarak belirli bir seviyesini ayarlar. Şekil 4.5, sistem için ağ eğitimi göstermektedir.

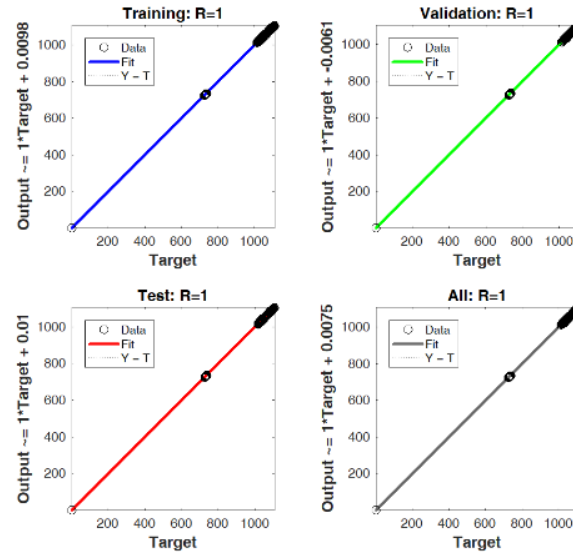


Şekil 4.5. Sistemin sinir ağının eğitimi

Eğitim aşaması bittiğinde (YSA, uygun çıktı modellerini üretmek girdi modellerine tepki verebildiğinde), YSA modelleme için kullanılabilir. Modelleme döneminde YSA, eğitim sırasında YSA'ya eklenen bilgileri sinaptik ağırlıkların ve önyargıların değişen değerleri şeklinde kullanır. Şu anda birçok sinir ağı türü geliştirilmiştir. Bu YSA'lar mimarileri bakımından farklılık gösterir (tek nöronların ağa bağlanması), nöron türlerine göre değişiklik gösterebilir, çeşitli YSA türleri arasında bir yönelim elde etmek için farklı öğrenme yollarından yararlanabilirler.



Şekil 4.6.a. Ağın Performansı ve Eğitim durumu



Şekil 4.6.b. Ağırlık gerilemesi

Sistemin regresyon, Performans ve Eğitim durumu Şekil 4.6.a ve b'de verilmiştir. Sistemin performansı daha iyi hale gelebilir ve ağırlık hatası azaltılabilir. Bu nedenle, bunu yapmak için nntool kutusu tarafından yapılan ağırlık ağırlığı ve temeli (WB), GA ve TLBO algoritmaları tarafından optimize edilmiştir.

4.3. YSA'nın Optimizasyonu

PV sistemi, sistemin maksimum güç üretiminde çalışmamasına neden olan değişen ısıma ve sıcaklık girişlerine göre farklı çıkışlara sahiptir. Bu sebeple bu tez çalışmasında PID kontrollü sistem optimize edilmiştir. Simulink Matlab'da tasarlanan PV sisteminin çalıştırılması çok fazla zaman aldığından, 1000 giriş ve çıkış örneği alınarak yapılan PV sistemi olarak çalışacak şekilde sinir ağı oluşturulmuştur. Ve bu yöntem optimizasyonu çok fazla zaman harcamadan kolayca yapmaya sağlanmıştır. Ancak verim ve sistem hatası daha azaltılabilir bu nedenle eğitilmiş ağırlık eşik ve ağırlığı, ağırlık ve performans hatasını azaltmak için GA ve TLBO optimizasyonu ile optimize edilmiştir.

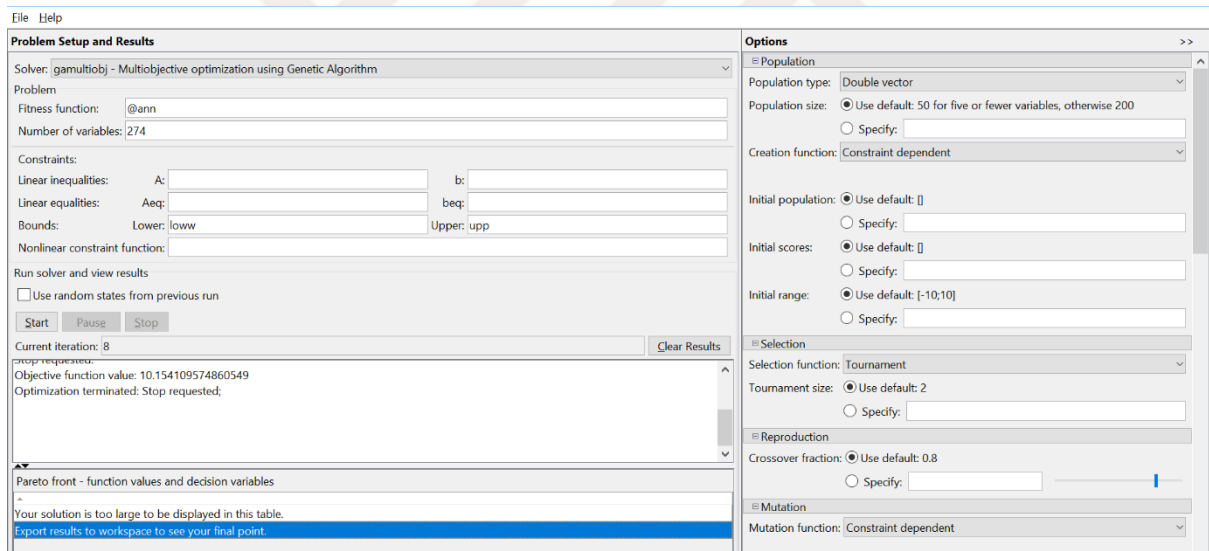
4.3.1. Yapay Sinir Ağı'nın GA ile Optimizasyonu

Gatoolbox, bu tez çalışmasında kullanılan, GA'nın meta-sezgisinin temel kavramlarını öğretmek için bir araç olarak kullanılabilen bir Matlab optimizasyon araç kutusudur. GA araç kutusu, çok çeşitli GA yapılandırmalarının uygulanmasını sağlayan esnek bir araç sağlamak için Matlab hesaplama dili işlevlerini kullanır. Bu optimizasyon yöntem tekli ve çok amaçlı optimizasyon problemlerini kısıtlamalı ve kısıtlamasız çözmek için kullanılabilen genel amaçlı bir

optimizasyon aracıdır. Türlerin evrimsel sürecinde olduğu gibi, GA'lar, Darwinci üreme ve en uygun olanın hayatta kalması ilkelerini kullanarak, her biri ilişkili bir uygunluk değerine sahip bir birey popülasyonunu yeni nesil bireyler için manipüle eder. Nüfusun her bir bireyi olası bir çözümü temsil eder; bu nedenle, GA, arama alanındaki çözüm kümeleri arasında, her zaman küresel optimum, en yüksek beceriye sahip bireye doğru arama yapar.

Algoritmanın dört ana modülü mevcuttur: problem tanımı, değişken ayar, ilk popülasyonun oluşturulması ve evrim. Bu modüller, algoritmanın çalışmasını sağlayan bilgi alışverişi yaparak birbirleriyle etkileşim halindedir. Her modül içinde, belirli görevleri olan bir dizi alt yordam mevcuttur. Bu alt rutinlerin her biri, GA araç kutusunda bulunan farklı operatörler tarafından yürütülebilir. Bu şekilde, GA algoritması, operatörlerin kullanıcı tarafından ayarlanma şekline göre farklı şekilde yapılandırılabilir.

Problem tanımlama modülü, optimizasyon problemini karakterize eder, ve problem tanımlama modülünde kullanıcı aşağıdaki bilgileri sağlamalıdır: amaç fonksiyonu veya fonksiyonları, hedef sayısı m , değişken sayısı n , eşitsizlik kısıtlamaları, eşitlik kısıtları ve karar değişkenlerinin değişim aralığı.



Şekil 4.7: GA araç kutusu

Optimizasyon problemini belirledikten sonra, değişken tipini ve algoritma tarafından kullanılan değişkenlerin temsilini tanımlamak gerekir. GA'lar doğrudan gerçek değişkenlerle veya kodlanmış değişkenlerle çalışabilir. Bu nedenle, problem tarafından tanımlanan değişken tipine ve GA tarafından kullanılan gösterim tipine bağlı olarak, kodlama / kod çözme işleminin gerçek çalışma alanından GA çalışma alanına geçmesi gerekli olacaktır. GA araç kutusu Şekil 4.7'de gösterilmektedir.

Başlangıç popülasyonunun oluşturulması, optimizasyonun en önemli modülüdür; Değişken temsiline karar verdikten sonra, GA'daki ilk adım, ilk popülasyonu oluşturmaktır. Bu,

arzu aralığında sayıları eşit olarak dağıtan rastgele sayı üretici kullanarak gerekli sayıda birey oluşturarak yapılır.

Evrin (Evolution), optimizasyonun 4. ve son modülüdür; modülün evrim operatörlerini bireylerin popülasyonuna uygular, aşağıdaki alt programlardan oluşur. Seçim, evrim sürecindeki ilk işleci, bireyleri uygunluklarına göre ayırt etme ve özellikle daha iyi bireylerin varyasyona uğramasına ve sonraki nesilde yavrular yaratmasına izin verme rolünü oluşturur. Bunu yapmak için algoritma, üremek üzere seçilen bireyleri ayırmak için bir çiftleşme havuzu (bir ara popülasyon) oluşturur. Ara popülasyondaki bireyler, bir sonraki rekombinasyon operatörüne tabi tutulacaktır.

Seçim operatörü yeni bireyler oluşturmaz, bunun yerine en uygun olanların birden çok kopyasını oluşturur. Yeni bireyler oluşturmak ve böylece popülasyonu çeşitlendirmek (keşif süreci) için rekombinasyon operatörünün uygulanması gereklidir. Rekombinasyon operatörü, her iki ebeveynin genetik materyalinin bazı kısımlarına sahip yeni kromozomlar üretir. Genellikle, tipik olarak 0.5 ile 1.0 arasında değişen bir geçiş / rekombinasyon oranına göre olasılıksal olarak uygulanır [61].

