T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN KISMİ GÖLGELİ KOŞULLARDA MAKSİMUM GÜÇ NOKTASININ TAKİBİNDE KULLANILAN OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİNİN PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMRAH GÜRKAN

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Doç. Dr. Ahmet GÜNER

BİNGÖL-2023

T.C.

BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN KISMİ GÖLGELİ KOŞULLARDA MAKSİMUM GÜÇ NOKTASININ TAKİBİNDE KULLANILAN OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİNİN PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Doç. Dr. Ahmet GÜNER danışmanlığında, Emrah GÜRKAN tarafından hazırlanan bu çalışma 13/06/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan	: Dr. Öğr. Üyesi Ömür AKYAZI	*İmza*	:
Üye	: Doç. Dr. Ahmet GÜNER	*İmza*	:
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Dursun ÖZTÜRK	*İmza*	:

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun ...../ ...../ ……..….. tarih ve . . . . . ./ . . . . . nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Zafer ŞİAR
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının hazırlanmasındaki süreçte bana yön veren her türlü bilgi birikimini benimle paylaşan, maddi ve manevi karşılaştığım sıkıntılarımda yardımlarını esirgemeyen tezimde büyük emeği olan saygıdeğer danışman hocam; Doç. Dr. Ahmet GÜNER'e teşekkürü borç bilirim.

Öğrenim hayatım boyunca büyük pay sahibi olan, annem ve babamın hayatımın her döneminde maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman eksikliğini hissettirmedikleri için özellikle de tezin hazırlanması sırasında sabır ve desteklerinden dolayı eşime ve oğluma teşekkürü bir borç bilirim.

Emrah GÜRKAN

Bingöl 2023

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ i
İÇİNDEKİLER ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ iv
ŞEKİLLER LİSTESİ v
TABLOLAR LİSTESİ ix
ÖZET x
ABSTRACT xi
1. GİRİŞ 1
2. MATERYAL VE YÖNTEMLER 6
2.1. Fotovoltaik Sistemler 6
2.1.1. FV Panel Modeli 7
2.1.2. Değişken Sıcaklık ve Işınım Durumunda Fotovoltaik Sistemlerin Tepkisi 8
2.1.3. Kısmi Gölgeli Koşullarında FV Panellerinin Tepkisi 9
2.2. DC-DC Yükselten (Boost) Dönüştürücü 11
2.3. Maksimum Güç Noktası Takibi için Kullanılan Algoritmalar 14
2.3.1. Geleneksel Algoritmalar 14
2.3.1.1. Değiştir ve Gözle Algoritması 14
2.3.1.2. Artımlı İletkenlik Algoritması 18
2.3.2. Metasezgisel Algoritmalar 21
2.3.2.1. Parçacık Sürü Optimizasyonu 21
2.3.2.2. Balina Optimizasyonu Algoritması 23
2.3.2.2.1. Çevreleyen Av Denklemi 23
2.3.2.2.2. Kabarcık Ağı Avı Yöntemi 24
2.3.2.2.2.1. Küçülen çevreleme mekanizması 24
2.3.2.2.2.2. Spiral güncelleme konumu 24
2.3.2.2.3. Av Arama 25
2.3.2.3. Gri Kurt Optimizasyon Algoritması 26
2.3.2.3.1. Avı Çevrelemek 27
2.3.2.3.2. Avlanma 27

2.3.2.3.3. Ava Saldırı 28
3. BULGULAR VE TARTIŞMA 31
3.1. Sabit Dağılımlı (Üniform) Işınım Altında Benzetim Çalışmaları 33
3.1.1. Sabit Dağılımlı Işınım Altında Geleneksel Yöntemler ile MGNT Analizi 34
3.1.2. Sabit Dağılımlı Işınım Altında Metasezgisel Algoritmalar ile MGNT Analizi 37
3.1.3. Kısmi Gölgeli Durum Altında Metasezgisel Algoritmalar ile MGNT Analizi . 41
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 53
KAYNAKLAR 55
ÖZGEÇMİŞ ..... **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

MGNT	: Maksimum güç noktası takibi
FV	: Fotovoltaik
PSO	: Parçacık sürü optimizasyonu
BO	: Balina optimizasyonu
GKO	: Gri kurt optimizasyonu
DG	: Değiştir gözle
Aİ	: Artımlı iletkenlik
GMGN	: Global maksimum güç noktası
YMGN	: Yerel maksimum güç noktası
BMD	: Bulanık mantık denetleyici
DA	: Doğru akım
Iph	: Işık şiddetine bağımlı akım kaynağı
Isc	: Kısa devre akımı
K_I	: Pv hücre kısa devre akımı sıcaklık katsayısı
Id	: Diyottan akan akım
Io	: Ters diyot akımı
Vm	: Maksimum güç voltajı
Im	: Maksimum güç akımı
Rs	: Seri direnç
Rsh	: Paralel direnç
n	: Kalite faktörü
k	: Boltzmann sabiti
q	: Elektron yükü
Tref	: Referans pv hücre sıcaklığı
G	: Işınım miktarı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Panel hücre kesiti 6
Şekil 2.2. FV modülün eşdeğer devresi 7
Şekil 2.3. Modüllerin seri bağlanmış hali 8
Şekil 2.4. Modüllerin paralel bağlanmış hali 8
Şekil 2.5. (a) Farklı ışınım değerlerine göre I-V grafiği ve P-V grafiği (b) farklı sıcaklık değerlerine göre I-V grafiği ve P-V grafiği 9
Şekil 2.6. Bypass diyotlarının FV sistemine bağlantısı 10
Şekil 2.7. P-V ve I-V karakteristiklerinde meydana gelen güç noktaları 11
Şekil 2.8. Yükselten dönüştürücü genel gevre yapısı 11
Şekil 2.9. Anahtarlama elemanının kapalı olduğu durumdaki devre gösterimi 12
Şekil 2.10. Anahtarlama elemanının açık olduğu durumdaki devre gösterimi 12
Şekil 2.11. Değiştir ve gözle algoritması ile maksimum güç noktası takibi 14
Şekil 2.12. Değiştir ve gözle algoritmasının çalışma prensibi 16
Şekil 2.13. Değiştirilmiş değiştir ve gözle algoritmasının çalışma prensibi 17
Şekil 2.14. Artımlı iletkenlik algoritması ile maksimum güç noktası takibi 18
Şekil 2.15. Artımlı iletkenlik algoritmasının çalışma prensibi 19
Şekil 2.16. Değiştirilmiş artımlı iletkenlik algoritmasının çalışma prensibi 20
Şekil 2.17. PSO algoritmasının çalışma prensibi 22
Şekil 2.18. Kambur balinaların kabarcık ağıyla beslenme davranışı 23
Şekil 2.19. Kabarcık ağı avı yöntemi: (a) küçülen çevreleme mekanizması, (b) spiral güncelleme pozisyonu 25
Şekil 2.20. Balina optimizasyonu algoritmasının çalışma prensibi 26
Şekil 2.21. Gri kurt optimizasyon algoritmasının çalışma prensibi 30
Şekil 3.1. Yükselten (boost) dönüştürücü kullanılan fotovoltaik sistem 31
Şekil 3.2. Fotovoltaik sistemin benzetim modeli 32
Şekil 3.3. Ani sabit ışınım değişiklerini içeren farklı durumlar için geleneksel Değiştir ve Gözle yöntemi ile elde edilen FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi 34

Şekil 3.4. Ani sabit ışınım değişiklerini içeren farklı durumlar için değiştirilmiş Değiştir ve Gözle yöntemi ile elde edilen FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi 35
Şekil 3.5. Ani sabit ışınım değişiklerini içeren farklı durumlar için geleneksel Artırımlı İletkenlik yöntemi ile elde edilen FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi 35
Şekil 3.6. Ani sabit ışınım değişiklerini içeren farklı durumlar için değiştirilmiş Artırımlı İletkenlik yöntemi ile elde edilen FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi 35
Şekil 3.7. Zamana göre değişen sabit ışınım seviyeleri 36
Şekil 3.8. Ani sabit ışınım değişiklerini içeren farklı durumlar için Değiştir ve Gözle yöntemi ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi 38
Şekil 3.9. Ani sabit ışınım değişiklerini içeren farklı durumlar için Artırımlı İletkenlik yöntemi ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi 38
Şekil 3.10. Ani sabit ışınım değişiklerini içeren farklı durumlar için Parçacık Sürü Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi 39
Şekil 3.11. Ani sabit ışınım değişiklerini içeren farklı durumlar için Gri Kurt Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi 39
Şekil 3.12. Ani sabit ışınım değişiklerini içeren farklı durumlar için Balina Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi 40
Şekil 3.13. Senaryo 1'e göre FV panel dizisi çıkışındaki (a) akım-gerilim ve (b) güç-gerilim eğrileri 43
Şekil 3.14. Senaryo 1'e göre kısmi gölgeli durum için Parçacık Sürü Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi 44
Şekil 3.15. Senaryo 1'e göre kısmi gölgeli durum için Gri Kurt Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi 44

Şekil 3.16. Senaryo 1'e göre kısmi gölgeli durum için Balina Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi 45
Şekil 3.17. Senaryo 2'e göre FV panel dizisi çıkışındaki (a) akım-gerilim ve (b) güç-gerilim eğrileri 45
Şekil 3.18. Senaryo 2'e göre kısmi gölgeli durum için Parçacık Sürü Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi 46
Şekil 3.19. Senaryo 2'e göre kısmi gölgeli durum için Gri Kurt Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi 46
Şekil 3.20. Senaryo 2'e göre kısmi gölgeli durum için Balina Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi 47
Şekil 3.21. Senaryo 3'e göre FV panel dizisi çıkışındaki (a) akım-gerilim ve (b) güç-gerilim eğrileri 47
Şekil 3.22. Senaryo 3'e göre kısmi gölgeli durum için Parçacık Sürü Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi 48
Şekil 3.23. Senaryo 3'e göre kısmi gölgeli durum için Gri Kurt Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi 48
Şekil 3.24. Senaryo 3'e göre kısmi gölgeli durum için Balina Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi 49
Şekil 3.25. Senaryo 4'e göre FV panel dizisi çıkışındaki (a) akım-gerilim ve (b) güç-gerilim eğrileri 49
Şekil 3.26. Senaryo 4'e göre kısmi gölgeli durum için Parçacık Sürü Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi 50
Şekil 3.27. Senaryo 4'e göre kısmi gölgeli durum için Gri Kurt Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi 50

Şekil 3.28. Senaryo 4'e göre kısmi gölgeli durum için Balina Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi 51

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Gerilim ve güç farklarına göre doluluk oranı eylemleri 14
Tablo 3.1. FV panel parametre değerleri (Trina Solar TSM-260PA05.08) 32
Tablo 3.2. Yükselten dönüştürücü parametre değerleri 33
Tablo 3.3. Seçilen algoritmalara ait parametreler 33
Tablo 3.4. Verimlilik ve güç kaybı karşılaştırması 36
Tablo 3.5. Seçilen yöntemlerin sabit dağılımlı ışınımlar için güç, verimlilik ve takip süresi değerlerinin karşılaştırmalısı 41
Tablo 3.6. Farklı senaryolar için FV panel dizisindeki her bir panele gelen ışınım sevileri 42
Tablo 3.7. Seçilen senaryolardaki güç-gerilim eğrileri üzerindeki yerel ve global tepe noktaları 42
Tablo 3.8. Seçilen yöntemlerin kısmi gölgeli durum için güç, verimlilik ve takip süresi değerlerinin karşılaştırılması 52

FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN KISMİ GÖLGELİ KOŞULLARDA MAKSİMUM GÜÇ NOKTASININ TAKİBİNDE KULLANILAN OPTİMİZASYON YÖNTEMLERİNİN PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Dünyada elektrik enerji üretiminde en çok kullanılan kaynaklar fosil yakıtlardır. Nüfus artışı ve teknolojinin gelişmesine bağlı olarak enerji talebindeki artış yakın gelecekte fosil yakıtların rezervlerinin sınırlı olmasına bağlı olarak fosil yakıtlar üzerinden karşılanamayacaktır. Bu durum alternatif yenilenebilir enerji üretim sistemleri arayışını zorunlu kılmıştır. Ayrıca fosil yakıtların çevreye verdiği zararlar ve maliyetindeki artışlar sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde güneş enerjisinden fotovoltaik (FV) panellerle elektrik üretimi çevreci, güvenilir ve gürültüsüz olması gibi avantajlarından dolayı ön plana çıkmaktadır. Ancak FV panellerin verimliliği çevre koşullarından önemli oranda etkilenmektedir. Bu nedenle, fotovoltaik sistemden maksimum güç elde etmek için maksimum güç noktası takibi (MGNT) teknolojisi gereklidir. Takip teknolojilerinde maksimum güç noktası elde edilmesindeki önemli stratejilerden birisi de maksimum güç noktası takip algoritmalarıdır. Bu çalışmada, sabit ışınım ve kısmi gölgeli durumlar için literatürde yer alan maksimum güç noktası takip algoritmaları incelenmiştir. Geleneksel MGNT yöntemlerinden olan klasik değiştir ve gözle, klasik artırımlı iletkenlik, ayrıca yeni kontrol stratejilerinde kullanılan değiştirilmiş değiştir ve gözle ve değiştirilmiş artımlı iletkenlik incelenmiştir. Metasezgisel yöntemlerden balina optimizasyonu, parçacık sürü optimizasyonu ve gri kurt optimizasyonu algoritmaları incelenmiştir. Sabit dağılımlı ışınım ve kısmi gölgeli durumlarında MGNT algoritmaların performansını karşılaştırmak için beş farklı senaryo geliştirilerek MATLAB/Simulink ortamında gerçekleştirilen benzetim çalışmalarıyla detaylı olarak incelenmiş ve performans sonuçları ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur.

Elde edilen benzetim sonuçlarına göre; değiştirilmiş değiştir ve gözle ile değiştirilmiş artımlı iletkenlik yöntemleri, klasik değiştir ve gözle ile klasik artımlı iletkenlik yöntemlerine göre daha üstün performansa sahip olduğu, meta-sezgisel yöntemlerin farklı kısmi gölgeli koşullar için değiştir ve gözle ile artımlı iletkenlik gibi geleneksel yöntemlere kıyasla daha iyi performansa sahip oldukları, kısmi gölgeli koşullar için balina optimizasyon algoritmasının doğruluk ve izleme süresi açısından parçacık sürü optimizasyonu ve gri kurt optimizasyonu algoritmalarına göre üstün olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik sistemler, maksimum güç noktası takibi, kısmi gölgeli koşul, metasezgisel algoritma, parçacık sürü optimizasyonu, gri kurt optimizasyonu, balina optimizasyonu

COMPARISON OF THE PERFORMANCES OF OPTIMIZATION METHODS FOR MAXIMUM POWER POINT TRACKING UNDER PARTIAL SHADING CONDITIONS IN PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

ABSTRACT

One of the most current resources to generate electric energy in the world is fossil fuels. It is seen not to possible to supply energy in near future from fossil fuels because rise of energy demand depending population increase and technological developments due to limited reserve of fossil fuels. This situation makes forcedly search of alternative renewable energy systems. In addition, the demand for renewable energy sources has increased due to the damage of fossil fuels to the environment and the increase in their costs. Among renewable energy sources, electricity generation from solar energy with photovoltaic (PV) panels stands out due to its advantages such as being environmentally friendly, reliable and noiseless. However, the efficiency of PV panels is significantly affected by environmental conditions. Therefore, maximum power point tracking (MPPT) technology is required to extract maximum power from the photovoltaic system. One of the important strategies in obtaining maximum power point in tracking technologies is maximum power point tracking algorithms. In this thesis, maximum power point tracking algorithms in the literature for uniform irradiance and partial shading conditions are examined. Traditional MPPT methods classical perturbation and observation, classical incremental conductance, as well as modified perturbation and observation and modified incremental conductance used in new control strategies were examined. Whale optimization, particle swarm optimization and gray wolf optimization algorithms from metaheuristic methods are examined. Five different scenarios were developed to compare the performance of MPPT algorithms in the case of uniform irradiance and partial shading conditions, and they were analyzed in detail with simulation studies carried out in MATLAB/Simulink, and the performance results were presented in detail.