Seçme ve rekombinasyon operatörlerinin yinelemeli uygulaması, potansiyel olarak önemli genetik bilgilerin kaybına yol açabilir. Yerel bir optimumda kapana kısılmamak için popülasyonun çeşitliliğini (keşif süreci) destekleyen bir operatör uygulamak gerekir. Popülasyondaki bireylerin genetik bilgilerini rastgele değiştiren mutasyon operatörü aracılığıyla yapılır. Mutasyon süreci, bir mutasyon oranıyla kontrol edilir. GA ikili değişken gösterimi ile çalıştığında, düşük bir mutasyon oranı kullanılırken [0.001, 0.01], gerçek kodlama için 1 mp n değeri önerilir, burada n değişkenlerin sayısıdır [61].

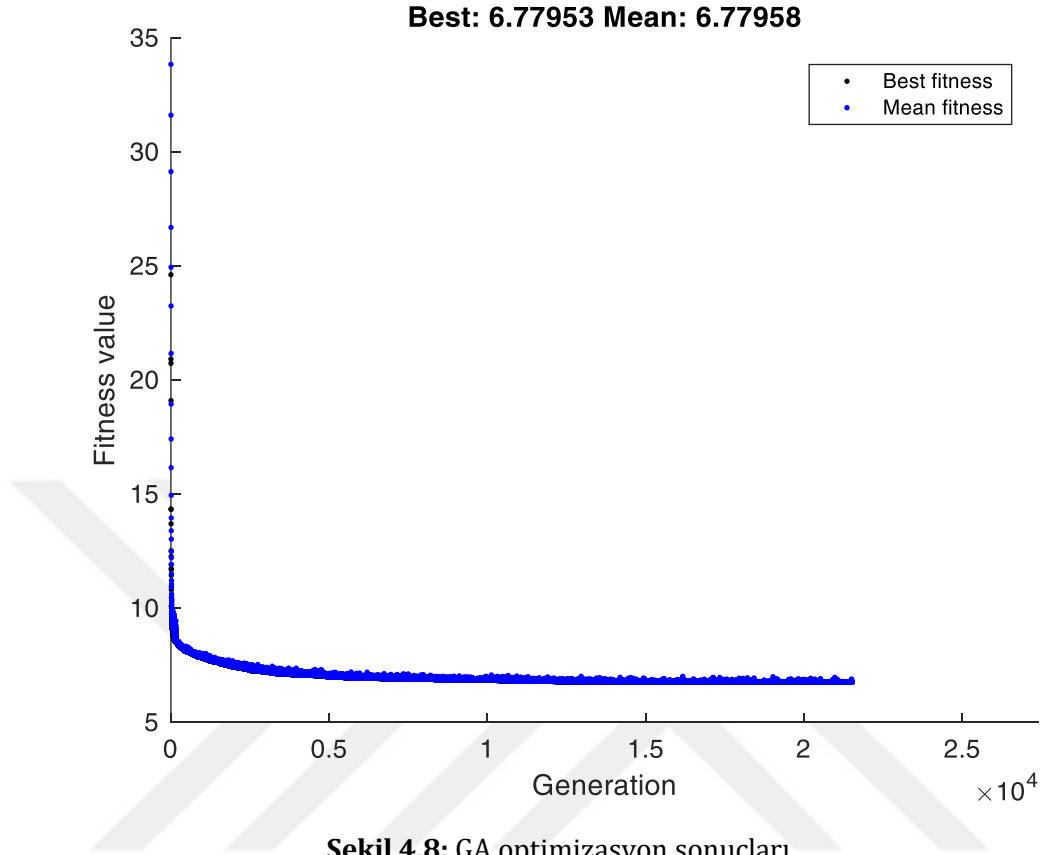
Sonlandırma kriteri karşılanmazsa, nüfus yeni bir evrim sürecinden geçecektir. Bu nedenle, orijinal popülasyonda üretilen yeni bireyleri eklemek gerekir. En basit kriter, eşit sayıda çocuk ve ebeveyn oluşturmak ve tüm popülasyonu değiştirmektir. Orijinal nüfus büyüklüğünden farklı sayıda çocuk oluşturmak mümkündür, bu durumda hangi ebeveynlerin değiştirileceğini belirlemek için kurallar oluşturmak gerekir. GAtoolbox'ta, mevcut yeniden yerleştirme yöntemleri şunlardır:

- Saf yeniden yerleştirme, ebeveynler kadar çok sayıda yavru doğurur ve tüm ebeveynler yavrularla değiştirilir.

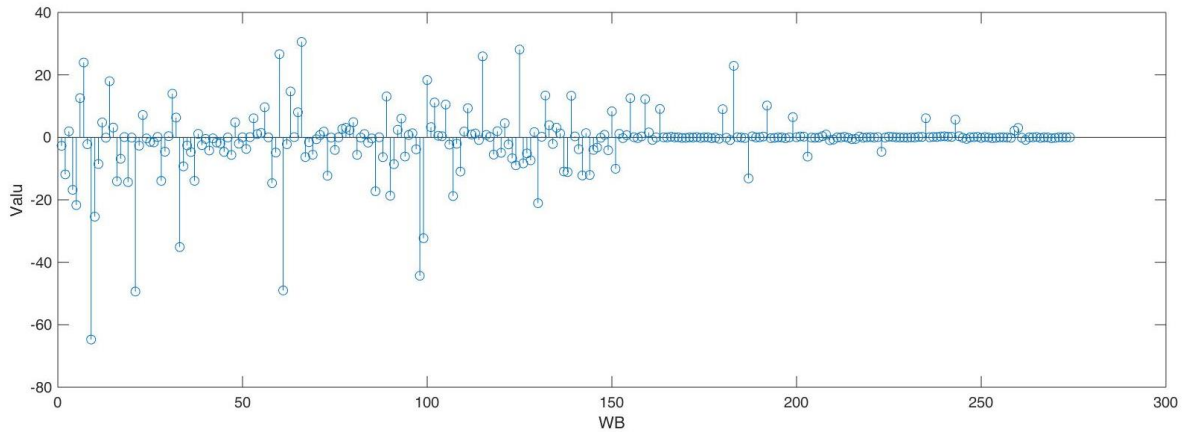
- Tek tip yeniden yerleştirme, ebeveynlere göre daha az yavru üretme ve ebeveynleri rastgele şekilde aynı şekilde değiştirir.

- Elitist yeniden yerleştirme, ebeveynlerden daha az çocuk doğurur ve en kötü ebeveynlerin yerini alır. • En kötü ve zindeliğe dayalı yeniden yerleştirme, her nesilde en az formda olan bazı ebeveynlerin yerini en uygun yavrular alır. Yavru değiştirilmeden önce bir

kesim seçim şeması uygulanır ve değiştirilecek ebeveyn sayısı, nesil boşluğu tarafından kontrol edilir.

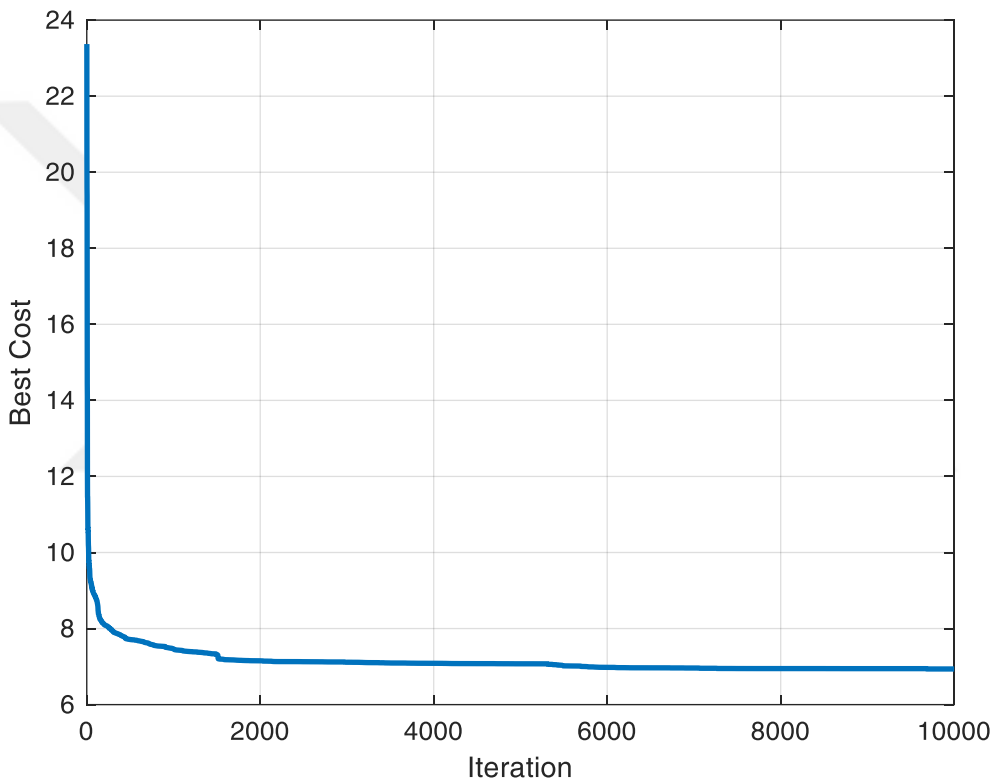


Yukarıdaki Şekil 4.8'de gösterildiği gibi, sistemi verilen değerler setinde farklı değerlerle binlerce kez çalıştırdıktan sonra, verilen ağın Ağırlık ve Tabanı ile hatası 30'dan fazla olan sistemin performansı, optimizasyon sonrası performans daha iyi hale gelir ve performanstaki hata %7'ye düşürülmüştür. En iyi W&B değerleri aşağıdaki Şekil 4.9'da verilmiştir.



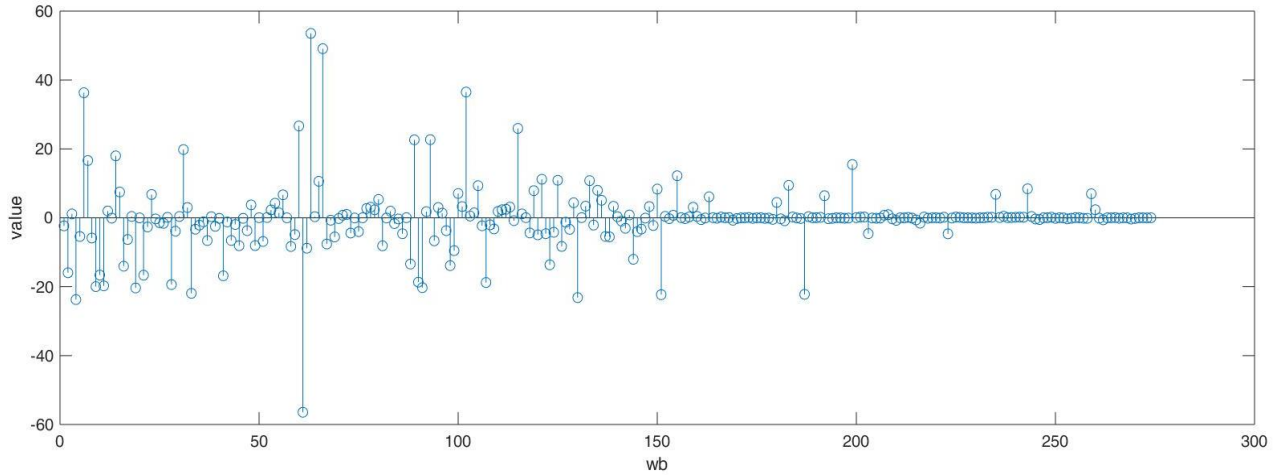
4.3.2. Yapay Sinir Ağının TLBO ile Optimizasyonu

Yukarıda açıklanan TLBO algoritması, optimizasyon için yaygın olarak kullanılan algoritmalarından biridir, bu algoritma tarafından optimize edilen sinir ağı, performansta hatanın daha yüksek bir yüzdesine neden olan WB değerlerine sahiptir, dolayısıyla ağda daha iyi sonuç elde edilir. TLBO, tipik bir sınıfın öğretme ve öğrenme sürecini taklit eden popülasyon tabanlı bir algoritmadır. Algoritma, bir grup öğrenci çözümlerin popülasyonu olarak kabul edilir ve çözümlerin uygunluğu sonuçlar veya notlar olarak kabul edilir. Algoritma, öğretmenden öğrenerek ve öğrenciler arasındaki etkileşim yoluyla öğrenerek sınıftaki her öğrencinin notunu uyarlamalı olarak günceller. Optimizasyon sonuçları Şekil 4.10'de gösterilmektedir.



Şekil 4.10. TLBO'nun optimizasyon sonuçları

TLBO'nun yukarıda açıklandığı gibi iki ana aşaması mevcuttur. İlki "Öğretmen Aşaması" ve ikincisi "Öğrenme Aşaması" dır. İlki öğretmenden öğrenmek, ikincisi ise öğrenciler arasındaki etkileşim yoluyla öğrenmek anlamına gelir. Optimizasyon sürecinin 5 adımı mevcuttur. İlk adım optimizasyon probleminin tanımlanması ve optimizasyon parametrelerinin ilklendirilmesidir, ikinci adımda popülasyonun başlatılması yapılmıştır. 3. ve 4. adımlar Öğretmen aşaması ve öğrenci aşamasıdır, son aşamada maksimum üretim sayısına ulaşırsa optimizasyon sona erdirilir, aksi takdirde adım 3'ten tekrarlama yapılır. TLBO optimizasyon algoritmasından WB'nin en iyi sonuçları Şekil 4.11'de gösterilmektedir.



Şekil 4.11. WB için TLBO sonuçları

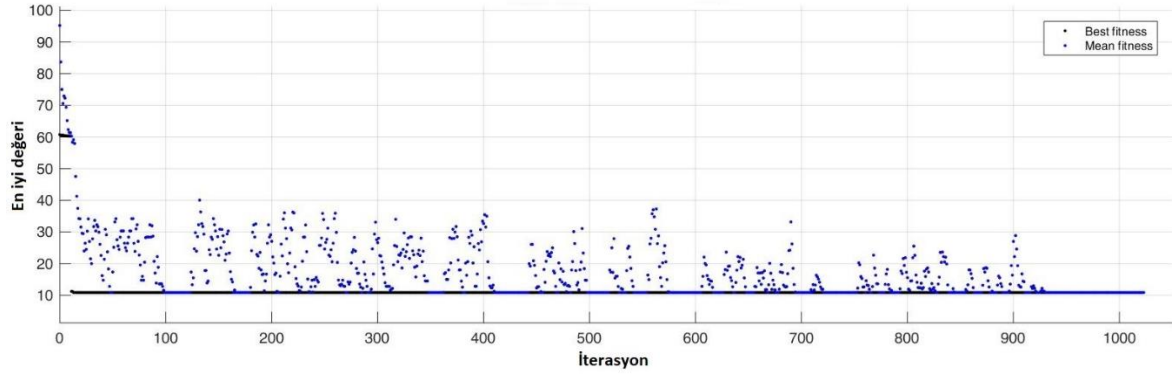
4.4. PID Denetleyici Optimizasyonu

Yukarıda başlık 3.2'de açıklandığı gibi bir orantılı-integral-türev kontrolörü (PID kontrolörü), endüstriyel kontrol sistemlerinde yaygın olarak kullanılan bir kontrol döngüsü geri besleme kontrolör veya mekanizmasıdır. Bir PID kontrolörü, ölçülen bir proses değişkeni ile istenen bir ayar noktası arasındaki fark olarak bir hata değeri hesaplar. Kontrolör, manipüle edilmiş bir değişken kullanarak işlemi ayarlayarak hatayı en aza indirmeye çalışır. Kontrolörde yer alan üç ayrı sabit parametre (PID), zaman açısından yorumlanabilir: P, mevcut hataya bağlı olan orantılı terimdir, I geçmiş hataların birikimine bağlıdır ve D, gelecekteki hataların bir tahminidir ve mevcut değişim oranına dayanmaktadır. Bu üç eylemin ağırlıklı toplamı, süreci bir kontrol ögesi aracılığıyla ayarlamak için kullanılır.

4.4.1. GA Algoritması ile PID Optimizasyonu

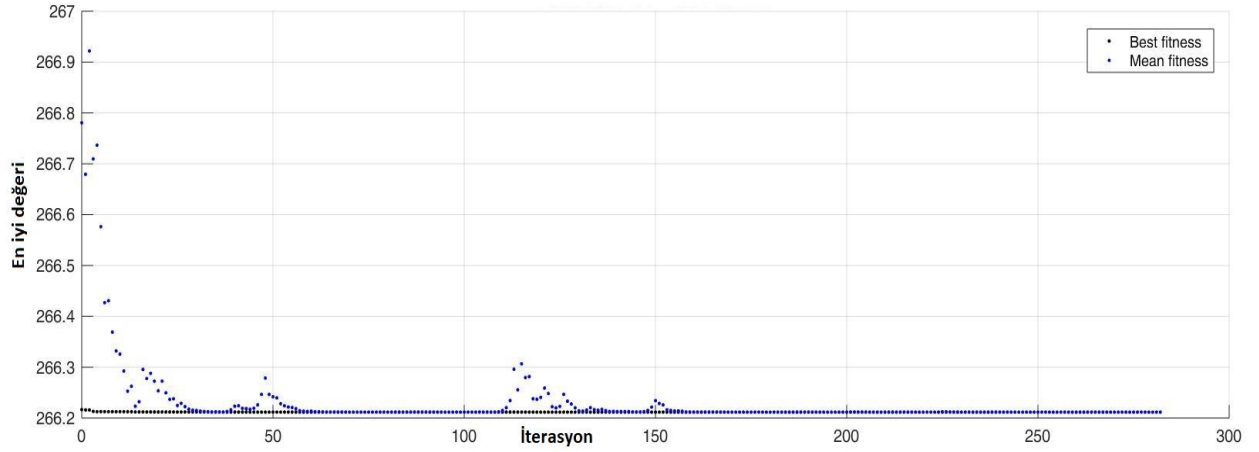
Bu tezde kullanılan PV sistemi PID kontrolörün P ve I değerleri optimize edilerek kontrol edilmiştir, yukarıda bahsedilen ağırlık bir PV sistemi gibi davranması için yapıldığından daha iyi verime sahiptir. Bu yüzden artık aşma, yetersizlik, çökme süresi ve sabit durum hatasının toplamı olan çıktı hatasını azaltmak için PI değerleri optimize edilmiştir. PI değerleri, her bir hata için tek başına optimize edilmiştir ve sonunda, hata yüzdesinin toplamı için optimize edilmiştir.

Sistem yalnızca aşma için optimize edildiğinde GA algoritma optimizasyonu sonuçları Şekil 4.12'te verilmiştir.