According to the obtained simulation results, it has been observed that; Modified perturbation and observation and modified incremental conductance methods have superior performance than classical perturbation and observation and classical incremental conductance methods, metaheuristics have better performance for different partial shading conditions compared to traditional methods such as perturbation and observation and incremental conductance, the whale optimization algorithm for partial shading conditions is superior to particle swarm optimization and gray wolf optimization algorithms in terms of accuracy and tracking time.

Keywords: Photovoltaic systems, maximum power point tracking, partial shading condition, metaheuristic algorithm, particle swarm optimization, gray wolf optimization, whale optimization

1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki büyük artış nedeniyle elektrik enerjisi tüketimi önemli ölçüde yoğunlaşmıştır. Yenilenebilir enerjinin kullanımı ve uygulanması, küresel toplumun endişelerinden birini çözmektedir. Fosil yakıtların kullanımı artık yeterli olmadığından [1], tüm yenilenebilir enerji kaynakları arasında en iyi geleceğe güneş enerjisi sahiptir [2,3]. Özellikle fotovoltaik (FV), hükümetlerin destekleyici politikaları ve son zamanlarda maliyetindeki büyük düşüş [4] nedeniyle hızla genişlemektedir. Aynı zamanda, neredeyse tüm dünya bölgelerinde önemli uzun vadeli büyüme potansiyeline sahip, güvenilir ve ticari olarak temin edilebilen bir teknolojidir. Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD), 2050 yılına kadar FV sistemlerinin küresel elektrik üretiminin yaklaşık %12'sini sağlayabileceğini ve her yıl atmosfere 2,3 Gigaton karbon dioksit salınımını engelleyebileceğini tahmin etmektedir [5,6].

Bununla birlikte FV sistemler, yüksek bir ilk kurulum maliyeti ve güneş enerjisinin sadece %12'sinden %25'ine kadarını elektriğe dönüştürebilmesinden [4,7] dolayı enerji üretiminde düşük performans gibi kayda değer dezavantajlar sunmaktadır. Bu nedenle araştırmacılar, maksimum güç noktası takibi (MGNT) yöntemleriyle üretilen toplam elektrik enerjisi miktarını en üst düzeye çıkarmanın yollarını aramaktadırlar. FV sistemlerde MGNT kontrolörleri, temel bir özelliktir ve çıkış gücünün en yüksek seviyede olmasını sağlamaktadır. Yani MGNT ile FV sistemin genel verimliliği maksimize edilmektedir. Bir MGNT kontrolör, bir DC-DC dönüştürücü ve bir kontrol algoritmasına sahip gömülü bir elektronik sistem olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır. Tüm olası çevresel ve çalışma koşullarında mevcut olan maksimum enerji miktarını sağlamak ve bunu gerçek zamanlı olarak yapmak için tüm FV kurulumlarına entegre edilmiştir. MGNT algoritmaları, uygulama kolaylığı, gerekli sensör sayısı, etkinlik aralığı, farklı güneş ışınımlarında ve sıcaklıklarda sürekli değişiklikleri takip edip edemedikleri, maliyet ve donanımsal olarak uygulanabilir olup olmadıkları gibi birçok açıdan sahip oldukları özelliklere göre değişiklikler göstermektedirler [8].

MGNT algoritmaları, temel olarak model tabanlı algoritmalar, eğitim tabanlı yöntemler ve arama yöntemleri olarak sınıflandırılmaktadır. Modele dayalı yöntemler, FV kaynağının özelliklerini temsil etmek ve MGN'nın tam veya doğru formülasyonunu bulmak için matematiksel bir modele bağlıdır. Eğitime dayalı yaklaşımlar, MGNT işlevini gerçekleştirmek için önceden eğitim bilgilerine ihtiyaç duyan yapay sinir ağı veya bulanık mantık denetleyicisi kullanır. Arama tekniklerinde, kontrol parametresini MGN'na yönlendirmek için FV kaynağının ölçülen voltajı ve/veya akımı kullanılır [9, 10]. Arama yöntemleri de kendi içerisinde geleneksel ve metasezgisel yöntemler olarak iki grup altında incelenmektedir.

FV sistemlerde MGNT kontrolü için en popüler algoritmalar Değiştir ve Gözle (DG) [11], Artımlı İletkenlik (Aİ) [12] ve Sabit Voltaj [13] algoritmalarıdır. Bu algoritmalar, aynı ışınım ve sıcaklık koşulları altında çok iyi çalışması ve uygulanması çok kolay olması gibi avantajlara sahiptirler. DG ve Aİ algoritmaları çoğunlukla FV sistemlerinden maksimum gücü elde etmek için kullanılır. [14]'te DG ve Aİ teknikleri arasında yakın zamanda yapılan bir karşılaştırmalı analizi rapor edilmektedir. Her ikisinin de maksimum gücü elde etmek için kullanılabilirliği gösterilmektedir. Yapılan karşılaştırma sonucunda Aİ, DG algoritmasından daha hızlı bir yanıta ve Aİ algoritmasının MGN çevresinde daha az salınımlara sahip olduğu gösterilmektedir.

Birçok araştırmacı, geleneksel DG algoritmasının iyileştirilmesine odaklanmıştır. [15-18]'de değişken bir gözlem adım boyutu amaçlanırken, [19,20]'de değiştirilmiş ve adaptif sabit gözlem adım boyutlu yöntemler sunulmuştur. Sabit adımlı bir DG algoritmasında adım büyüklüğü dikkatle seçilmelidir, çünkü büyük adım boyutu, izlenen maksimum noktasının gerçek MGN'dan uzak olmasına ve daha yüksek güç kaybına neden olmaktadır. Küçük adım boyutu kullanmak ise sistemin yavaş geçici tepki vermesine yol açmasına ve FV dizisinin genel performansını düşmesine neden olmaktadır [21].

Fakat, bu algoritmalar ortamdaki sürekli değişikliklere uyum sağlamak ve kısmi gölgeli durumlarda MGN'nı takip edebilme gibi durumlarda başarısız olmaktadırlar [22]. Yani global MGN (GMGN) ile yerel MGN (YMGN) arasında ayrım yapmazlar ve büyük olasılıkla yerel bir MGN olan ilk gelen MGN'na yakınsarlar. Bu durum, istenen optimal enerji verimliliğinde yaklaşık %70'e varan önemli bir kayba neden olmaktadır [23]. Bu

nedenle literatürde farklı alternatif çözümler önerilmiştir. Örneğin, [24]'de MGN'na hem düşük hem de yüksek güneş ışınımı koşullarında yüksek verimlilikle izlemek için bir sabit voltaj algoritmasını değiştirilmiş bir DG yöntemiyle birleştirilmektedir. Algoritma, FV çıkış voltajı panelin açık devre voltajına yakın olana kadar görev döngüsünü artırarak çalışır, bu daha sonra MGN izleyici için başlangıç koşulları olarak kullanılmaktadır. Benzetim sonuçları, FV panelinden genel olarak daha fazla enerjinin çekilebileceğini göstermektedir, fakat iki yöntemi birleştirmenin bir komplikasyonu dezavantaj olarak belirtilmektedir. [25]'de önerilen yöntem, koşulların değişmesinin neden olduğu güç değişimi miktarını ölçmek için her değiştirme işleminde ışımayı değiştiren bir tahmin işlemi ekler. Sonuçlar, geleneksel DG yöntemine göre daha iyi performansa sahip olduğunu göstermektedir. [26]'da değişken adım boyutuna sahip bir Aİ tekniği önerilmiştir. Bu yaklaşım, adım boyutunu güneş paneli dizisinin çalışma noktasına göre otomatik olarak ayarlamaktadır. Çalışma noktasının MGN'dan uzak olduğuna karar verildiğinde, algoritmanın MGN'na doğru hızlı bir şekilde çalışma noktasına yaklaşmasını sağlamak için algoritma adım boyutunu artırmaktadır. Ancak çalışma noktası MGN'na yakın olduğunda adım boyutu küçültülür. Böylelikle basamak boyutunun varyasyonu sayesinde hem iyileştirilmiş doğruluk hem de hız elde edilmektedir.

Geleneksel MGNT teknikleri genellikle tek tip ışınım koşulları için kullanılır. Tek tip ışınım koşulları altında, tüm teknikler iyi performans gösterir. Ancak kısmi gölgeleme koşullarında performansları düşmektedir [27,28]. Kısmi gölgeleme koşulları sırasında P–V eğrilerinde birden fazla tepe noktası görünür. Bununla birlikte, her eğride görünen tek bir MGN vardır ve bu global tepe noktası olarak bilinir, geriye kalan tepe noktaları ise yerel tepe noktası olarak adlandırılır. Ayrıca tek tip ışınım koşullarında yalnızca bir global tepe noktası vardır ve yerel tepe noktası yoktur. Ancak, kısmi gölgeleme koşulları kapsamında birçok yerel tepe noktası vardır ve yalnızca tek bir global tepe noktası vardır. Kısmi gölgeleme, ağaçların, binaların, kuşların veya tozların gölgesi vb. gibi birden fazla kaçınılmaz duruma bağlı olarak oluşur [29]. Kısmi gölgeleme altında, birçok yerel maksimum noktalarından global maksimum noktasını tespit etmek için MGNT algoritması gereklidir [30]. Çoğu durumda, kısmi gölgeleme sorunları kaçınılmaz hale gelir. Örneğin, Almanya'da kurulan FV sistemlerinin neredeyse %41'i kısmi gölgeli FV sistemlerine sahiptir [31,32]. Kısmi gölgelemeden kaçınmak için çok sayıda metasezgisel algoritmalara dayalı teknikler geliştirilmiştir [33]. Bu algoritmalardan bazıları şunlardır, Karınca

Kolonisi [34,35], Guguk Kuşu Algoritması [36,37], Ateşböceği Algoritması [38,39], Balina Optimizasyonu [40,41], Gri Kurt Algoritması [42,43] ve Parçacık Sürü Algoritmasıdır[44,45]. Bunlar, olası çözümleri birleştirerek veya rastgele değişkenler kullanarak global MGN'nı tespit edebildikleri için önerilmiştir. Bu algoritmalar, olası çözümü bulmak için her yinelemede birkaç parçacık uygulamakta ve çok sayıda parçacık, doğruluğu veya hızı artırabilmektedir. Ayrıca, bu teknikler evrim ilkesi altında çalışır ve optimum noktayı bulmak için çoklu yinelemeler kullanır [46,47].

PSO'nun uygulanması basit olmasına ve optimal noktayı bulabilmesine rağmen, parçacıkların başlangıç pozisyonuna büyük ölçüde bağımlıdır, ayrıca hesaplama açısından yoğun ve zaman alıcıdır, bu da arama doğruluğunu kademeli olarak azaltmaktadır [45]. [48]'de değiştirilmiş bir PSO yöntemi önerilmiştir. Bu algoritmada, rasgele sayıya sahip birçok değişkenin kullanılması nedeniyle, GMGN'nı mükemmel bir şekilde bulmak için daha fazla yineleme gerektirir ve bu durum GMGN'na yakınsama hızını PSO'dan daha düşük hale getirir.

Balina optimizasyonu ve gri kurt optimizasyonu, FV sistemlerinde kısmi gölgeleme sorunlarını çözmek için son zamanlarda birçok araştırmacı tarafından kullanılan metasezgisel yöntemlerin nispeten yeni üyeleridir. [40-43]'te bakıldığında, bu algoritmalarda bir veya iki kontrol parametresi gerektirdiğinden ve GMGN'na yakınsaklıkları arama sürecinin başlangıç koşullarına bağlı olmamasından, her iki algoritmanın da basitliğini ve esnekliğini göstermektedir. Öte yandan literatürde, iki tekniğin faydalarını birlikte elde etmek için bazı çalışmalarda hibrit teknikler önerilmiştir [49]. Bu hibrit tekniklerde, farklı çalışma koşulları altında iki farklı teknik bir arada kullanılmıştır. Örneğin, GKO destekli DG (GKO-DG) [50] ve bulanık mantık denetleyicili GKO (GKO-BMD) [51] gibi bazı hibrit teknikler, kısmi gölgeleme durumda GKO algoritmasının etkinliğini artırmak için önerilmiştir. Bu hibrit tekniklerin MGNT uygulamalarında kullanılması [52]'de değerlendirilmiştir. Ancak, metasezgisel tekniklerin doğasında var olan sorun, görev döngüsünün optimal başlangıç değerini belirleyememeleridir. Ayrıca, bu hibrit teknikler orijinal yöntemden daha iyi sonuçlar vermesine rağmen, tasarlanan MGNT kontrolörleri karmaşık ve zaman alıcıdırlar.

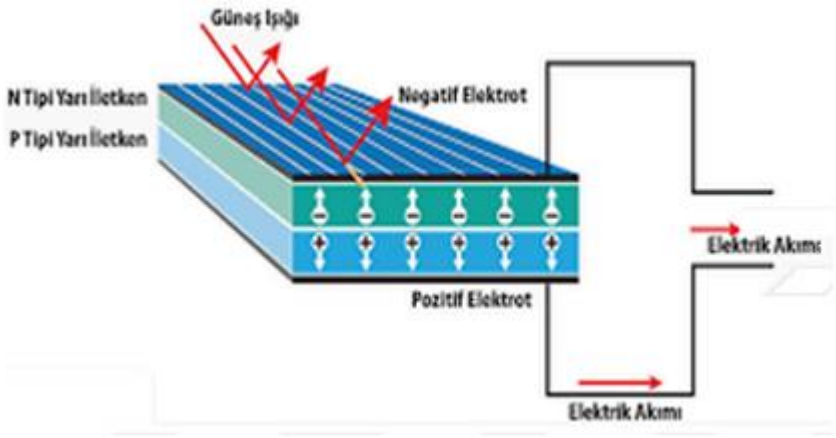
MGNT için geleneksel ve metasezgisel beş farklı yöntemin MATLAB/Simulink ortamında DA-DA yükselten dönüştürücü ile sabit dağılımlı ışınım ve kısmi gölgeli durumlar için maksimum güç noktasını takip etme performansı araştırılacaktır. Bunu yaparken kısmi gölgeli durumlar ve sabit dağılımlı ışınım altında sabit sıcaklık değerlerinde sistemin davranışı analiz edilecektir.

Bu tez çalışması dört bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde, yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan güneş enerjisinden faydalanabilmemizi sağlayan fotovoltaik sistemlerin önemi vurgulanmış. Maksimum güç noktası takibinin ne olduğu ve kullanılan yöntemler ile ilişkili literatürde bulunan bazı çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Materyal ve yöntemler bölümünde, analizlerin gerçekleştirildiği benzetim modelindeki kullanılan birimler ve maksimum güç noktası takibi yöntemleri tanıtılmıştır. Bulgular ve tartışma bölümünde, benzetim modeli ile elde edilen sonuçlar hem grafiksel hemde sayısal olarak karşılaştırılmıştır. Sonuçlar ve öneriler bölümünde, tez çalışmasında önerilen yöntemler ile gerçekleştirilen karşılaşmalardan elde edilen sonuçlar hakkında bilgiler sunulmuştur.

2. MATERYAL VE YÖNTEMLER

2.1. Fotovoltaik Sistemler

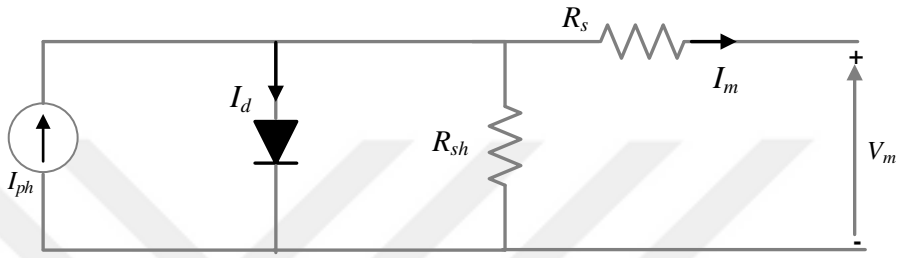
İlk kez 1839 yılında Alexandre Edmond Becquerel tarafından ışık enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi fotovoltaik etki olarak tanımlamıştır. Güneşten gelen ışınların FV panel hücrenin üzerine yansıması sonucunda hücrenin içerisinde kimyasal tepkime oluşturarak gerilim meydana getirmektedir. Bu gerilimi meydana getiren güneş ışınımı içerisindeki elektromanyetik parçacık taşıyan fotonlardır. Güneş ışınımıyla gelen fotonlar FV panele çarptığında belli kısmı yansımakta belli kısmı yutulmaktadır, yutulan fotonlar hücre içerisine geçtiğinde atomlardaki elektron miktarını artırarak potansiyel fark oluşturur ve gerilim meydana getirir [53]. Elektronların akışı için Şekil 2.1'deki panel hücre kesiti içerisinde de belirtilen P-N tipi bölgeler oluşturarak elektron akışı gerçekleştirilir [54]. Potansiyel farkın oluşumundaki elektron kaynağı tamamen güneş ışığındaki fotonlardır. FV panel hücre içerisinde fotonların yüksek oranda olması doğru orantılı olarak FV panelden üretilen gerilim kaynağını artırmaktadır. Bu sebeple FV panellerin yapısında silikon gibi yarı iletken malzemeler kullanılmaktadır. Silikonların özelliği güneş ışınımından gelen fotonların yüksek oranda yutarak hücrenin içinden geçirilmesini sağlamaktır.



Şekil 2.1. Panel hücre kesiti

2.1.1. FV Panel Modeli

FV panellerde tek veya çift diyotlu olmak üzere iki çeşit eşdeğer devre modelleri kullanılmaktadır. Bu modellerden tek diyotlu eş değer devresi daha basit yapısıyla ve içeriğinde karmaşık hesapların olmaması sebebiyle daha sık tercih edilmektedir [55]. Bu çalışmada tek diyotlu eş değer devresi incelenmiştir. Bir FV panel akım kaynağı ve bu akım kaynağına paralel olacak şekilde bağlanan bir adet diyottan oluşmaktadır. Şekil 2.2'de tek diyotlu bir FV modülün eşdeğer devresi verilmiştir.



Şekil 2.2. FV modülün eşdeğer devresi

Burada I_{ph} FV'in ışınım seviyesine bağımlı akım kaynağını, I_d diyot üzerinden geçen akımını, R_{sh} paralel kaçak akım direncini, R_s iç kayıplar için kullanılan seri direncini temsil etmektedir. Kirchhoff akım kanunu bu eş değer devreye uygulanarak FV hücreye ait genel akım-gerilim karakteristikleri Denklem 2.1 ve Denklem 2.2'de gösterilmiştir [56]:

$$I_m = I_{ph} - I_d \tag{2.1}$$

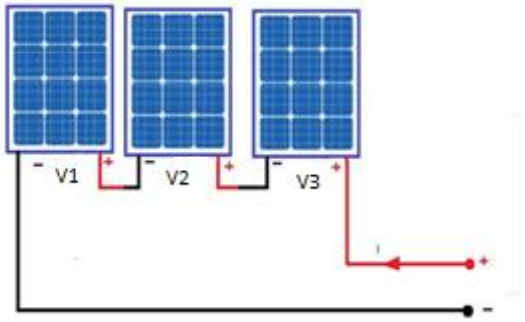
$$I_m = I_{ph} - I_0 \left[exp\left(\frac{q(V_m + IR_s)}{n.k.T} \right) - 1 \right] - \frac{V_m + I_m R_s}{R_{sh}} \tag{2.2}$$

Denklem 2.2'de, n ideal faktörünü, k Boltzmann sabitini, q elektron yükünü, T panel hücresi sıcaklığını, V_m panel hücresine düşen gerilim değerini, I_0 ise ters diyotun ters doyum akımını temsil etmektedir.

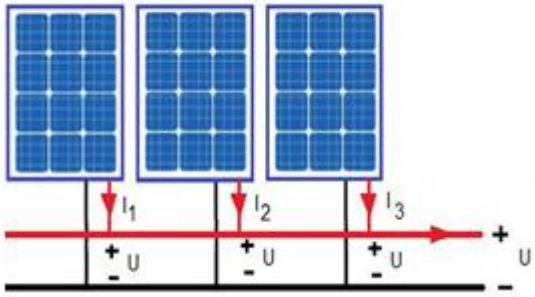
Işık şiddeti ve sıcaklık, fotoakımının değerini etkileyen önemli etkenlerdir. Denklem 2.3'te görüldüğü gibi ışık şiddetinin artışı fotoakımı değerini arttırırken, sıcaklığın artmasıyla fotoakımı değeri azalmaktadır. Bunun sebebi denklemdeki K_1 katsayısı negatif işaretlidir. Dolayısıyla fotoakım değeri sıcaklıkla ters, ışık şiddeti ile doğru orantılıdır.

$$I_{ph} = \left[I_{sc} + K_1\left(T_c - T_{ref}\right)\right]\frac{G}{1000} \tag{2.3}$$

I_{sc} kısa devre akımını, K_1 FV hücre kısa devre akımı sıcaklık katsayısını, T_c FV hücre sıcaklığını, T_{ref} referans FV hücre sıcaklığını, G ışınım miktarını temsil etmektedir.



Şekil 2.3. Modüllerin seri bağlanmış hali



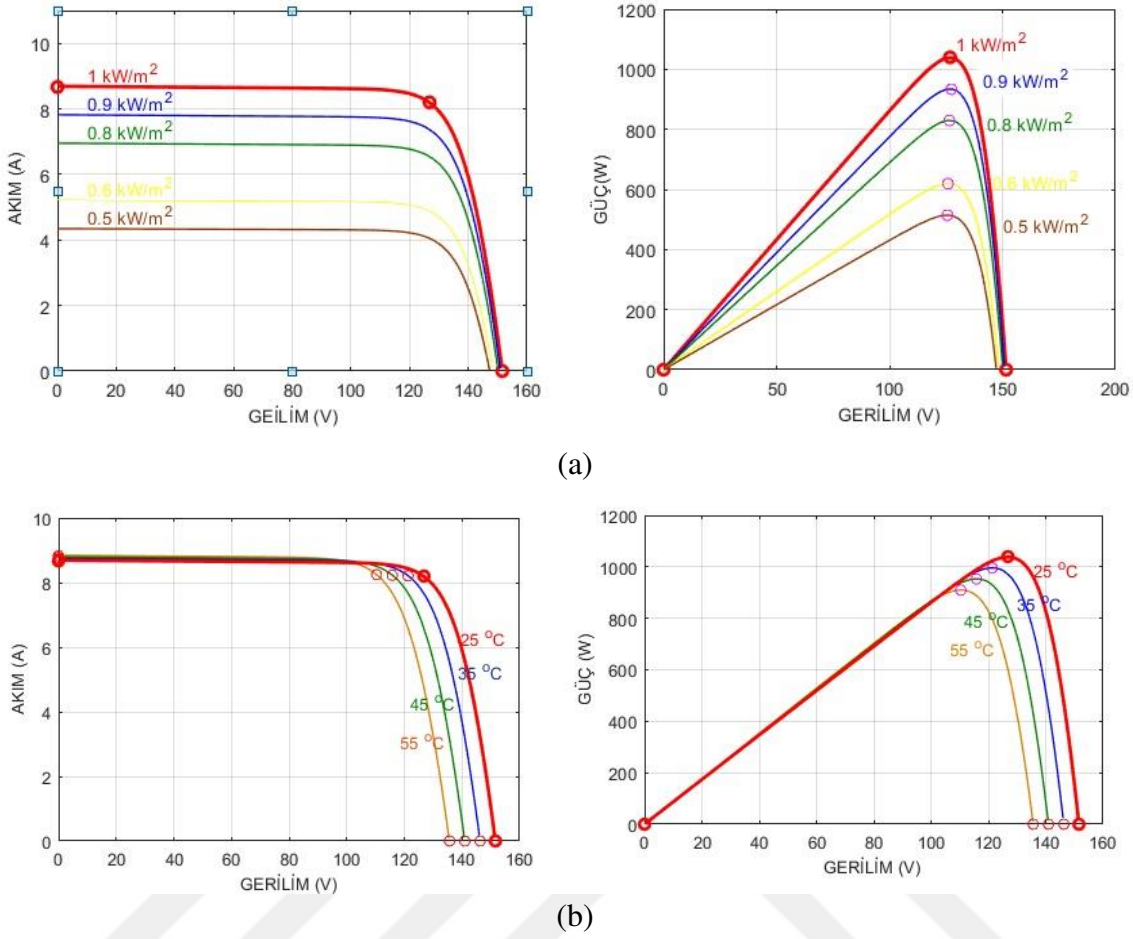
Şekil 2.4. Modüllerin paralel bağlanmış hali

FV panel modüllerini seri veya paralel bağlayarak sistemin gerilimi ve akım değerlerinde artış meydana gelir. Gerilim değerini artırmak için modüller birbirine seri bağlanır, akım değerini artırmak için modüller birbirine paralel bağlanır. Modüllerin seri veya paralel bağlandığı varsayılırsa Denklem 2.2 düzenlendiğinde Denklem 2.4 elde edilir. Burada N_s seri hücre sayısını, N_p ise paralel hücre sayısını temsil etmektedir [57].

$$I_m = N_p.I_{ph} - N_p.I_0\left[\exp\left(\frac{\left(q\left(\frac{V_m}{N_s} + \frac{I.R_s}{N_p}\right)\right)}{n.k.T}\right) - 1\right] - \frac{\frac{N_p.V_m}{N_s} + I_m.R_s}{R_{sh}} \tag{2.4}$$

2.1.2. Değişken Sıcaklık ve Işınım Durumunda Fotovoltaik Sistemlerin Tepkisi

FV sistemlerde sıcaklık ve ışınım şiddeti FV panelin verimini etkileyen en önemli iki faktörlerin başında gelmektedir. Test koşullarında bir FV panelin ışınım değeri 1000 W/m^2, sıcaklık değeri ise 25°C ideal kabul edilmektedir. Bu ideal koşullar her zaman oluşmayabilir bu nedenle değişken durum karşısında akım ve gerilim değerleri etkilenir [58]. Şekil 2.5'te, 1300 W güce sahip FV panelin farklı ışınım ve sıcaklık değerlerine göre I-V ve P-V grafikleri verilmiştir.



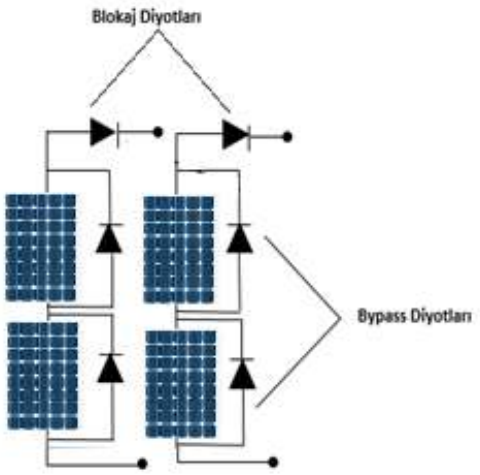
Şekil 2.5. (a) Farklı ışınım değerlerine göre I-V grafiği ve P-V grafiği (b) farklı sıcaklık değerlerine göre I-V grafiği ve P-V grafiği

Şekil 2.5 (a) incelendiğinde sıcaklık sabit tutularak panele 5 farklı ışıma değeri uygulanmıştır. Panelde ışıma değerindeki artış akım değerini o kadar yükseltmektedir. Akımın artması panelin çıkış gücünü etkileyeceği için çıkış gücüde doğru orantılı olarak akımın artışına bağlı olarak artmaktadır. Şekil 2.5 (b)'de ise sabit ışınım değerinde sıcaklığın artması gerilim değerinde azalma meydana geldiği görülmektedir. Gerilim azalması panelden elde edilecek gücü doğrudan etkilediği için güç değerinde azalma meydana gelmiştir.

2.1.3. Kısmi Gölgeli Koşullarında FV Panellerinin Tepkisi

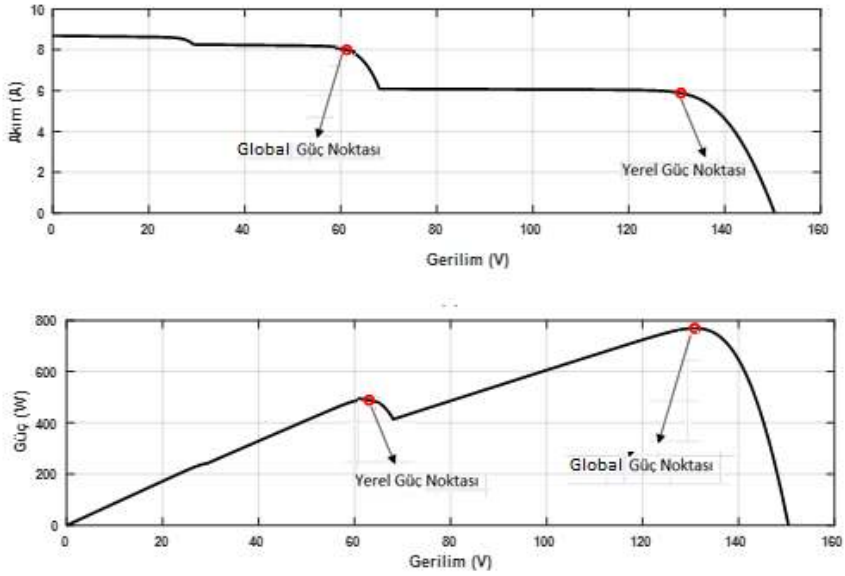
Kısmi gölgeli koşullar FV panellerin verimini en çok etkileyen durumlardır. Kısmi gölgeli koşullar bulut, bina, ağaçların gölgesi gibi çeşitli çevresel faktörlerden oluşmaktadır. Seri bağlanan panel hücreleri kısmi gölgelenme sonucu farklı ışınımlara maruz kalabilir. Bu durumda kısmen bazı panel hücrelerine daha az güneş ışınımı yansıyacağından diğer panel

hücrelerine kıyasla daha düşük akım üretimi gerçekleşecektir. Panelin üreteceği güç, akım değerine bağlı olduğundan panel gücünde düşüş meydana gelecektir [56]. Panel hücrelerinde kısmi gölgeli durumlarda sıcak nokta denilen bir olay meydana gelmektedir. Bunun sebebi gölgeli olmayan hücrelerde gölgeli olan hücrelerden daha yüksek akım geçmesidir. Sıcak nokta, panellerin aşırı ısınmasına bağlı olarak fiziksel yapılarında büyük zarar görmesine sebep olmaktadır. Sıcak noktanın oluşmasını önlemek için hücrelere paralel bağlanan bypass diyotları olarak isimlendirilen diyotlar kullanılır. Şekil 2.6'da panellere bypass diyotunun paralel bağlantısının nasıl yapıldığı gösterilmektedir. Böylece bypass diyotu panelde oluşabilecek sıcak nokta ortaya çıkmasına karşı koruma sağlamaktadır. Bu diyotlar gölgelenme olmayan koşullarda pasif durumdadır.