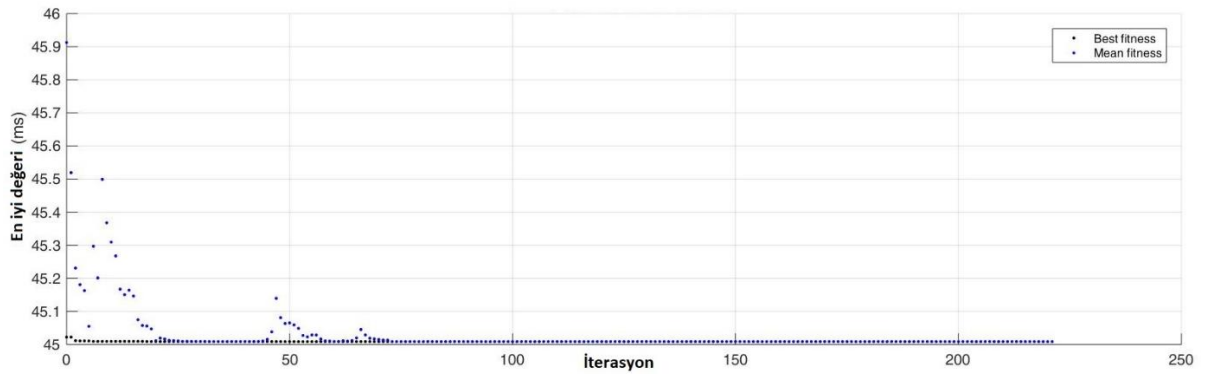
Şekil 4.12: Aşma için GA optimizasyon sonucu

Şekil 4.13. GA algoritmasının optimizasyon sonuçlarını, optimizasyon sadece yetersizliği azaltmak için yapılırken gösterir.



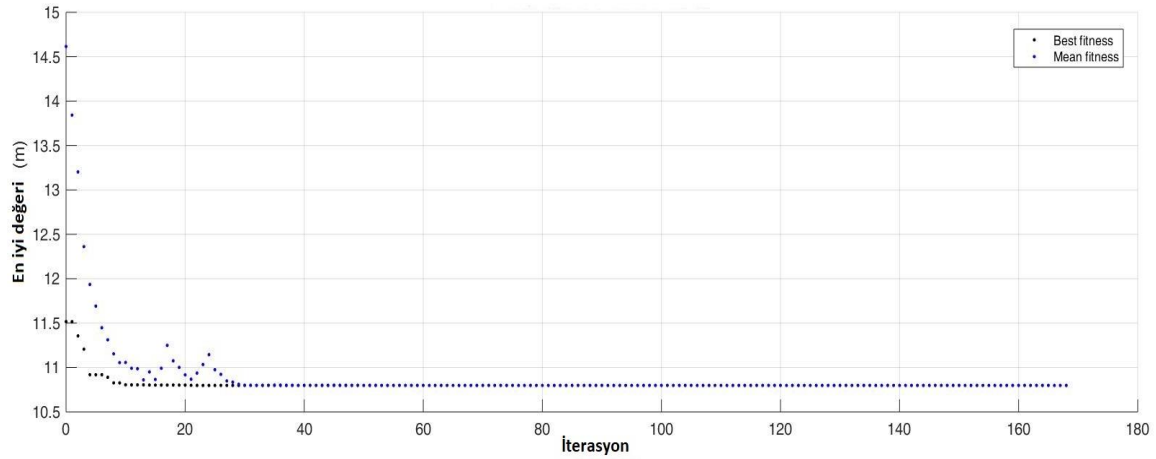
Şekil 4.13. Yetersizliği için GA Optimizasyon sonucu

Yerleşim süresi, sistemin gerekli çıkışın %90'ına ulaşması için gerekli zamandır ve sistemin oturması için gereken süreyi azaltmak için çok önemlidir, Şekil 4.14, yerleşim süresine %100 önem verilirken optimizasyon çıktısını göstermektedir.



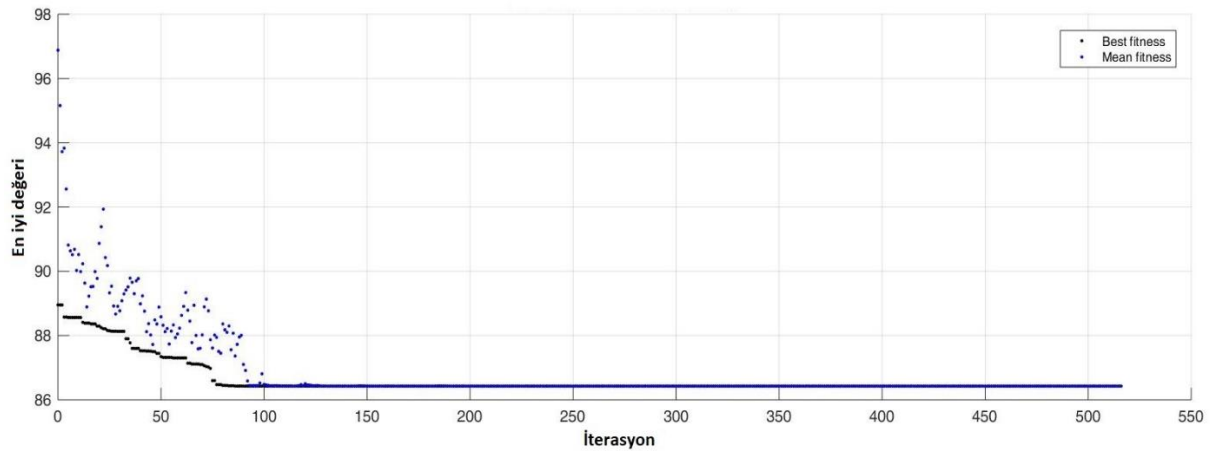
Şekil 4.14. Yerleşme süresi için GA optimizasyonu

Bu tezde incelenen sistemin hedef çıkış voltajı 1000 voltur, bu nedenle eğer kararlı durumda çıkış gerekli çıkış voltajının üstünde veya altında ise sistemin en iyi şekilde çalışmamasına neden olur ve MPP izlenemez. Bu nedenle çıkış voltajını ihtiyaç duyulan noktada tutmak ve sse'yi azaltmak çok önemlidir. Şekil 4.15, SSE'nin %100'ü için optimizasyon yapılırken GA optimizasyon sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 4.15: GA'nın SSE Optimizasyonun sonuçları

Sistemdeki dört hatanın azaltılması hedefleniyor, hepsinin değerlerini düşürmek için optimizasyon yapıldı, ancak dört hatanın da aynı anda azaltılması gerekmektedir, bu sebeple sistemin aşma, yetersizlik, çökme süresi ve SSE'yi içeren hataların toplamı için optimize edilmesi gerekir. Bunu yapmak için ağ, sistem hatasının yukarıda bahsedilen dört hatanın toplamı olduğu sistemin PI değerlerini alacak şekilde optimize edilmiştir. Şekil 4.16 sistemin optimizasyonunun sonucunu göstermektedir.



Şekil 4.16: Sistem için GA Optimizasyonu.

PI değerleri uygunluk işlevlerine göre değişir, aşağıdaki Tablo 4.1, uygunluk kriterleri değiştikçe PI değerlerinin nasıl değiştiğini gösterir.

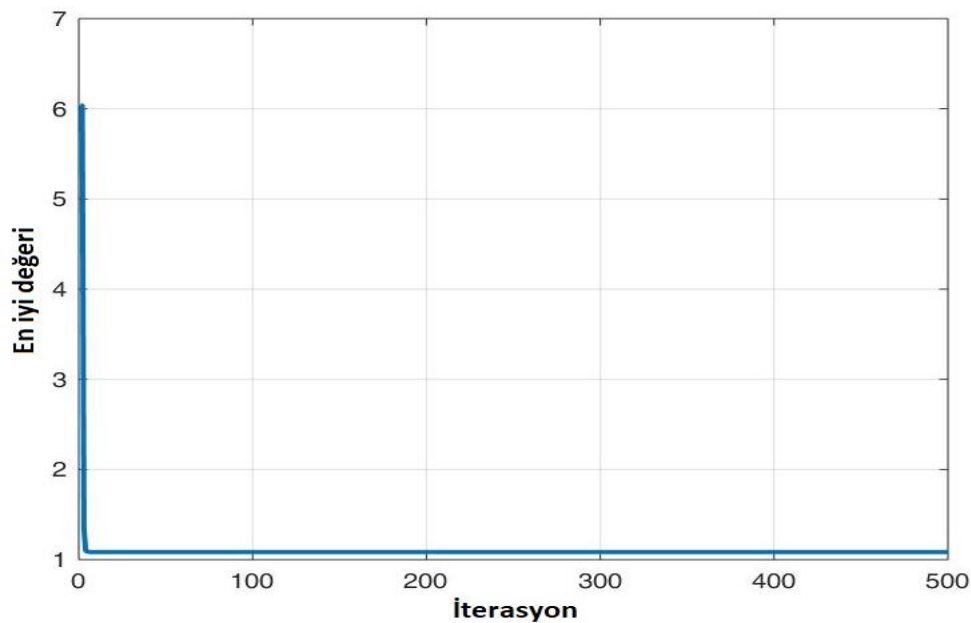
Tablo 4.1: GA optimizasyonundan elde edilen PI değerleri

NO #	OS	US	ST	SSE	P	I
1	100%	0	0	0	1	95.629
2	0	100%	0	0	0.952	71.696
3	0	0	100%	0	0.698	70.502
4	0	0	0	100%	0.758	92.297
5	25%	25%	25%	25%	0.992	95.695