Şekil 2.6. Bypass diyotlarının FV sistemine bağlantısı

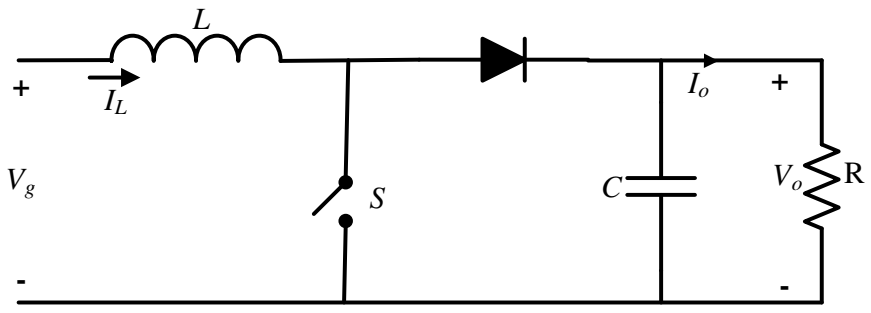
Bypass diyotları iletimdeyken bazı dezavantajlar ortaya çıkmaktadır. Bu dezavantajlardan en önemlisi bypass diyotu iletime geçtiğinde akım doğrudan diyot üzerinden akarak panellerde üretilecek gücü kesmesidir. Bunun sonucunda panelin akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) karakteristik eğrisinde tek bir maksimum tepe noktası oluşması yerine birçok tepe noktaları oluşmasına neden olmaktadır. Bu noktalardan maksimum çıkış gücüne ulaşılan noktaya global maksimum güç noktası (GMGN) olarak isimlendirilir. Diğer tepe noktaları ise yerel maksimum güç noktası (YMGN) olarak isimlendirilir [56, 59]. Şekil 2.7'de 2 adet seri bağlı panelde kısmi gölgelenme sonucunda oluşan global ve yerel maksimum güç noktaları gösterilmektedir.



Şekil 2.7. P-V ve I-V karakteristiklerinde meydana gelen güç noktaları

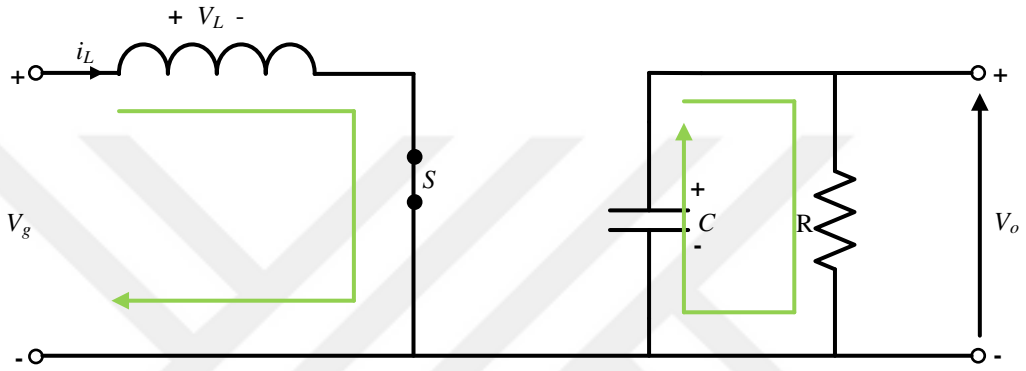
2.2. DC-DC Yükselten (Boost) Dönüştürücü

Güneş panellerinin farklı hava koşullarında maksimum güç noktasında çalıştırılması istenir. Bu amaca yönelik güneş paneli ile yük arasında DC-DC dönüştürücü devreleri kullanılır. Bu DC-DC dönüştürücüler yükselten (boost) dönüştürücü, düşüren (buck) dönüştürücü, düşüren-yükselten (buck-boost) dönüştürücü olmak üzere 3 temel yapıdan oluşmaktadır. Bu çalışmada yükselten dönüştürücü devresi kullanılmıştır. Yükselten dönüştürücüler bir devrenin giriş gerilimini trafo olmadan daha yüksek çıkış gerilimi elde edilmesini sağlayan elektronik devrelerdir. Şekil 2.8'de yükselten dönüştürücünün genel devre yapısı gösterilmektedir.



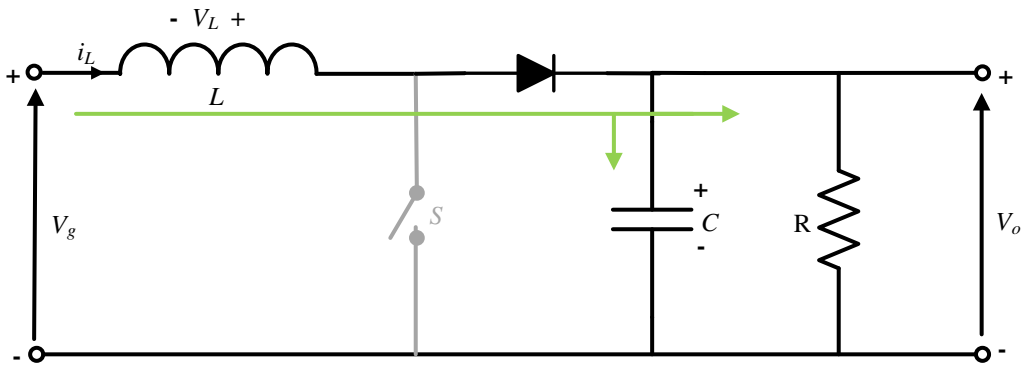
Şekil 2.8. Yükselten dönüştürücü genel devre yapısı

Devrede kullanılan elemanlar (*L*) indüktör, (*S*) anahtarlama elemanı (Mosfet, IGBT), diyot, (*C*) kapasitör, (V_g) giriş gerilimi, (V_0) çıkış gerilimi, (*R*) yük direncinden oluşmaktadır. Yükselten dönüştürücü devresinin çalışma prensibi Şekil 2.9'da görüldüğü gibi *S* anahtarı kapatıldığında diyot ters kutuplanarak kesime girer ve devrenin giriş çıkışı ayrılır devrenin giriş tarafında gerilim kaynağının *L* indüktörün üzerinde akım dolaştırmaya başlar ve indüktörde enerji depolanır. Devrenin çıkış tarafında ise *C* kapasitörü önceden şarj edilen enerjisini *R* yükü üzerinden aktarmaktadır [60].



Şekil 2.9. Anahtarlama elemanının kapalı olduğu durumdaki devre gösterimi

S anahtarı açıldığında Şekil 2.10'da görüldüğü gibi indüktördeki depolanan enerji, giriş gerilim kaynağı ile aynı polaritede olmaktadır. Böylece devrede giriş gerilim kaynağı ile aynı polaritede olan indüktördeki depolanan enerji seri bağlı iki kaynak gibi davranmaktadır. Dolayısıyla elde edilen toplam bu gerilim kaynağı diyot üzerinden kapasitör ve yükü besler. Bu şekilde çıkış gerilimin seviyesini yükselterek diyotu kesime götürmüş olur [61].



Şekil 2.10. Anahtarlama elemanının açık olduğu durumdaki devre gösterimi

Bu yükseltici devrelerde genel prensip, bobin üzerinde depolanan enerjinin kontrollü bir şekilde devrenin çıkışına yarı iletken anahtarlama elemanları ile aktarmaktadır. Bu yarı iletken anahtarlama elemanları Mosfet veya IGBT'dir. Devrede kullanılan bu yarı iletken elemanların anahtarlama süreleri ile giriş gerilimine göre çıkış gerilimini ayarlamaktadır. Anahtarlama elemanları anahtarın açık kalma süresini T_{on} ile kapalı kalma süresi T_{off} olarak gösterilmiştir. Bu anahtarların açık kalması ve kapalı kalması sabit frekansta yapılmaktadır ve bu frekans değeri T periyodu belirlenir. Doluluk oranı D ile ifade edilir.

Anahtarın açık kalma süresi : $T_{on} = DT$

Anahtarın kapalı kalma süresi : $T_{off} = (1\text{-}D)T$

Anahtar açık iken giriş gerilim ve indüktörün değerine göre oluşan gerilim aşağıda Denklem 2.5'te ifade edilmiştir.

$$L\frac{di}{dt} = V_g$$
$$L\frac{\Delta_i}{(1-\mathrm{D})\mathrm{T}} = V_g - V_0 \tag{2.5}$$

Devrenin çıkış geriliminin giriş geriliminden yüksek olduğu durumda bobin üzerindeki gerilimin negatif olduğunu gösteren ifade Denklem 2.6'da verilmiştir.

$$\mathrm{L}\frac{di}{dt} = -(V_g - V_0) \tag{2.6}$$

Anahtar kapalı iken bobin üzerinden geçen akım Denklem 2.7'de ifade edilmiştir.

$$\Delta I_L = \frac{V_g - V_0}{\mathrm{L}}(1-D)T \tag{2.7}$$

Anahtarlamanın sonucunda bir periyotta bobinde geçen akımın toplamı sıfırdır buna göre aşağıdaki Denklem 2.8'e göre düzenlendiğinde yükselten dönüştürücü devresinin giriş ve çıkış gerilim değerleri arasındaki ilişki Denklem 2.9'a gösterilmiştir.

$$\frac{V_g}{L}DT + \frac{V_g - V_0}{L}(1-D)T = 0 \tag{2.8}$$

$$V_0 = \frac{V_g}{1-D} \tag{2.9}$$

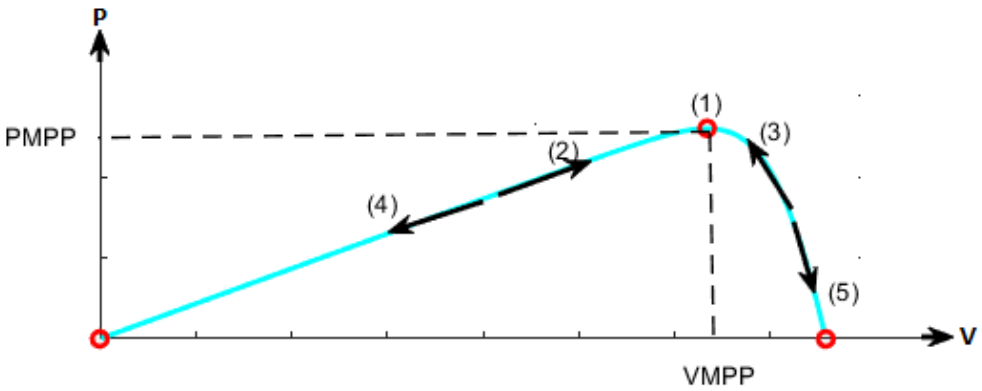
2.3. Maksimum Güç Noktası Takibi için Kullanılan Algoritmalar

2.3.1. Geleneksel Algoritmalar

2.3.1.1. Değiştir ve Gözle Algoritması

Değiştir ve gözle (DG) algoritması, MGNT algoritmaları arasında doğruluğu ve uygulama kolaylığı nedeniyle tercih edilen bir yöntemdir. Bu tekniğin uygulamasında panel çıkış gerilimi ve akımı sürekli olarak ölçülerek panel gücü hesaplanır. Algoritmanın genel çalışma prensibi Şekil 2.12'de gösterilmektedir.

Tablo 2.1'de, panel çıkışındaki gerilim ve güç değişimini gözlemlemek ve bir sonraki adımda ne yapılması gerektiğine karar verilmektir. İki ölçüm noktası arasındaki gerilim ve güç farkları bir sonraki adımda yapılacak işlemi belirlemek için kullanılır. Şekil 2.11'de görüldüğü gibi gerilim ve güç değişimleri pozitif ise çalışma noktası sol taraftan maksimum güç noktasına gidiyor demektir, ancak gerilim değişimi pozitif ve güç değişimi negatif ise maksimum güç noktası geçilmiş demektir. MGN elde edildiğinde, algoritmanın çevrimi sürekli olduğundan maksimum noktasının sağında ve solunda salınım yapar.



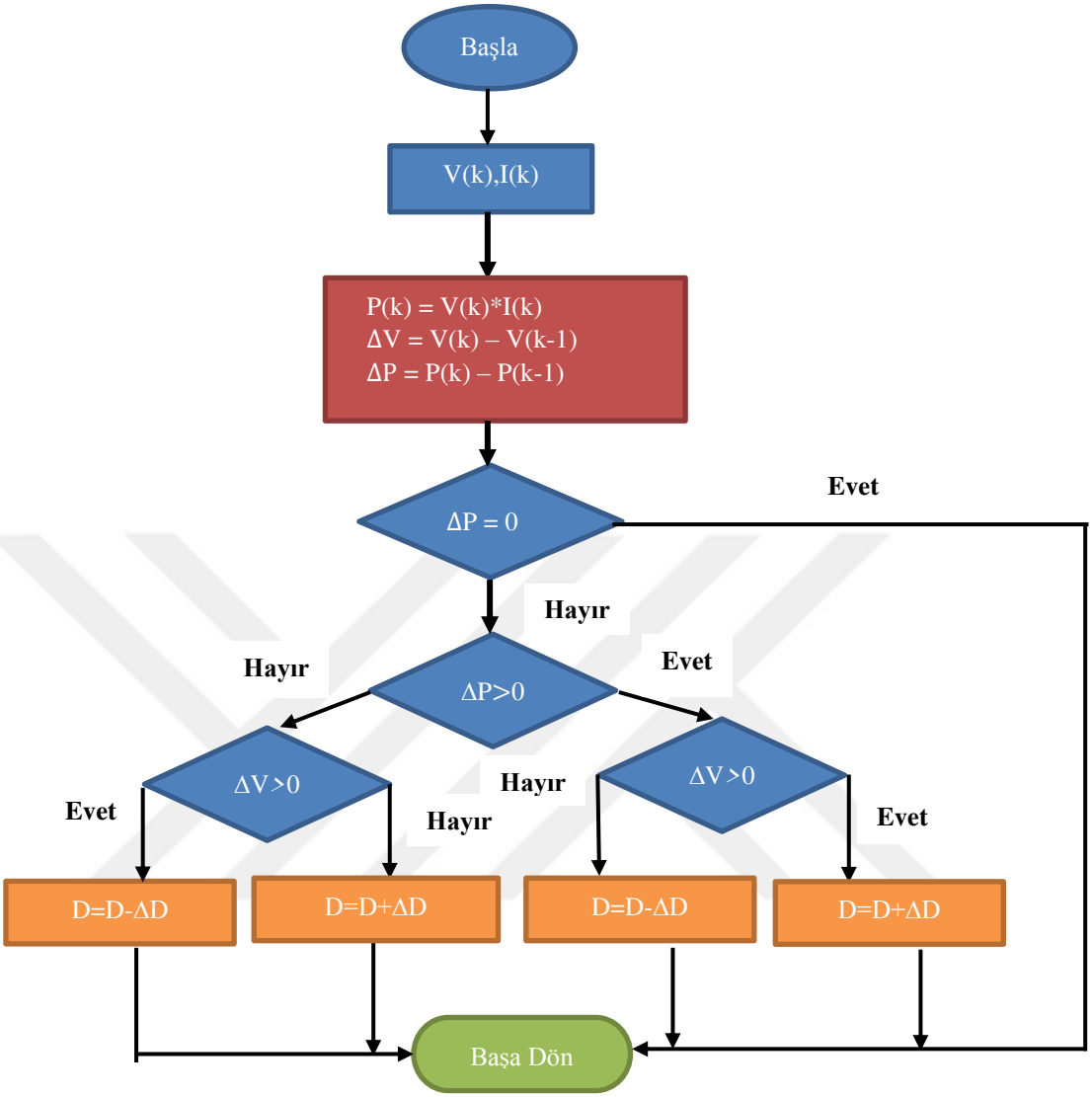
Şekil 2.11. Değiştir ve gözle algoritması ile maksimum güç noktası takibi

Tablo 2.1. Gerilim ve güç farklarına göre doluluk oranı eylemleri

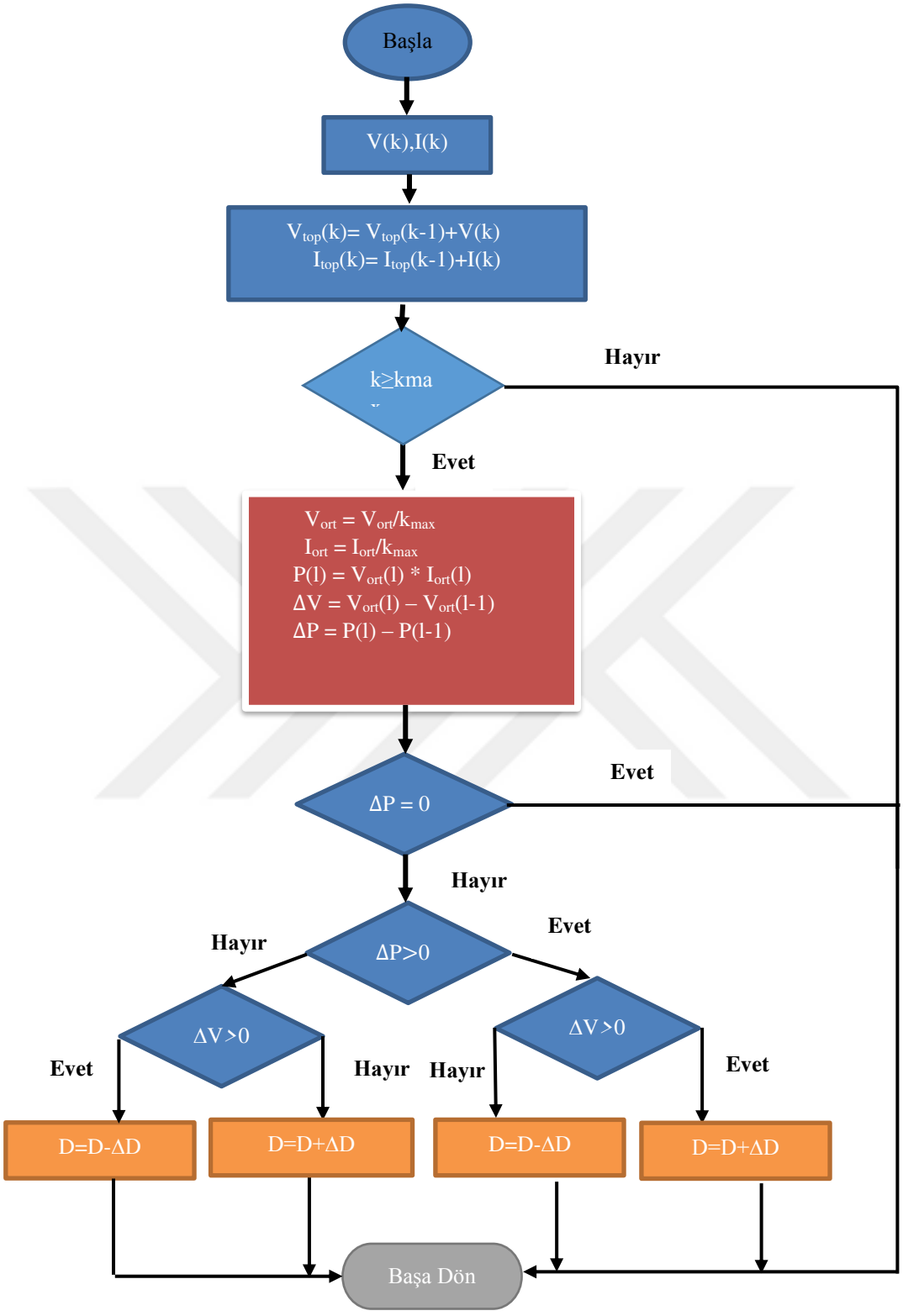
Durum	*Varyasyonlar*	*Eylem*
1	0	Eylem yok
2	+dP/+dV	Artırmak (D)
3	+dP/-dV	Azaltmak (D)
4	-dP/-dV	Artırmak (D)
5	-dP/+dV	Azaltmak (D)

DG algoritmasının MGN'nı yakalama başarımında önemli kriterler vardır. Bu kriterler, yükseltici dönüştürücüdeki başlangıç doluluk oranı değeri ve algoritmadaki döngüde doluluk oranı artım miktarı olarak ifade edilebilir. Doluluk oranı artım miktarı MGN'nı yakalama süresinde etkindir, eğer doluluk oranı artım miktarı küçük olursa MGN'nı yakalama süresi uzamakta ve büyük olduğunda bu süre kısalmaktadır. Ancak doluluk oranı artım miktarı artmasıyla MGN'nın sağında ve solunda yüksek salınımlar oluşmaktadır bu eylem istenilen bir durum değildir. Başlangıç doluluk oranı değeri MGN'daki doluluk oranı değerine yakın olursa yakalama süresi kısalır, uzak olursa yakalama süresi uzar.

FV sistemlerin farkı ışınımlar altındayken değiştir ve gözle ve artımlı iletkenlik algoritmalarının performansını iyileştirmek için MGN'nı arama sürecinde değiştirilmiş MGNT yöntemi önerilmiştir. Şekil 2.13 ve Şekil 2.16 yeni algoritmaların akış diyagramlarını göstermektedir. Başlangıçta, önerilen MGNT algoritmasıyla, dönüştürücüyü farklı görev döngüleriyle (doluluk oranlarıyla) test ederek elde edilen güç değerlerinin ortalaması dikkate alınarak MGN'na yakın bir çalışma noktası tespit edilmeye çalışılır. Daha sonra algoritma, maksimum güce en yakın çalışma koşulunu belirler. Maksimum noktayı arama sürecinde, algoritma görev döngülerindeki büyük salınımlara neden olan değişiklikleri ortalama süreciyle azaltmakta, fakat geleneksel algoritma ile karşılaştırıldığında, MGN'na ulaşma süresi daha fazla olmaktadır.



Şekil 2.12. Değiştir ve gözle algoritmasının çalışma prensibi



Şekil 2.13. Değiştirilmiş değiştir ve gözle algoritmasının çalışma prensibi

2.3.1.2. Artımlı İletkenlik Algoritması

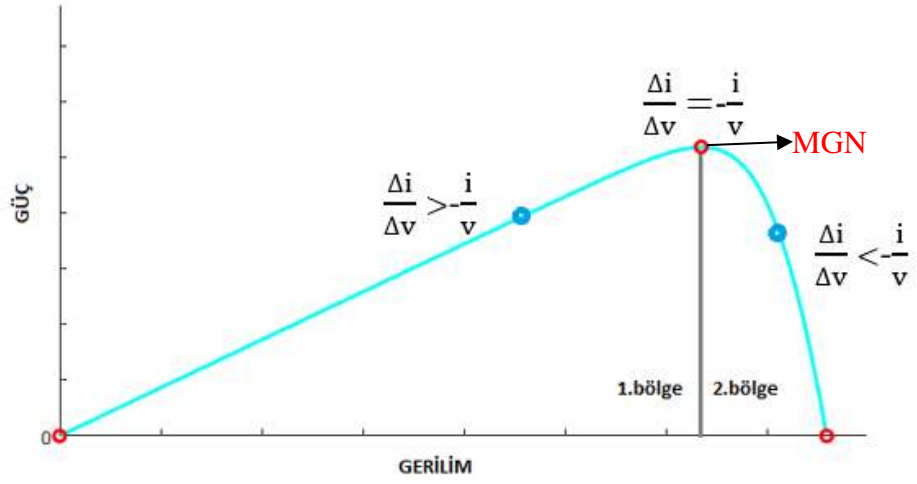
Artımlı iletkenlik (Aİ) algoritması, MGN'sında FV panel çıkış gücünün panel gerilimine göre türevinin sıfır olması ilkesine dayanmaktadır. Denklem 2.10'da gösterilen, gücün gerilime göre kısmi türevi alındığında ve yeniden düzenlendiğinde elde edilen ifadeler bu algoritmanın maksimum güç noktası kontrolü için kullanılır. Denklem 2.11'de, karşılaştırma ile elde edilen sonuçlar maksimum güç noktasının sağ veya sol tarafında artan veya azalan güç durumunu gösterir. Buna göre DC-DC dönüştürücü anahtarlama sinyalinin doluluk oranı değiştirilerek gerekli kontrol sağlanır. Aİ algoritmasının akış diyagramı Şekil 2.15'te gösterilmektedir. İlk olarak gerilimdeki değişim kontrol edilir ve eğer değişim yoksa akım değişimi kontrol edilir. Akımda herhangi bir değişiklik olmazsa akış diyagramı sona ermektedir ve bu da FV sistemin maksimum güç noktasında çalıştığını gösterir. Şekil 2.14'te görüldüğü gibi güç eğrisinde gerilim ve akım değişimine bağlı oluşan bölgeler gösterilmektedir [63].

$$\frac{dp}{dv} = \frac{d(v.i)}{dv} = i + v\frac{di}{dv} = 0 \tag{2.10}$$

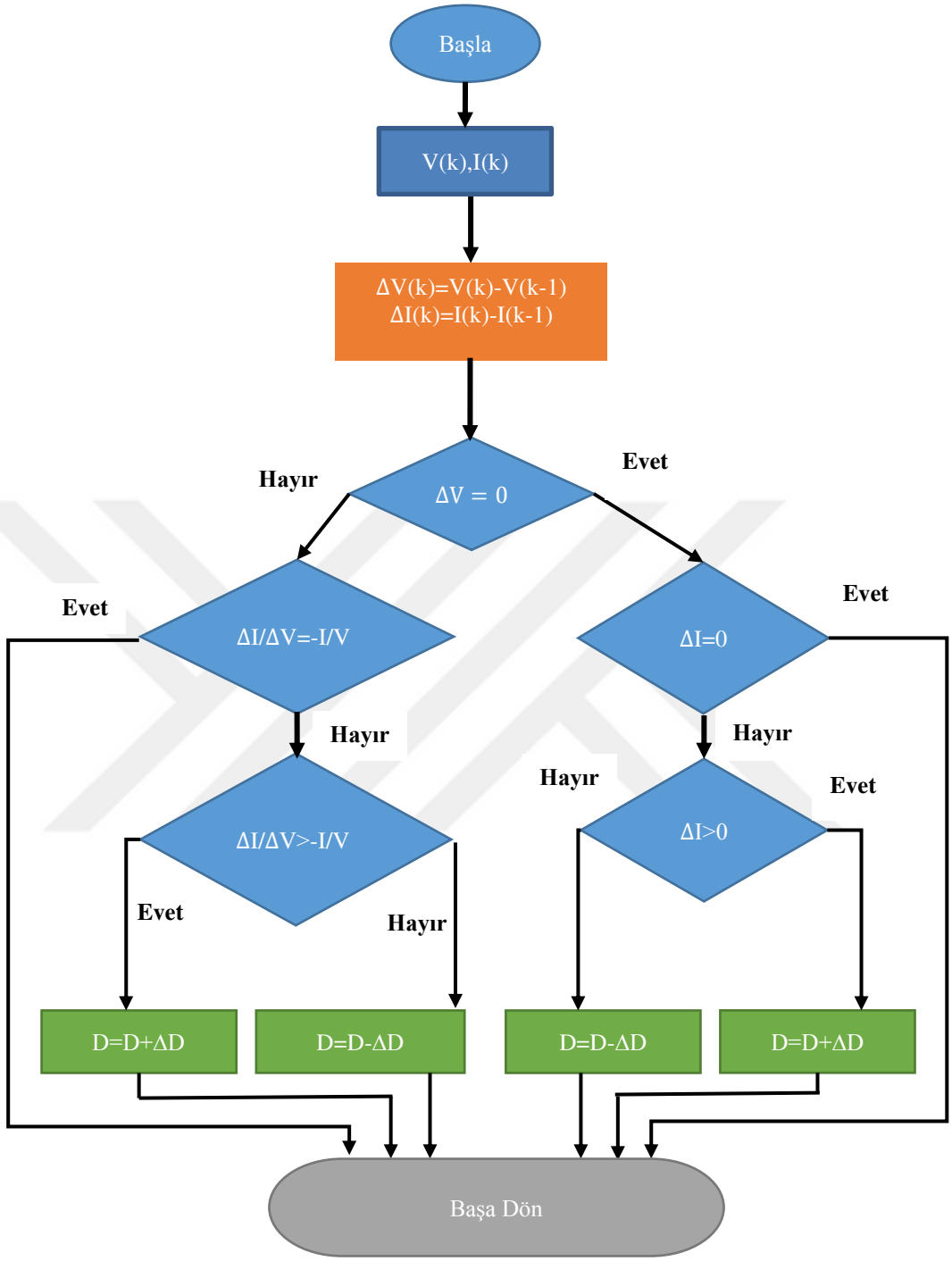
$$\frac{\Delta i}{\Delta v} = \frac{i}{v} \quad \text{Maksimum güç noktası}$$

$$\frac{\Delta i}{\Delta v} > -\frac{i}{v} \quad \text{Maksimum noktanın sol tarafı} \tag{2.11}$$

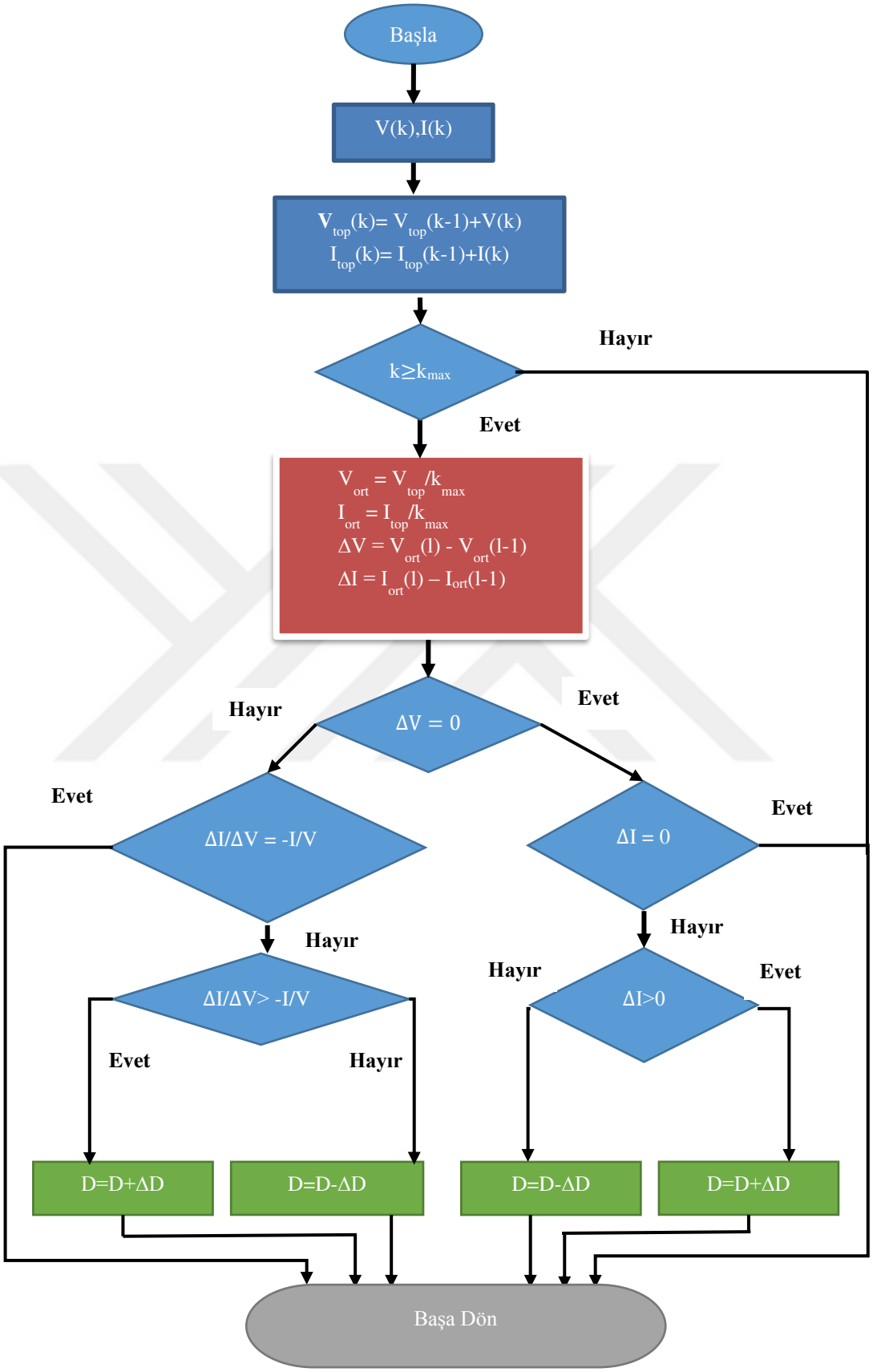
$$\frac{\Delta i}{\Delta v} < -\frac{i}{v} \quad \text{Maksimum noktanın sağ tarafı}$$