4.4.2. TLBO Algoritması ile PID Optimizasyonu

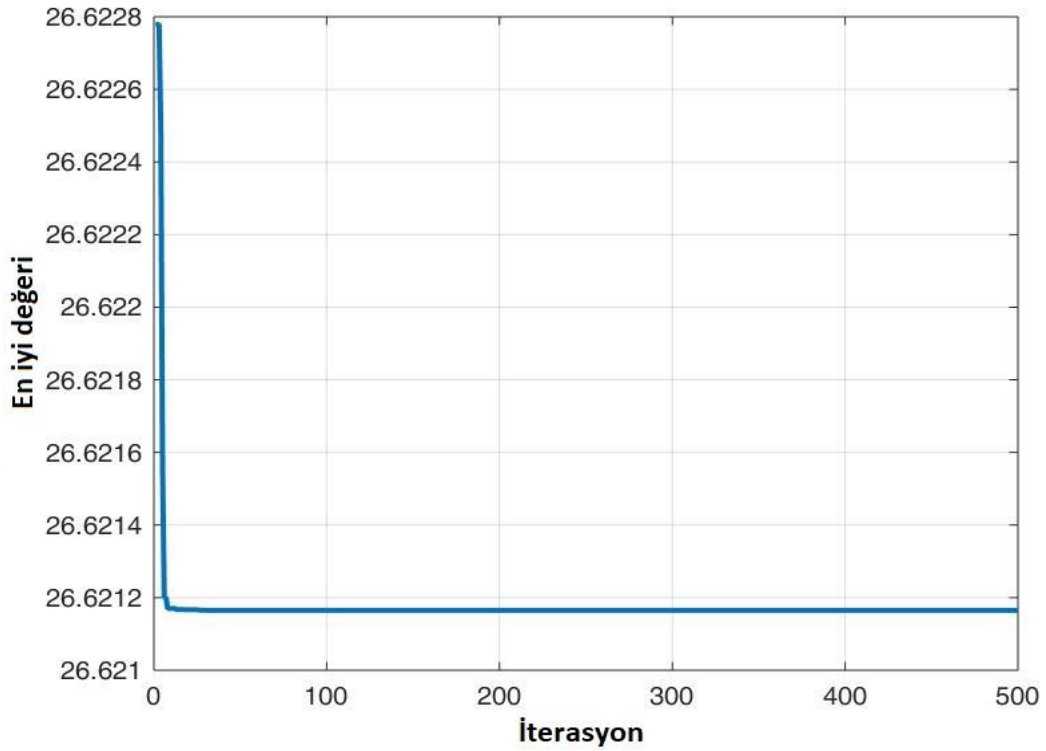
Yukarıda başlık 3.7'de açıklanan Öğretme-Öğrenmeye Dayalı Optimizasyon algoritması, optimizasyon amacıyla yaygın olarak kullanılan algoritmalarından biridir. Bu tez çalışmasında sistemde kullanılan PID kontrolörün P ve I değerlerini optimize etmek için TLBO kodu kullanılmış olup, optimizasyon sisteme göre belirlenen değer verme aralığı dahilinde yapılmaktadır. TLBO algoritmasıyla yapılan her optimizasyonun sonuçları aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir:

Algoritma sadece aşma hatasını azaltırken, TLBO optimizasyon sonuçları aşağıda Şekil 4.17'de gösterilmektedir, bu durumda optimizasyon aşmanın %100'ü için yapılırken diğer hata faktörleri sıfır olarak alınır.



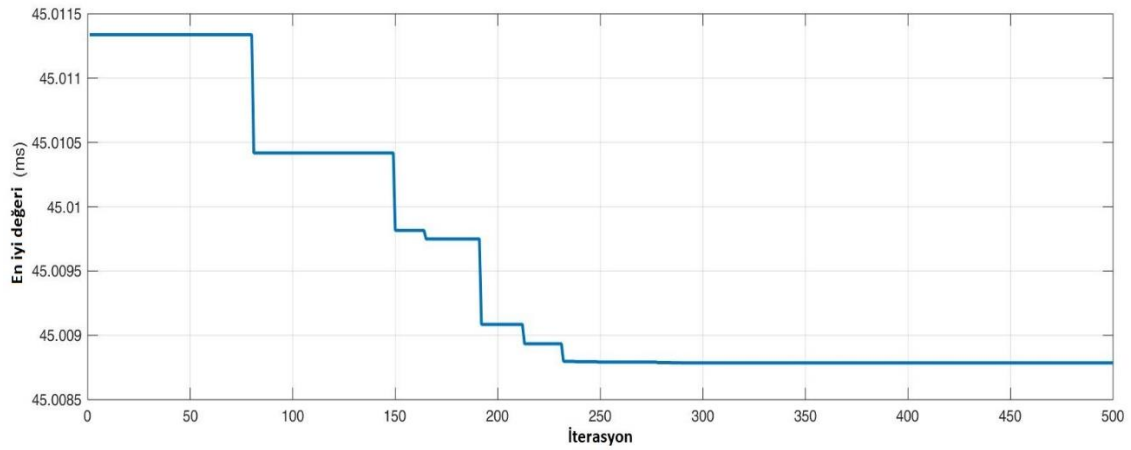
Şekil 4.17: Aşma için TLBO optimizasyon sonuçları

Yetersizlik, P&I değerlerinin optimize edildiği bir sonraki hatadır ve TLBO algoritmasının sonuçları Şekil 4.18'da gösterilmiştir.



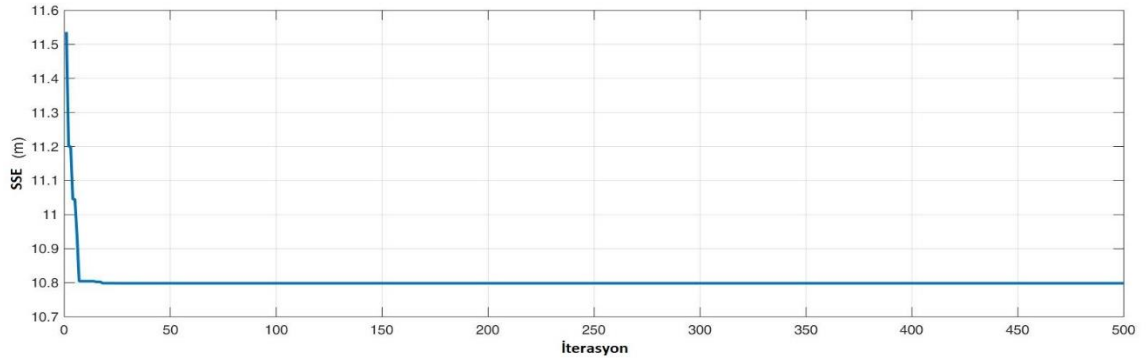
Şekil 4.18: Yetersizlik için TLBO optimizasyon sonuçları

Sistemin oturması için gereken süre, gerekli süreyi minimuma indirmek için optimize edilmiştir ve TLBO tarafından yapılan optimizasyonun sonuçları Şekil 4.19'de gösterilmektedir.



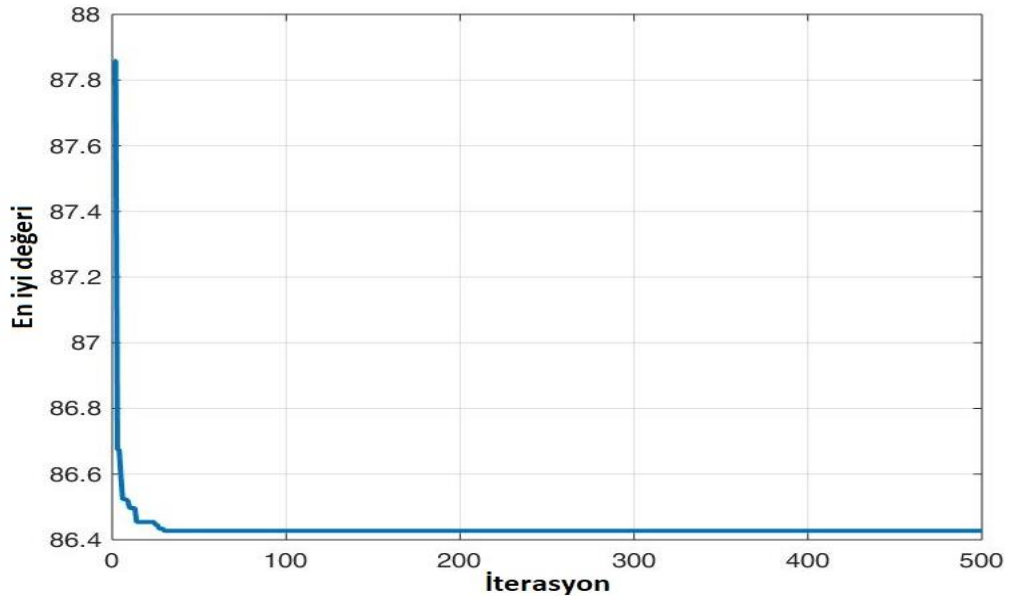
Şekil 4.19: Yerleştirme süresi için TLBO Optimizasyon sonuçları

Sabit durum hatasını azaltmak için PI optimizasyonun sonuçları aşağıdaki Şekil 4.20'de gösterilmektedir.



Şekil 4.20: SSE için TLBO optimizasyon Sonuçları

Bu tez çalışmasında PV sisteminin dört hatası hedeflendiğinden, sistemin genel hatasını azaltmak için hataların toplamı için optimizasyon yapılmaktadır. Şekil 4.21, TLBO optimizasyonunun sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 4.21: Sistem için TLBO optimizasyon sonuçları

Sonuçlar ve PI değerleri, optimizasyon sırasındaki hataya ağırlık verecek şekilde değişmektedir. Farklar aşağıdaki Tablo 4.2'de görülebilir.

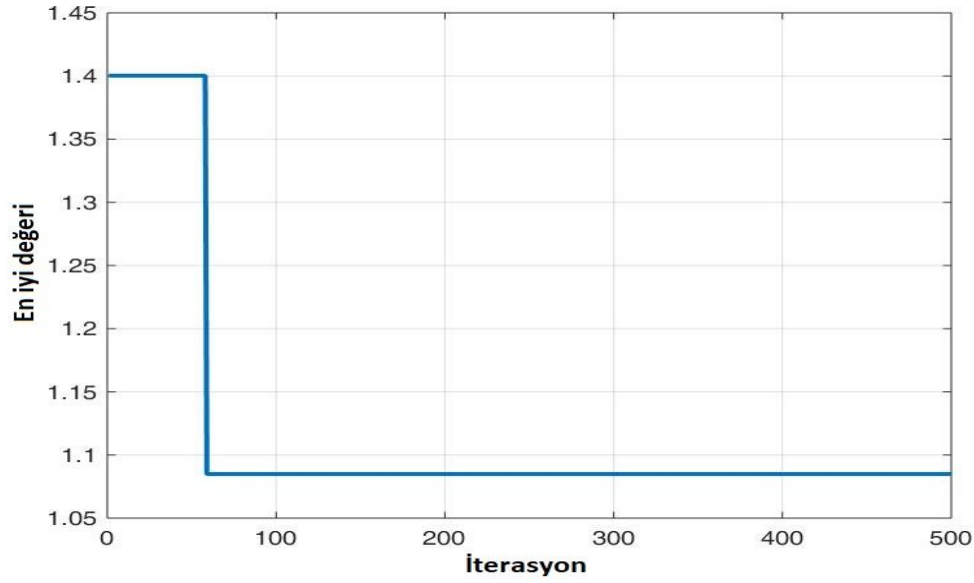
Tablo 4.2: TLBO optimizasyonundan elde edilen PI değerleri

NO #	OS	US	ST	SSE	P	I
1	100%	0	0	0	1	95.628
2	0	100%	0	0	0.9517	71.695
3	0	0	100%	0	0.74816	90.321
4	0	0	0	100%	0.75756	92.296
5	25%	25%	25%	25%	0.9924	95.695

4.4.3. ABC Algoritması ile PID Optimizasyonu

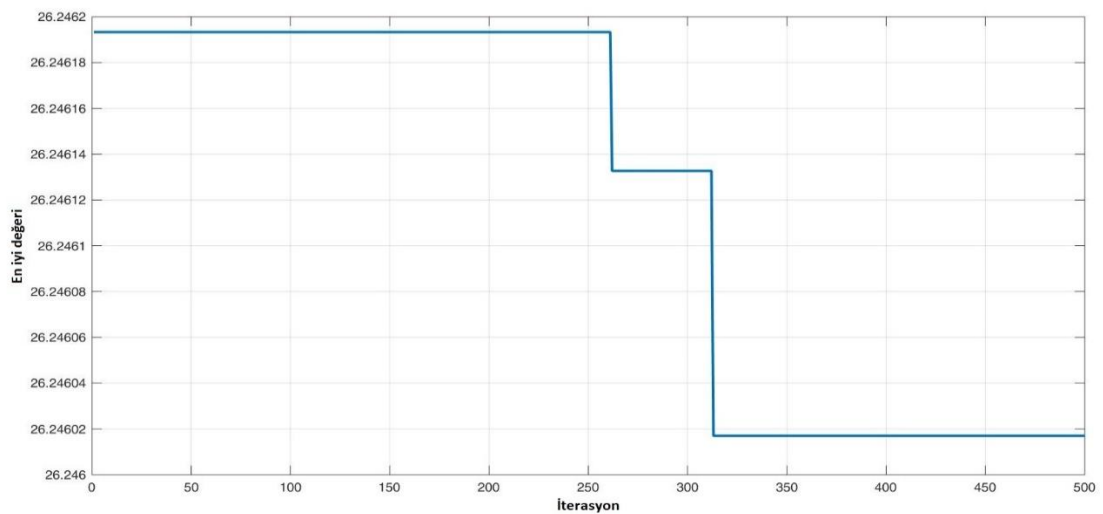
Şekil 3.11'de gösterilen Yapay Arı Kolonisi Algoritması, optimizasyon amacıyla yaygın olarak kullanılan algoritmalarından biridir ve bu nedenle bu çalışmada PID kontrolörün optimizasyonu için kullanılmıştır.

Yapay Arı Kolonisi algoritması sonuçları, Algoritmanın sistemin aşılmasını azaltmak için PI parametrelerini optimize ettiği Şekil 4.22'te gösterilmektedir.



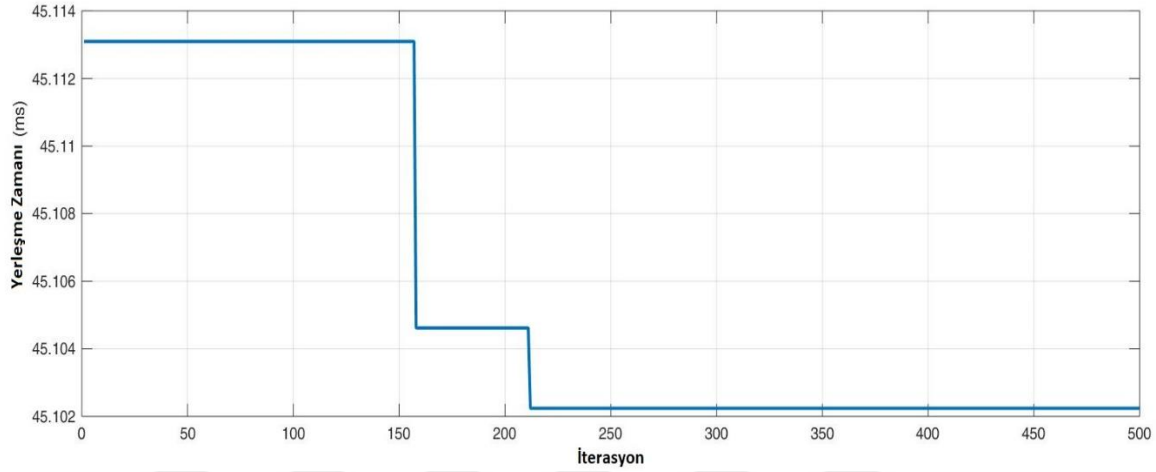
Şekil 4.22: Aşma için ABC optimizasyon sonuçları

ABC optimizasyon sonuçları Şekil 4.23'te gösterilmekte olup, %100 ağırlık alt hataya verilmiştir. Optimizasyon, P&I değerlerinin verilen limitleri arasında yapılmıştır.



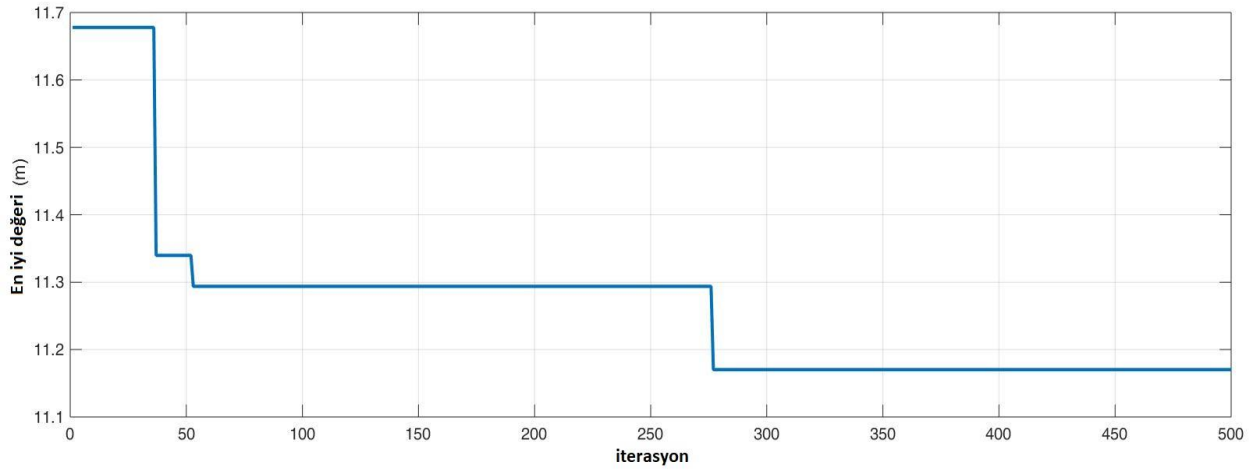
Şekil 4.23: Yetersizlik için ABC optimizasyon sonuçları

Yerleşme zamanı bir sonraki hatadır, ABC algoritmasına belirli bir limit dahilinde PI değerlerinin optimizasyonun sonuçları Şekil 4.24'te gösterilmektedir.



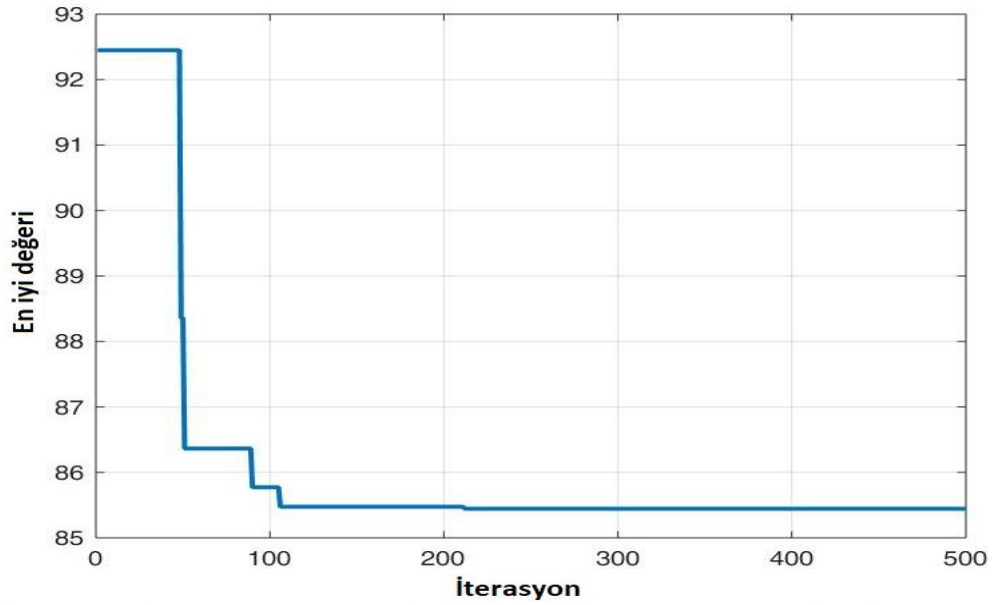
Şekil 4.24: Yerleşim zamanı için ABC optimizasyon sonuçları

Kararlı durum hatası, maksimum güç izlemeyi etkileyen faktörlerden biridir, dolayısıyla hatayı azaltmak için PI değerlerinin optimizasyonun ABC tarafından yapıldı ve sonuçlar aşağıdaki Şekil 4.25'te gösterilmektedir.