Şekil 2.14. Artımlı iletkenlik algoritması ile maksimum güç noktası takibi



Şekil 2.15. Artımlı iletkenlik algoritmasının çalışma prensibi



Şekil 2.16. Değiştirilmiş artımlı iletkenlik algoritmasının çalışma prensibi

2.3.2. Metasezgisel Algoritmalar

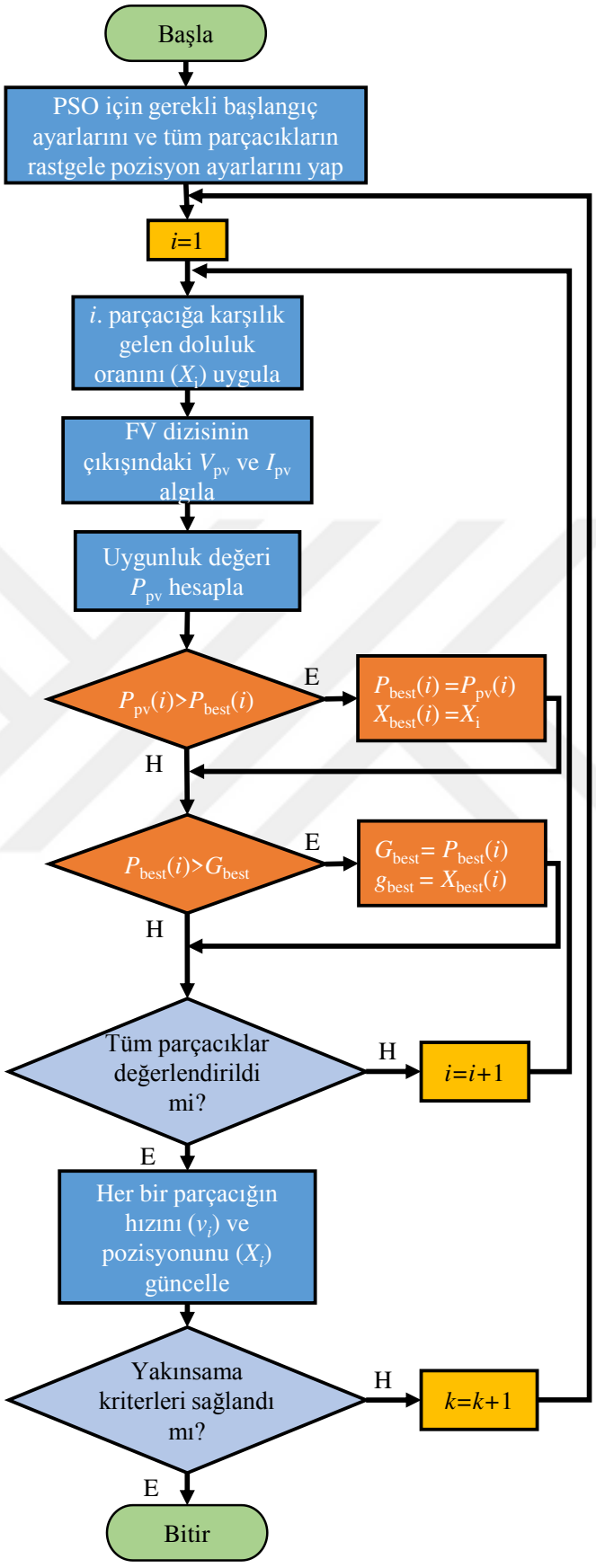
2.3.2.1. Parçacık Sürü Optimizasyonu

Parçacık sürü optimizasyonu (PSO), Eberhart ve Kennedy tarafından 1995 yılında kuş sürülerinin ve balık sürülerinin sosyal davranışlarından esinlenerek geliştirilmiş bir sürü zekası optimizasyonu algoritmasıdır [64]. PSO bir sorunun aday çözümünü gerçekleştirirken belirli bir kriter doğrultusunda aday bir çözümü tekrarlı olarak en iyi çözümü keşfetmesi için gerçekleştirilen bir optimizasyon yöntemidir. PSO ile bir problem aday çözümler popülasyonuna ayrılarak parçacıklar şeklinde temsil edilmektedir. Bu parçacıkların hız ve konum bilgileri matematiksel basit bir formül ile hesaplanarak hareket ettirilmekte ve çözüme ulaşılmaya çalışılmaktadır. Bu yöntemde çözüm bulunurken her bir parçacığın hareketi yerel en iyi bilinen konumdan etkilenmektedir. Parçacıklar diğer parçacıkların buldukları daha iyi konumlar güncellendikçe arama uzayındaki en iyi tespit edilmiş konuma doğru yönlendirilmektedir. Şekil 2.17'de görüldüğü gibi bu algoritmada birkaç işbirlikçi temsilci kullanılır ve her temsilci kendi içinde elde edilen bilgileri paylaşır. İlgili arama işlemi, parçacık olarak adlandırılan her temsilci basit iki kuralı takip etmektedir. Bunlar en iyi performansı takip etmek ve parçacık tarafından bulunan en iyi koşullara doğru hareket etmektir. Bu iki kural, iyi performans yakalayan her parçacığın nihayetinde bir sürü haline gelmesini sağlar ve sürüdeki her bir parçacık en iyi çözümdür. Bu çözümler içerisindeki global çözümüne G_{best}, parçacığın yerel çözümüne de P_{best} olarak isimlendirilir. Yerel ve global çözümler kendi uygunluk değerlerine göre yinelenerek en iyi çözüme ulaşıldığında sonlandırılır. PSO algoritmasında kullanılan Denklem 2.12 ve Denklem 2.13'teki parçacıklar, uygunluk fonksiyonlarına göre güncellenir.

$$v_i(k+1) = w_i(k) + c_1 r_1 * (P_{best} - x_i(k)) + c_2 r_2 * (G_{best} - x_i(k)) \quad (2.12)$$

$$x_i(k+1) = x_i(k) + v_i(k+1) \quad (2.13)$$

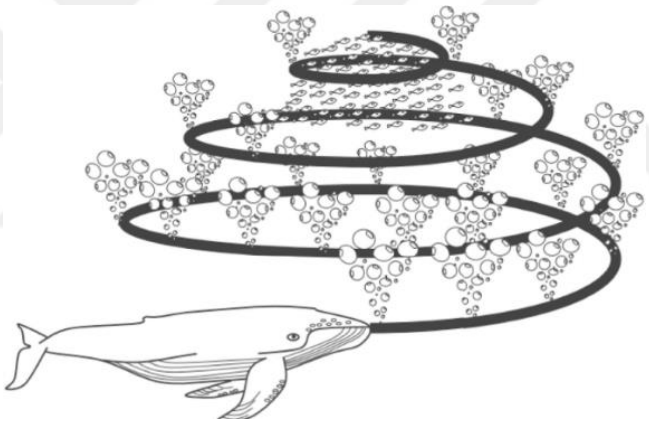
Burada x_i i. parçacığının konumudur, v_i i. parçacığının hızıdır, k iterasyon sayısıdır, w atalet ağırlığıdır, r_1 ve r_2 [0,1] arasında eşit olarak dağılmış rastgele değişkenlerdir, c_1 ve c_2 sırasıyla bilişsel ve sosyal katsayılardır. P_{best}, i. parçacığın şimdiye kadar bulduğu en iyi konumu depolamak için kullanılır ve G_{best} tüm parçacıkların en iyi konumunu depolamak için kullanılır [65].



Şekil 2.17. PSO algoritmasının çalışma prensibi

2.3.2.2. Balina Optimizasyonu Algoritması

Balina Optimizasyon Algoritması, Mirjalili ve Lewis (2016) tarafından tanıtılmıştır. Balina optimizasyon algoritması kambur balinanın yiyecek arama davranışları göz önüne alınarak geliştirilmiştir. Bu yöntemin en dikkat çekici noktası Şekil 2.18'de gösterildiği gibi kambur balinaların yiyecek ararken kullandıkları kabarcık kapanı yöntemi olmaktadır [66]. Kabarcık kapanı yönteminde kambur balinalar 12 metreye kadar dalış yaptıktan sonra toplanan bir grup küçük balığı avlamak için yüzeye çıkmaktadır. Kabarcık tuzakları ile avlanma olayının sadece kambur balinaların yaptığı benzersiz bir davranış olduğu görülmektedir. Şekil 2.20'de balina optimizasyonu akış algoritmasında, genel matematiksel model üç alt bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler, avın etrafını çevirme, spiral besleme ve av arama manevralarından esinlenerek oluşturulan matematiksel ifadelerden oluşmaktadır. [67].



Şekil 2.18. Kambur balinaların kabarcık ağıyla beslenme davranışı

2.3.2.2.1. Çevreleyen Av Denklemi

Kambur balinalar avın yerini fark edebilir ve onları çevreleyebilir. Böylelikle, balinalar hedef avın mevcut en iyi çözüm olduğunu varsayar. Ardından tanımlanan en iyi arama ajanına göre diğer arama ajanlarının konumları, başlangıçtan maksimum iterasyon sayısına kadar artan iterasyon sayısı boyunca en iyi arama ajanına doğru aşağıdaki denklemler aracılığıyla güncellenir [67]:

$$\vec{D} = |\vec{C}\,\overrightarrow{X^*}(t) - \vec{X}(t)| \tag{2.14}$$

$$\vec{X}(t+1) = \overrightarrow{X^*}(t) - \vec{A}.\vec{D} \tag{2.15}$$

burada *t* geçerli iterasyonu, *A* ve *C* katsayı vektörlerini, X^* şimdiye kadar elde edilen en iyi çözümün konum vektörünü ve *X* konum vektörünü göstermektedir. X^*'den daha iyi bir çözüm varsa, her iterasyonda güncellenmelidir. Katsayı vektörleri *A* ve *C* Denklem 2.16 ve Denklem 2.17 ile hesaplanmaktadır.

$$\vec{A} = 2a.r - a \tag{2.16}$$

$$\vec{C} = 2.r \tag{2.17}$$

burada *a*, hem kabarcık ağı avı hem de av arama aşamalarında iterasyon boyunca 2'den 0'a doğrusal olarak azalan bir değişkendir ve *r,* [0, 1] arasında rastgele bir sayıdır.

2.3.2.2.2. Kabarcık Ağı Avı Yöntemi

Kambur balinaların kabarcık ağı davranışının matematiksel modellerini oluşturmak için aşağıda iki yöntem kullanılır:

2.3.2.2.2.1.Küçülen çevreleme mekanizması

Bu yöntemde, her bir iterasyonda Denklem 2.16'daki *a*'nın değeri 2'den 0'a doğrusal olarak azaltılarak kullanılmak ve bu da [-1, 1] aralığında *A*'nın değerinde dalgalanmaya neden olmaktadır. Bir arama ajanının yeni konumu, ajanın orijinal konumu ile mevcut en iyi ajanının konumu arasında herhangi bir yerdedir. Şekil 2.19.a, iki boyutlu uzayda $0 \leq A \leq 1$ ile elde edilebilecek (*X, Y*)'den (*X**, *Y**)'ye doğru olası konumları göstermektedir[67].

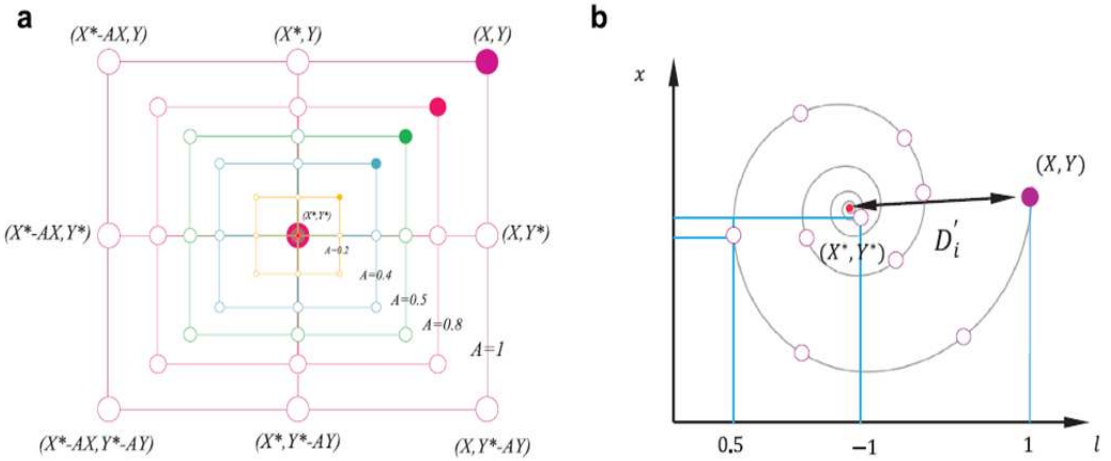
2.3.2.2.2.2. Spiral güncelleme konumu

Şekil 2.19.b'de gösterildiği gibi (*X, Y*) konumunda bulunan balina ile (*X**, *Y**) konumunda bulunan avın konumlarını güncellemek için bu yöntemde, kambur balinaların sarmal şeklindeki hareketini taklit etmek için Denklem 2.18 ile gösterilen bir spiral Denklem kullanılır [66].

$$\vec{X}(t+1) = \overrightarrow{D^l}.e^{bl}.\cos(2\pi l) + \overrightarrow{X^*}(t) \tag{2.18}$$

Burada $\overrightarrow{D^l} = |\overrightarrow{X^*}(t) - \vec{X}(t)|$ o anki balinanın ava olan mesafesini gösterir, *b* logaritmik spiralin şeklini tanımlamak için kullanılan bir sabit ve *l* [-1, 1]'de rastgele bir sayıdır.
Balinaların konumunu güncellemek için küçülen çevreleme mekanizmasının veya spiral modelinin seçilme olasılığı %50'dir. Burada *p* [0, 1] arasındaki rastgele sayıyı ifade etmektedir.

$$\vec{X}(t+1) = \begin{cases} \overrightarrow{X^*}(t) - \vec{A}.\vec{D} & if\ p\ < 0{,}5 \\ \overrightarrow{D^l}.e^{bl}.\cos(2\pi l) + \overrightarrow{X^*}(t) & if\ p\ \geq 0{,}5 \end{cases} \quad (2.19)$$



Şekil 2.19. Kabarcık ağı avı yöntemi: **(a)** küçülen çevreleme mekanizması, **(b)** spiral güncelleme pozisyonu