Şekil 4.25: SSE için ABC algoritması optimizasyon sonuçları

PV sisteminin toplam hatası, yukarıda belirtilen tek tek optimize edilmiş hataların toplamıdır, ancak sistem verimliliğini artırmak ve sistemden maksimum gücü elde etmek için optimizasyon, toplam hatayı azaltmak için ABC algoritması ile yapılmıştır ve sonuçlar aşağıdaki Şekil 4.26'de gösterilmektedir.



Şekil 4.26: Sistem hatası için ABC optimizasyonu

Yukarıda yapılan sistemin optimizasyonu farklı algoritmalar ile farklı sonuçlar almış ve hatalara verilen ağırlıklara göre sonuçlar değiştirilmiştir. Farklı ağırlıklar için ABC algoritması çıktıları aşağıdaki Tablo 4.3'te yazılmıştır:

Tablo 4.3: ABC optimizasyonundan elde edilen PI değerleri

NO #	OS	US	ST	SSE	P	I
1	100%	0	0	0	0.7751	86.055
2	0	100%	0	0	0.8666	71.60
3	0	0	100%	0	0.7967	62.057
4	0	0	0	100%	0.7988	92.546
5	25%	25%	25%	25%	0.7829	103.053

Kararlı durum hatası ve çökme süresi ölçümü mili cinsinden yapılırken, iki aşma ve aşmanın geri kalanı, hatanın yüzdesine göre optimize edilmiştir. Hatanın ağırlık yüzdesine göre, PI parametreleri bu tezde farklı algoritmalar ile optimize edilmiştir. Tablo 4.4, farklı algoritmalarından alınan PI değerleri ile sistemin en iyi çıkışının nasıl olduğunu göstermektedir. Daha iyi çıkış ve daha iyi verimlilik aşağıdaki kullanılan algoritmalar arasında görülebilir:

Tablo 4.4: GA, TLBO ve ABC'nin Sonuçları

Algoritmalar	GA	TLBO	ABC
Aşma (100%)			
Sonuç (%)	10.9495	1.08494	1.084955
P	1	1	0.7751
I	95.629	95.628	86.055
Yetersizlik (100%)			
Sonuç (%)	26.6121	26.6212	26.2461
P	0.952	0.9517	0.8666
I	71.696	71.695	71.60
Yerleşme Süresi (ms)			
Sonuç	45.008	45.008	45.102
P	0.698	0.75756	0.7967
I	70.502	92.296	62.057
Kararlı durum hatası (mili)			
Sonuç	10.7986	10.7986	11.1701
P	0.758	0.75756	0.79884
I	92.297	92.296	92.546
Genel fitness			
Sonuç	86.4273	86.4272	85.4432
P	0.992	0.9924	0.7829
I	95.695	95.695	103.053

Yukarıda yazılan her üç algoritmanın sonuçları sırasıyla her algoritmanın en iyisidir, oysa kullanılan üç algoritma tezi çalışmasının sonuçları birbirlerinden farklıdır. Sonuçların kısaltılması sonucunda, sistemin genel uygunluğu için en iyi PI değerleri, kullanılan algoritmalar arasında da en hızlı çalışan algoritma olan ABC algoritmasından alınmıştır.

Bireyler için PI optimizasyon sonuçları, diğer algoritmalar da iyi sonuçlar verdi. Kararlı durum hatasını ve çökme süresini azaltmak için optimizasyon sonuçları, GA ve TLBO daha iyi çıktılar elde etti, aşma için yapılan optimizasyon sonucunda TLBO algoritması geri kalanlar arasında en iyi sonucu aldı ve yetersizlik hatası için ABC Algoritması en iyi sonuç verilmiştir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışması, PV sistemlerinde maksimum güç noktası takibi üzerinedir. Tez çalışması, MPPT'nin literatürde nasıl yapıldığına dair bir genel bakış yapıldı. MPPT hem güneş izleme hem de algoritmalar kullanılarak yapılır. Bu çalışmasında, PV sisteminden maksimum güç elde etmek için kullanılan farklı çevrimiçi ve çevrimdışı algoritmalar açıklanmıştır. Çalışma genel olarak iki bölümden oluşur, ilk bölüm matlab simulink ile yapılan PV sistemidir ve işin ikinci bölümü MPPT için kullanılan algoritmalar. Çalışma genellikle çıkış voltajının dengelenmesi üzerinedir, böylece aşma, yetersizlik, durma süresi ve sabit durum hatalarının azaltılması hedeflenir. Bu tez çalışmasında kullanılan PV panel güneşten elektrik enerjisi üretir, sıcaklık, ısınım ve nem oradaki çıkış gerilimine ve akımına etki eder, bu tez çalışmasında gerilim sabit tutularak sistemden maksimum güç alınır. Çıkış gücü, ısınımla doğru orantılıdır ve dolaylı olarak sıcaklık ve nem ile orantılıdır, dolayısıyla ışık şiddeti, sıcaklık ve nem oranı ile çıkıştaki güç verim de değişir.

Bu tez çalışmasında PV sistemi, PV panel, boost dönüştürücü ve kontrolörden oluşan Matlab SIMULINK'te yapılmıştır. Kontrolör kısmı, bir PID ve bir görev döngüsü jeneratöründen oluşur. PV sistemini çalıştırmak daha fazla zaman alıyordu, bu nedenle optimizasyon süresini azaltmak için Yapay sinir ağı yapmak için 1000 giriş ve çıkış örneği almıştır.

Çalışmanın ilk kısmı, Matlab'da bulunan YSA araç kutusu tarafından yapılan ağın performans hatasını azaltmaktır, böylece Genetik Algoritma ve TLBO algoritması kullanılarak ağın ağırlığı ve eşik optimize edilmiştir. İşin ikinci kısmı, sistemden maksimum güç elde etmek ve sistemde güç kaybına neden olan hatayı azaltmak için PID denetleyicisini optimize etmektir. PID denetleyici optimizasyonu için Yapay arı kolonisi, Genetik ve Öğretme-Öğrenme tabanlı optimizasyon algoritmaları kullanılmıştır. Üç algoritmanın hepsinden elde edilen farklı sonuçlar yukarıda 4.4'te gösterilmiş ve açıklanmıştır.

Bu tez çalışması, algoritmalar kullanılarak güneş sistemlerinden maksimum güç noktalarının çıkarılmasına odaklanmıştır. Bu tez çalışmasında offline MPPT teknikleri kullanılmıştır, PID kontrolör sistemin çıkış gerilimine ve sistemden istenen çıkış gerilimine göre çalışmaktadır.

Kullanılan farklı algoritmanın farklı çıktıları mevcuttur, tek hata optimizasyonunda GA ve TLBO algoritması daha iyi sonuçlar verirken, sistemin toplam hatasını azaltmada ABC algoritması diğer ikisinden daha iyi sonuç elde etmiştir. Sonuç olarak, optimizasyondan en iyi PI değerleri alınarak sistem çıkışında toplam hata azaltılmış ve daha kararlı gerilim ile sistemde değerlendirilmiştir.

Aslında, tez çalışması sistemden kararlı bir voltaj elde etmek için yoğunlaştırıldı ve bu nedenle sonunda çıkış voltajında hedeflenen hatalar azaltıldı, böylece hataları azaltarak çıkış voltajı daha kararlı hale gelmektedir ve bu nedenle PV sisteminden maksimum güç alınmıştır.

PV sisteminin maksimum gücü alabilmesi için iki farklı tekniği mevcuttur. Bu tezde maksimum güç noktasını izlemek için algoritmalar kullanılırken, ileride hem güneş izleme hem de sistemden maksimum gücü alabilmek için algoritmalar kullanılacaktır. Her iki teknik aynı anda çok iyi bir verim verecek ve PV sistemin mevcut herhangi bir güneş koşulundan maksimum elektrik enerjisi üretmesini sağlayacaktır.



KAYNAKLAR

- [1] Kabir E, Kumar P, Kumar S, Adelodun AA, Kim K. Solar energy : Potential and future prospects 2018;82:894–900. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.094>.
- [2] El A, Ali H, Tacer ME. Implementation and Evaluation of Maximum Power Point Tracking (MPPT) Based on Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for Photovoltaic PV System 2017;7:1453–74.
- [3] Amın S, Akdağlı A, Yamaçlı V. CİSET - 2 nd Cilicia International Symposium on Engineering and Technology 10-12 October , 2019 , Mersin / TURKEY COMPARISON OF DC-DC CONVERTERS FOR MPPT IN PV SYSTEMS 2019:1–5.
- [4] Am S, Yama V, Akda A, Fac E, Eng E, Fac E, et al. ARTIFICIAL NEURAL NETWORK IMPLEMENTATION FOR DC-DC 2019:1–7.
- [5] Gopi RR, Sreejith S. Converter topologies in photovoltaic applications – A review. Renew Sustain Energy Rev 2018;94:1–14. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.047>.
- [6] Thueanpangthaim C, Wongyai P, Areerak K, Areerak K. Stand-Alone Photovoltaic System using Current Based Approach 2017:1–4.
- [7] Babaei SM, Yahyazadeh M. Novel MPPT for Linear-Rotational Sun-Tracking System Using Fractional Fuzzy Grey-Based Sliding Mode Control. Iran J Sci Technol Trans Electr Eng 2020;44:1379–401. <https://doi.org/10.1007/s40998-020-00324-6>.
- [8] Souza NSD, Lopes LAC, Liu X. AN INTELLIGENT MAXIMUM POWER POINT TRACKER USING PEAK CURRENT CONTROL 2005:172–7.
- [9] Faculty EE. Implementation of Artificial Bee Colony Algorithm on Maximum Power Point Tracking for PV Modules 2013:1–4.
- [10] Solar ECP, Conf E, Hovel HJ. United States Patent (19) 1985.
- [11] Asm A, Holding IP, Nl A, Fi H, Documents USP. United States Patent 2020;2.
- [12] HäberlinJan H, Sons JW&. Photovoltaics system design and practice. 2012.
- [13] Abdulal F, Anani N, Member S, Iee E, Bowring N. Comparative Modelling and Parameter Extraction of a Single- and Two-diode Model of a Solar Cell 2014:856–60.
- [14] Ishaque K, Salam Z, Taheri H. Solar Energy Materials & Solar Cells Simple , fast and accurate two-diode model for photovoltaic modules. Sol Energy Mater Sol Cells 2011;95:586–94. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2010.09.023>.
- [15] Campus H. cell for PV based generation in MA TLAB J] [(J] 2014:68–72.
- [16] Andrei H, Ivanovici T, Predusca G, Diaconu E. Curve Fitting Method for Modeling and Analysis of Photovoltaic Cells Characteristics n.d.
- [17] JYRI KIVIM AKI DESIGN ISSUES IN IMPLEMENTING MAXIMUM- POWER-POINT TRACKING ALGORITHMS FOR PV APPLICATIONS 2014.
- [18] Farahat MA, Metwally HMB, Mohamed AA. Optimal choice and design of different topologies of DC e DC converter used in PV systems , at different climatic conditions in Egypt. Renew Energy 2012;43:393–402. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.10.021>.
- [19] Nayak PK, Mahesh S, Snaith HJ, Cahen D. Photovoltaic solar cell technologies: analysing the

- state of the art. *Nat Rev Mater* n.d. <https://doi.org/10.1038/s41578-019-0097-0>.
- [20] Kolhe ML, Rasul MJMA. 3-Phase grid-connected building integrated photovoltaic system with reactive power control capability. *Renew Energy* 2020;154:1065–75. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.075>.
 - [21] Salas V, Oli E, Alonso M, Chenlo F. Overview of the legislation of DC injection in the network for low voltage small grid-connected PV systems in Spain and other countries 2008;12:575–83. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.07.009>.
 - [22] Kjaer SB, Pedersen JK, Member S, Blaabjerg F. A Review of Single-Phase Grid-Connected Inverters for Photovoltaic Modules 2005;41:1292–306.
 - [23] Mejia E, Andres C, Isaza H, Ricardo A. Connecting photovoltaic systems to the power grid 2009.
 - [24] Ishaque K, Salam Z. A review of maximum power point tracking techniques of PV system for uniform insolation and partial shading condition. *Renew Sustain Energy Rev* 2013;19:475–88. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.032>.
 - [25] Bhatnagar P, Nema RK. Maximum power point tracking control techniques : State-of-the-art in photovoltaic applications. *Renew Sustain Energy Rev* 2013;23:224–41. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.011>.
 - [26] Liu F, Kang Y, Zhang Y, Duan S. Comparison of P & O and Hill Climbing MPPT Methods for Grid-Connected PV Converter 2008:804–7.
 - [27] Kjær SB. Evaluation of the “ Hill Climbing ” and the “ Incremental Conductance ” Maximum Power Point Trackers for Photovoltaic Power Systems 2012;27:922–9.
 - [28] Eltawil MA, Zhao Z. MPPT techniques for photovoltaic applications. *Renew Sustain Energy Rev* 2013;25:793–813. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.022>.
 - [29] Simões R, Neto VF. Diamond and other Carbon Related Materials Applications in Photovoltaic Solar Cells 2013:1–5.
 - [30] Aureliano M, Brito G De, Galotto L, Sampaio LP, Azevedo G De, Canesin CA, et al. Evaluation of the Main MPPT Techniques for Photovoltaic Applications 2013;60:1156–67.
 - [31] Alonso R, Ibáñez P, Martínez V, Román E, Sanz A, Tecnológico P, et al. An Innovative Perturb , Observe and Check Algorithm for Partially Shaded PV Systems Keywords n.d.
 - [32] Shang L, Guo H, Zhu W. An improved MPPT control strategy based on incremental conductance algorithm 2020.
 - [33] Terán-rodríguez SA, Rojas-caicedo FJ, Inga-ortega EM. Duty cycle and radiation estimates using maximum load transfer point for optimization of a 100KVA photovoltaic system Estimaciones de ciclo de trabajo y radiación utilizando máximo punto de transferencia de carga para la optimización de un sistema fotovoltaico de 100KVA Conductance + Integral Regulator '. The switching duty cycle is optimized by an MPPT controller that uses the technique of duty cycle to generate the voltage required to extract the maximum power . 2020;14.
 - [34] Rani C. Different Conventional and Soft Computing MPPT Techniques for Solar PV Systems with High Step-Up Boost Converters : A Comprehensive Analysis 2020.
 - [35] Agarwal S, Jamil M. A Comparison of Photovoltaic Maximum Power Point Techniques

- 2015:1-6.
- [36] Kumari JS. C OMPARISON OF M AXIMUM P OWER P OINT T RACKING 2011;1:133-48.
- [37] Islamia JM, Delhi N. A Comparison of Photovoltaic Maximum Power Point Techniques 2015:1-6.
- [38] Vale T. Energy efficiency analysis of various topologies , control techniques and technologies used for photovoltaic panels 2014:23-8.
- [39] Verma D, Nema S, Shandilya AM, Dash SK. Maximum power point tracking (MPPT) techniques : Recapitulation in solar photovoltaic systems. Renew Sustain Energy Rev 2016;54:1018-34. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.068>.
- [40] Saravanan S, N RB. Maximum power point tracking algorithms for photovoltaic system - A review 2016;57:192-204. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.105>.
- [41] Jain S, Agarwal V. Comparison of the performance of maximum power point tracking schemes applied to single-stage grid-connected photovoltaic systems n.d.:753-62. <https://doi.org/10.1049/iet-epa>.
- [42] Electronic TA. Maximum Power Point Tracking for Low Power Photovoltaic 1994:758-61.
- [43] Kitano T, Matsui M, Xu D. Power Sensor-less MPPT Control Scheme Utilizing Power Balance at DC Link - System Design to Ensure Stability and Response - 2001;00:1309-14.
- [44] Engineering E. Improved Beta parameter based MPPT method in Photovoltaic system 2015:1405-12.
- [45] Jain S, Member S, Agarwal V, Member S. A New Algorithm for Rapid Tracking of Approximate Maximum Power Point in Photovoltaic Systems 2004;2:16-9.
- [46] Subudhi B, Member S, Pradhan R. A Comparative Study on Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Power Systems 2013;4:89-98.
- [47] Ramabadran R. Effect of Shading on Series and Parallel Connected Solar PV Modules n.d.;3.
- [48] Farid Golnaraghi, Benjamin C.Kuo; Automatic Control Systems; Ninth Edition.
- [49] Richard C.Dorf, Robert H.Bishop; Modern Control Systems; Twelfth Edition.
- [50] Beresford R. Basic concepts of artificial neural network (ANN) modeling and its application in pharmaceutical research 2000;22:717-27.
- [51] Yuksek AG. Technical Note An Example of Artificial Neural Network (ANN) Application for Indirect Estimation of Rock Parameters 2008;41:781-95. <https://doi.org/10.1007/s00603-007-0138-7>.
- [52] Dongare AD, Kharde RR, Kachare AD. Introduction to Artificial Neural Network 2012;2:189-94.
- [53] Badis A, Mansouri MN. PSO and GA-based maximum power point tracking for partially shaded photovoltaic systems 2016.
- [54] Koutroulis E, Blaabjerg F, Koutroulis E, Blaabjerg F. Electric Power Components and Systems Overview of Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Energy Production Systems Overview of Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Energy 2015;5008. <https://doi.org/10.1080/15325008.2015.1030517>.

- [55] Shaiek Y, Smida M Ben, Sakly A, Mimouni MF. Comparison between conventional methods and GA approach for maximum power point tracking of shaded solar PV generators. *Sol Energy* 2013;90:107–22. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.01.005>.
- [56] Karaboga D, Basturk B. On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm 2008;8:687–97. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2007.05.007>.
- [57] Qu D, Liu S, Zhang D, Wang J. Teaching-Learning Based Optimization Algorithm based on Course by Course Improvement 2015. <https://doi.org/10.1109/CIS.2015.20>.
- [58] Rezk H, Fathy A. Simulation of global MPPT based on teaching – learning-based optimization technique for partially shaded PV system. *Electr Eng* 2017;99:847–59. <https://doi.org/10.1007/s00202-016-0449-3>.
- [59] Rao R V, Savsani VJ, Vakharia DP. Computer-Aided Design Teaching – learning-based optimization : A novel method for constrained mechanical design optimization problems. *Comput Des* 2011;43:303–15. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2010.12.015>.
- [60] Chen X, Xu B, Yu K, Du W. Teaching-Learning-Based Optimization with Learning Enthusiasm Mechanism and Its Application in Chemical Engineering 2018;2018.
- [61] Roberts JJ, Cassula AM, Silveira JL, Prado PO. GAtoolbox: a Matlab - based Genetic Algorithm Toolbox for Function Optimization 2017.

ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

- 1.** Amin S, Akdağlı A, Yamaçlı V. CİSET - 2 nd Cilicia International Symposium on Engineering and Technology 10-12 October, 2019, Mersin / TURKEY COMPARISON OF DC-DC CONVERTERS FOR MPPT IN PV SYSTEMS 2019:1-5.
- 2.** Amın S, Akdağlı A, Yamaçlı V. CİSET - 2 nd Cilicia International Symposium on Engineering and Technology 10-12 October, 2019, Mersin / TURKEY ARTIFICIAL NEURAL NETWORK IMPLEMENTATION FOR DC-DC CONVERTERS IN SOLAR SYSTEMS 2019:1-5.