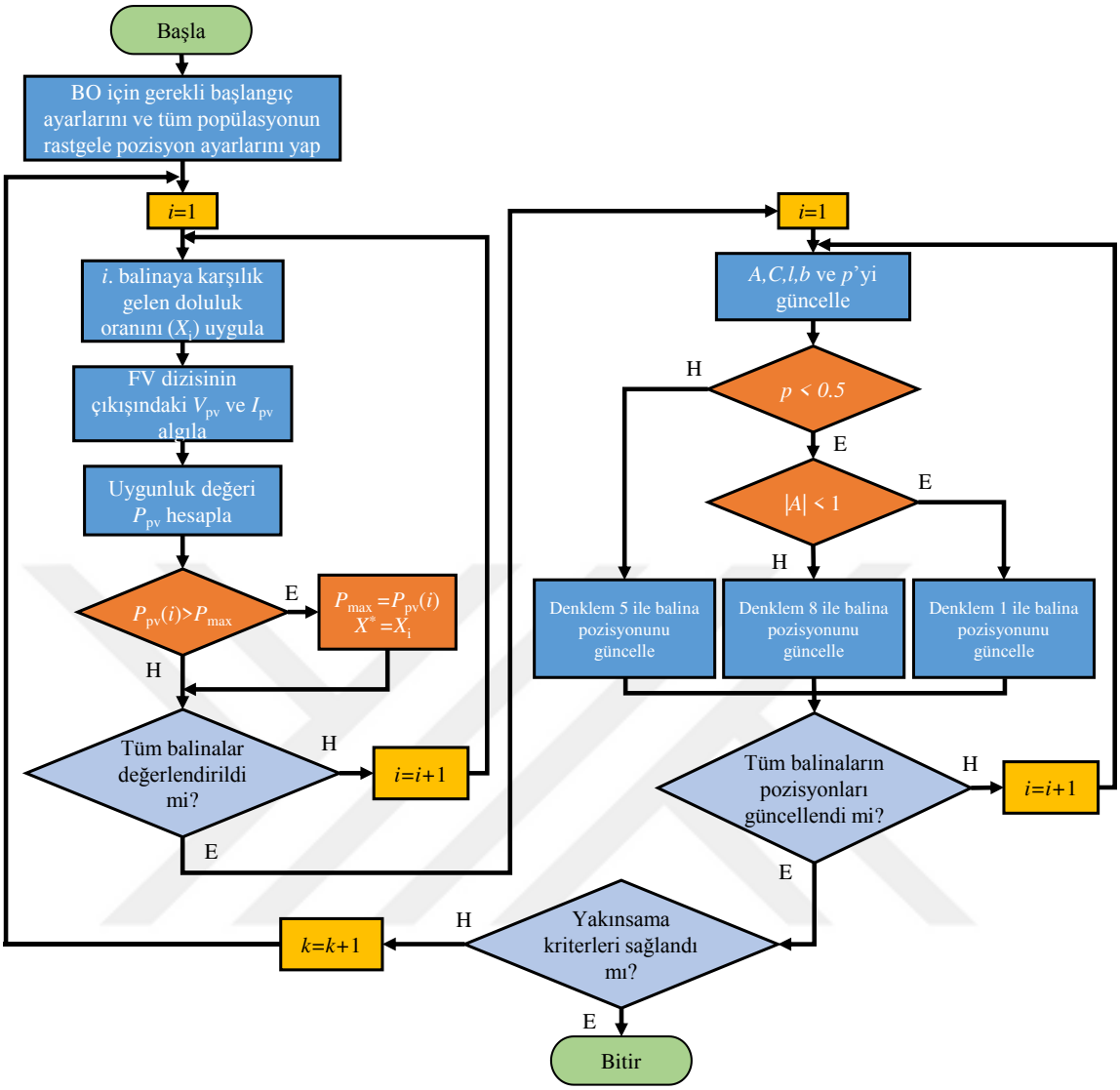
2.3.2.2.3. Av Arama

Kambur balinalar birbirlerinin konumuna göre rastgele arama yaparlar. Bu nedenle av aramada, $\vec{A}$ vektörünün değişimini dikkate alan bir yaklaşım kullanılır. Referans balinadan uzaklaşmak ve arama ajanını harekete geçirmek için $\vec{A}$, 1'den büyük veya -1'den küçük rastgele değerler ile kullanılır. Ayrıca bir arama ajanının konumu, şimdiye kadar bulunan en iyi arama ajanı yerine rastgele seçilen bir arama ajanı kullanılarak güncellenir. En iyi arama ajanı tanımlandıktan sonra, diğer arama ajanlarının konumları en iyi arama ajanına doğru güncellenmeye çalışılacaktır. Belirtilen süreci bir matematiksel model ile göstermek için Denklem 2.20 ve Denklem 2.21'de gösterilen matematiksel ifadeler kullanılmaktadır [66].

$$\vec{D} = |\vec{C}.\vec{X}_{rand} - \vec{X}| \quad (2.20)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_{rand} - \vec{A}.\vec{D} \quad (2.21)$$

$\vec{X}_{rand}$ var olan popülasyon içerisinden rastgele seçilen bir balinanın konum vektörünü temsil etmektedir.



Şekil 2.20. Balina optimizasyonu algoritmasının çalışma prensibi

2.3.2.3. Gri Kurt Optimizasyon Algoritması

Gri kurt optimizasyon (GKO) algoritması, doğadaki gri kurtların liderlik hiyerarşisi ve grup avı mekanizmasına dayalı olarak yakın zamanda önerilen metasezgisel bir algoritmadır[68]. GKO algoritması, metasezgisel algoritmaların içerisinde kullanımı basit, uygulama kolaylığı ve problemlerin optimum çözümünde hızlı cevap verme özelliğinden dolayı mühendislik, makine öğrenimi, tıp ve biyo-informatik gibi birçok alanda farklı optimizasyon problemlerinin çözümünde uygulanmıştır [69]. GKO algoritmasında arama süreci, her yinelemede en iyi üç kurt tarafından yönlendirilir ve bu kurtlara karşı güçlü bir yakınsama gösterir. Gri kurtlar, dört seviyeden oluşan son derece katı bir baskın sosyal

hiyerarşiye sahiptir. Hiyerarşide birinci seviyede avlanma stratejisini yöneten liderler vardır, bu liderler alfa (α) olarak adlandırılır. Liderlere yardımcı olan ast kurtlar beta (β) olarak adlandırılır ve gri kurtların hiyerarşisinin ikinci seviyesini temsil eder. Bu hiyerarşinin üçüncü seviyesi delta (δ) olarak adlandırılırken, kalan kurtlar omega (ω) olarak adlandırılır ve hiyerarşinin en alt seviyesini temsil etmektedirler. GKO algoritması üç ana avlanma stratejisiyle avlanmayı gerçekleştirmektedir. Bu stratejiler arama yapmak, çevreleme, avlanma ve saldırarak hedefine ulaşmaktır. Bu davranışı ifade eden matematiksel modellemeler aşağıda sunulmaktadır [70].

2.3.2.3.1. Avı Çevrelemek

Avlanma sürecinde gri kurtlar ilk olarak avın etrafını sararlar. Bu süreç Denklem 2.22 ve Denklem 2.23'te gösterildiği gibi matematiksel olarak modellenmektedir [68].

$$\vec{D} = \left|\vec{C}.\vec{X}_p(t) - \vec{X}(t)\right| \tag{2.22}$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_p(t) - \vec{A}.\vec{D} \tag{2.23}$$

burada *t* döngü içerisindeki iterasyon değerini, *D*, *A* ve *C* katsayı vektörlerini, X_p ve *X* avın ve gri kurttun konum vektörünü göstermektedir. *A* ve *C* katsayı vektörleri Denklem 2.24 ve Denklem 2.25 ile hesaplanmaktadır.

$$\vec{A} = 2\vec{a}.\vec{r}_1 - \vec{a} \tag{2.24}$$

$$\vec{C} = 2.\vec{r}_2 \tag{2.25}$$

burada r_1 ve r_2, [0,1] arasında rastgele seçilen değerlerdir. İterasyonlar boyunca Denklem 2.26 ile gösterilen a bileşeni 2'den 0'a doğru doğrusal olarak azaltılmaktadır.

$$\vec{a} = 2 - \frac{2.t}{t_{max}} \tag{2.26}$$

burada t_{max} maksimum iterasyon değerini göstermektedir. Avın çevrelenmesi sürecinde gri kurttun konum vektörü, *A* ve *C* katsayı vektörlerinin ayarlanmasıyla avın konum vektörüne göre Denklem 2.22 ve Denklem 2.23 kullanılarak güncellenmektedir.

2.3.2.3.2. Avlanma

Kurtların avlanma hareketlerini matematiksel olarak modelleyebilmek için üç farklı sıralamaya sahip alfa, beta ve delta kurtlarının, avın konumu hakkında daha fazla bilgiye

sahip olduğu kabulü yapılmaktadır. Avlanma anındaki kurtların hareketleri Denklem 2.27, Denklem 2.28 ve Denklem 2.29 ile matematiksel olarak gösterilmektedir. Avlanma süreci genellikle alfa tarafından yönlendirilir. Beta ve delta da ara sıra avlanmaya katılabilir. Bu nedenle, elde edilen ilk üç en iyi çözüm seçilir ve diğer arama ajanlarının konumları, en iyi arama ajanlarının konumuna göre güncellenmektedir.

$$D_\alpha = |C_1 X_\alpha - X(t)|, \quad D_\beta = \left|C_2 X_\beta - X(t)\right|, \quad D_\delta = |C_3 X_\delta - X(t)| \tag{2.27}$$

Burada C_1, C_2, ve C_3 katsayıları Denklem 2.25 ile hesaplanmaktadır.

$$X_1 = X_\alpha(t) - A_1 D_\alpha\ , \quad X_2 = X_\beta(t) - A_2 D_\beta, \quad X_3 = X_\delta(t) - A_3 D_\delta \tag{2.28}$$

Burada A_1, A_2 ve A_3 Denklem 2.24 ile hesaplanmaktadır.

$$X(t+1) = \frac{X1 + X2 + X3}{3} \tag{2.29}$$

Burada alfa (en iyi aday çözüm), beta ve delta bilgisi, diğer arama ajanlarının yukarıdaki matematiksel modeldeki Denklem 2.27 ile konumu belirlenir, Denklem 2.28 ile konumları güncellenir.

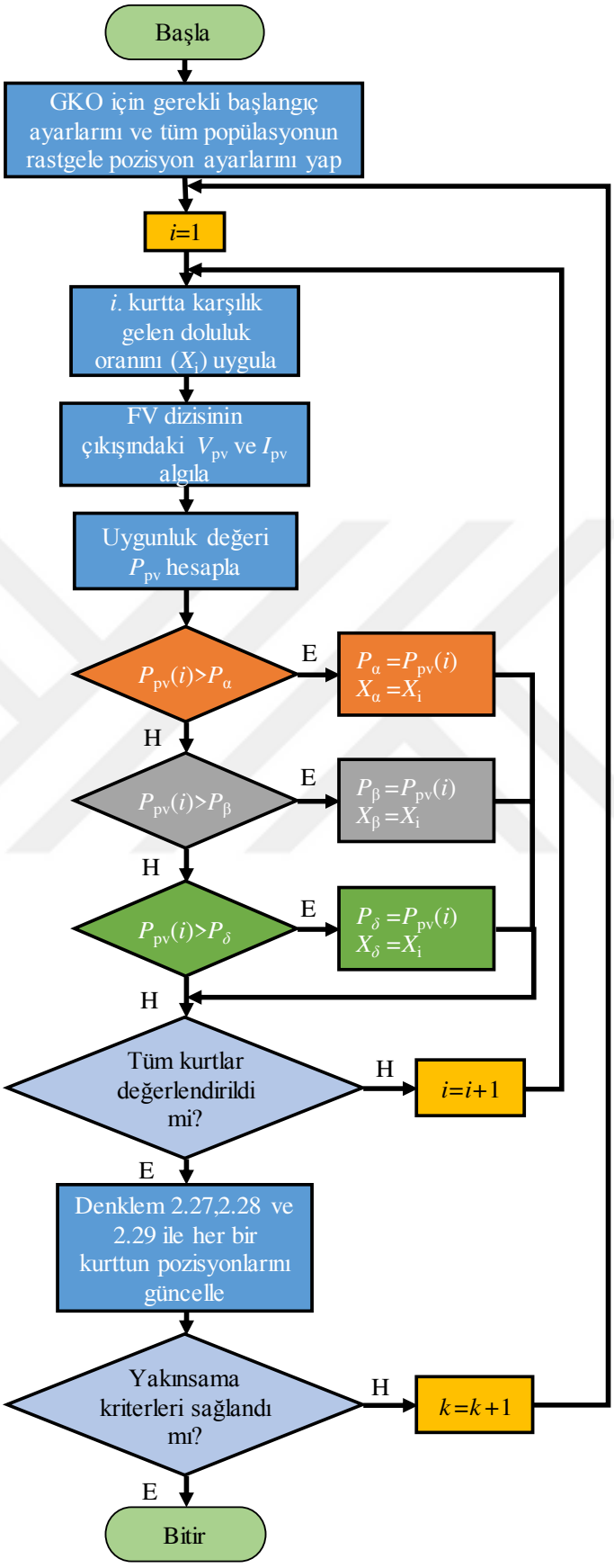
2.3.2.3.3. Ava Saldırı

Sürü avın üzerine çıktığında ava saldırı ortaya çıkar. Bu aşamada kurtlar ile av arasındaki mesafenin en aza indirilmesi anlamına gelir. Bu durumda av, en iyi küresel çözüm olarak kabul edilir. Bu nedenle *A* vektörü, iterasyon sayısına bağlı azalan bir katsayı olarak tanımlanmalıdır. *A* vektörünün değeri, Denklem 2.26'da gösterilen iterasyon sayısının artmasıyla azalan *a* değerine bağlı olarak azalmaktadır.

Özet olarak GKO algoritması, arama alanı içinde rastgele bir kurt popülasyonu oluşturulmasıyla başlar. Uygunluk fonksiyonuna göre kurtların pozisyonları değerlendirilir. Ardından, durdurma kriteri sağlanana kadar aşağıdaki adımlar tekrarlanır. Durdurma kriteri, önceden tanımlanmış yineleme sayısına ya da önceden belirlenen sürünün ava olan yakınlığına ulaşmaktır. Her yinelemede, en iyi çözüme sahip ilk üç kurt α, β ve δ olarak kabul edilir. Bundan sonra, tüm kurtların konumları, avını çevreleyen,

avlayan ve saldıran süreçlere göre güncellenir. Son olarak, bu adımları tekrarlayarak, ava en yakın konum olan *α*'nın konumu en iyi konum olarak belirlenir.

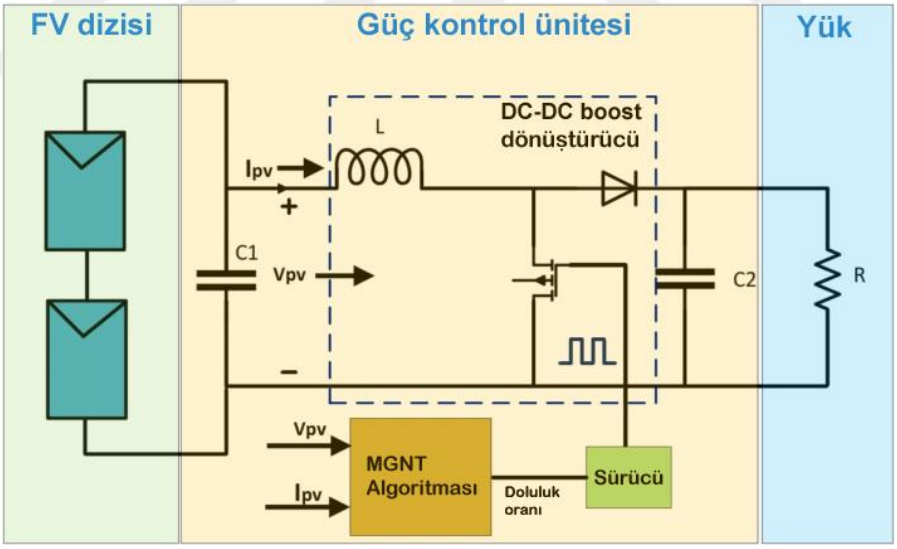
FV sistemlerde maksimum güç noktasını takip etmek için GKO algoritması kullanırken, gri kurtlar pozisyonları, dönüştürücüyü kontrol eden doluluk oranlarıdır ve uygunluk fonksiyonu, V_{pv} ve I_{pv}'nin çarpımından elde edilen güç ifadesidir. Bu nedenle kontrolörün uygulanması, V_{pv} ve I_{pv} değerlerinin algılanması ile gerçekleştirilir.



Şekil 2.21. Gri kurt optimizasyon algoritmasının çalışma prensibi

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

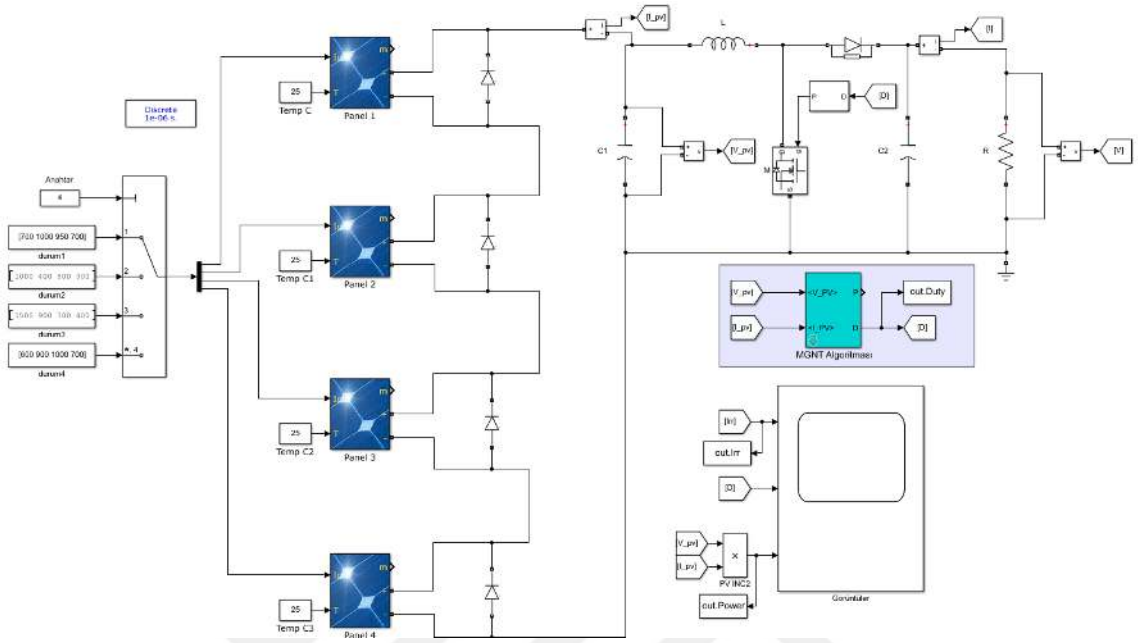
Bu bölümde beş farklı senaryo altında geleneksel ve metasezgisel optimizasyon algoritmalarıyla MGNT incelenmektedir. Bu sebeple, MATLAB/Simulink'te bir MGNT algoritması içeren bir blok ile FV sistem tabanlı bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Yaygın olarak kullanılan beş MGNT algoritmasının performans karşılaştırmasını yapabilmek için beş farklı senaryo geliştirilmiştir. Şekil 3.1'de, yükselten dönüştürücülü bir FV sistemin genel yapısı gösterilmektedir. Burada, fotovoltaik gerilim (V_{pv}) ve akım (I_{pv}), MGNT algoritması uygulanmış bir mikro denetleyiciye gönderilir. Daha sonra, mikro denetleyici, maksimum güce ulaşmak için yükselten dönüştürücü gerilimini ayarlamak üzere V_{pv} ve I_{pv} değerlerine göre çıkış olarak doluluk oranı değerini verir. Sözü geçen sistemin MATLAB/Simulink modeli Şekil 3.2'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Yükselten (boost) dönüştürücü kullanılan fotovoltaik sistem

Analizlerde kullanılan senaryo 1, sabit dağılımlı (üniform) ve hızlı değişen ışınım durumunda gerçekleştirilin analizleri içermektedir. Senaryo 2, 3, 4, ve 5 ise kısmi gölgelemenin olduğu yani her bir panele farklı ışınımlar geldiği durumda gerçekleştirilen analizleri içermektedir. Sonuçlar, karşılaştırmalı analizlerin sonucunda elde edilmiştir.

Sonuçlar, izleme ve yerleşme süresi, maksimum güç noktası ve güç verimliliği açılarından analiz edilmiştir.



Şekil 3.2. Fotovoltaik sistemin benzetim modeli

Şekil 3.2'de gösterilen MATLAB/Simulink modelinde kullanılan FV panele ilişkin parametre değerleri ve yükselten dönüştürücüde kullanılan devre elemanlarına ait değerler Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.1. FV panel parametre değerleri (Trina Solar TSM-260PA05.08)

Parametre	**Birim**	**Değer**
Maksimum güç	(W)	259,94
Maksimum güçteki akım	I_{mp} (A)	8,2
Maksimum güçteki gerilim	V_{mp} (V)	31,7
Kısa devre akımı	I_{sc} (A)	8,67
Açık devre gerilimi	V_{oc} (V)	37,9
Açık devre gerilimi sıcaklık sabiti	(%/°C)	-0,35
Kısa devre akımı sıcaklık sabiti	(%/°C)	0,06
Hücre sayısı	Adet	60

Tablo 3.2. Yükselten dönüştürücü parametre değerleri

Parametre	**Birim**	**Değer**
İndüktör	(L)	0,7 mH
Giriş kapasitörü	(C1)	300 µF
Çıkış kapasitörü	(C2)	300 µF
Yük direnç	(R)	40 Ω
Anahtarlama frekansı	(Hz)	50 kHz

Ayrıca MGNT için yapılan analizlerde kullanılan geleneksel ve metasezgisel algoritmalara ait temel parametreler ve yeniden başlatma sürecinde kullanılan başlangıç değerleri Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Seçilen algoritmalara ait parametreler

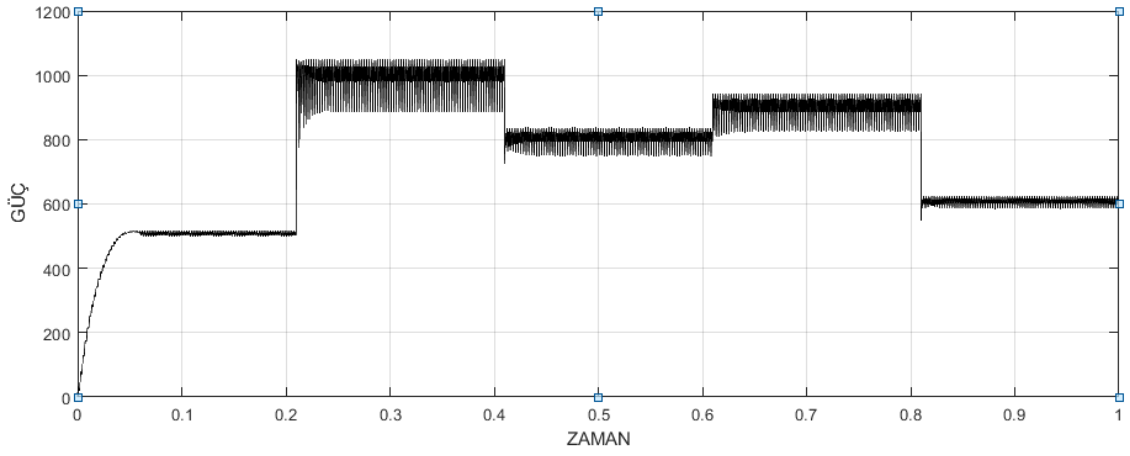
Algoritma	**Parametreler**	**Başlangıç değerleri**
Değiştir ve Gözle	$\Delta D = 0{,}001$	0,1
Artırımlı İletkenlik	$\Delta D = 0{,}001$	0,1
Parçacık Sürü Optimizasyonu	$N = 8 \quad c_1 = 0{,}1 \quad c_2 = 0{,}3$	Rastgele
Gri Kurt Optimizasyonu	$N = 8 \quad a = 1{,}5$	Rastgele
Balina Optimizasyonu	$N = 8 \quad a = 1$	Rastgele

3.1. Sabit Dağılımlı (Üniform) Işınım Altında Benzetim Çalışmaları

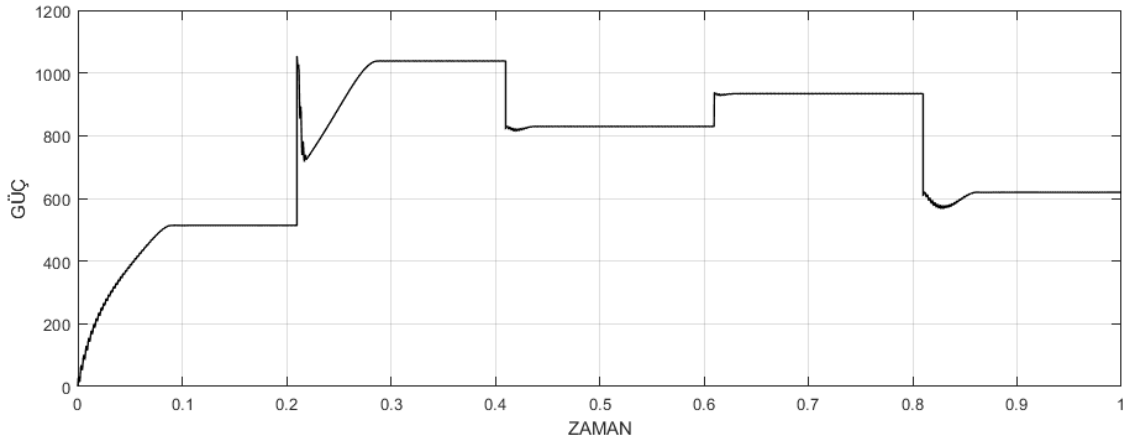
Şekil 3.2'de gösterilen FV panel dizisindeki her bir panele eşit ışınımın geldiği ama belli zaman aralıklarında ışınım değişiminin hızlı bir şekil gerçekleştiği bir senaryo ele alınmıştır. Aynı senaryo içerisinde ilk önce, geleneksel MGNT yöntemlerinden en popüler ikisi olan değiştir ve gözle ile artımlı iletkenlik tekniklerinin geleneksel ve değiştirilmiş versiyonları kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. İkinci olarak MGNT için geleneksel yöntemler ile metasezgisel algoritmaların uygulandığı analizler gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen analizlerin sonucunda zamanla elde edilen sonuçlar grafiksel olarak gösterilmiş ve karşılaştırmalı olarak bir tablo içerisinde değerlendirilmiştir.

3.1.1. Sabit Dağılımlı Işınım Altında Geleneksel Yöntemler ile MGNT Analizi

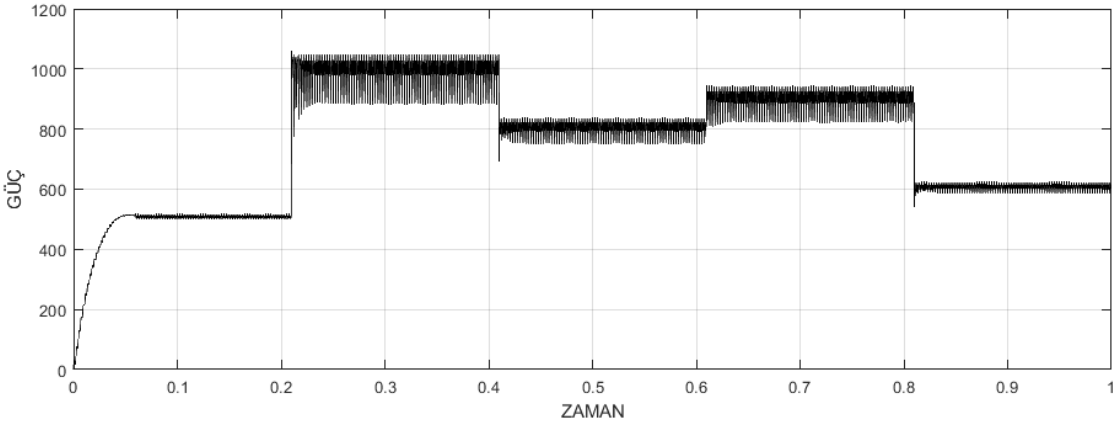
Geleneksel MGNT yöntemlerinden olan değiştir ve gözle (DG) ile artırımlı iletkenlik (Aİ) yöntemlerine ait ayrıntılı bilgi bölüm 2.3.1.1 ve bölüm 2.3.1.2'de anlatılmıştır. MGNT için geleneksel ve değiştirilmiş versiyonlarının dinamik ve kararlı hal performansları, 500 ile 1000 W/m^2, 1000 ile 800 W/m^2, 800 ile 900 W/m^2 ve 900 ile 600 W/m^2 ışınım değişiklileri için incelenmiştir. Şekil 3.3 geleneksel DG yönteminin benzetim sonucunu, Şekil 3.4 geleneksel Aİ yönteminin benzetim sonucunu, Şekil 3.5 değiştirilmiş DG yönteminin benzetim sonucunu ve Şekil 3.6 değiştirilmiş Aİ yönteminin benzetim sonucunu göstermektedir. Bu şekillerde görüldüğü üzere kararlı hal salınımları, değiştirilmiş yöntemler kullanılarak en aza indirilmiştir. Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'dan, ışınım değerlerinde aniden artışlarda veya azalmalarda, değiştirilmiş yöntemlerin geleneksel yöntemlerden daha küçük dalgalanmalara sahip olduğu fakat MGN'sını geleneksellere göre daha yavaş bir şekilde izleyebildiği gösterilmiştir. MGN'sını izleme hızındaki kayıp, kararlı hale geldikten sonraki MGN'sında oluşan dalgalanmada elde edilen kazanımın yanında ihmal edilebilir. Geleneksel yöntemler, enerji kaybına neden olan kararlı durumda oluşan büyük salınım genliğine sahiptirler. Değiştirilmiş yöntemler, kararlı durumda geleneksel yöntemlerden daha iyi olduğunu gösteren küçük salınım genliğine sahiptirler.



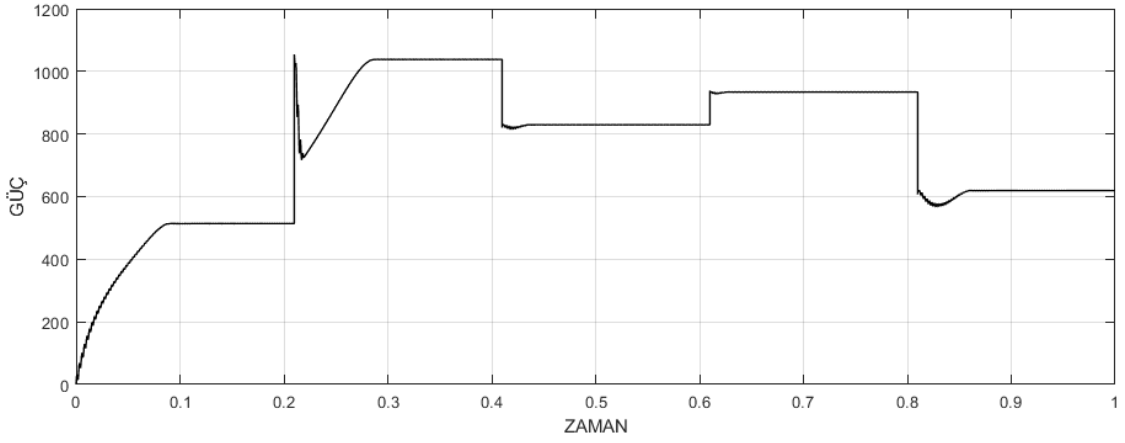
Şekil 3.3. Ani sabit ışınım değişiklerini içeren farklı durumlar için geleneksel Değiştir ve Gözle yöntemi ile elde edilen FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi



Şekil 3.4. Ani sabit ışınım değişiklerini içeren farklı durumlar için değiştirilmiş Değiştir ve Gözle yöntemi ile elde edilen FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi



Şekil 3.5. Ani sabit ışınım değişiklerini içeren farklı durumlar için geleneksel Artırımlı İletkenlik yöntemi ile elde edilen FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi

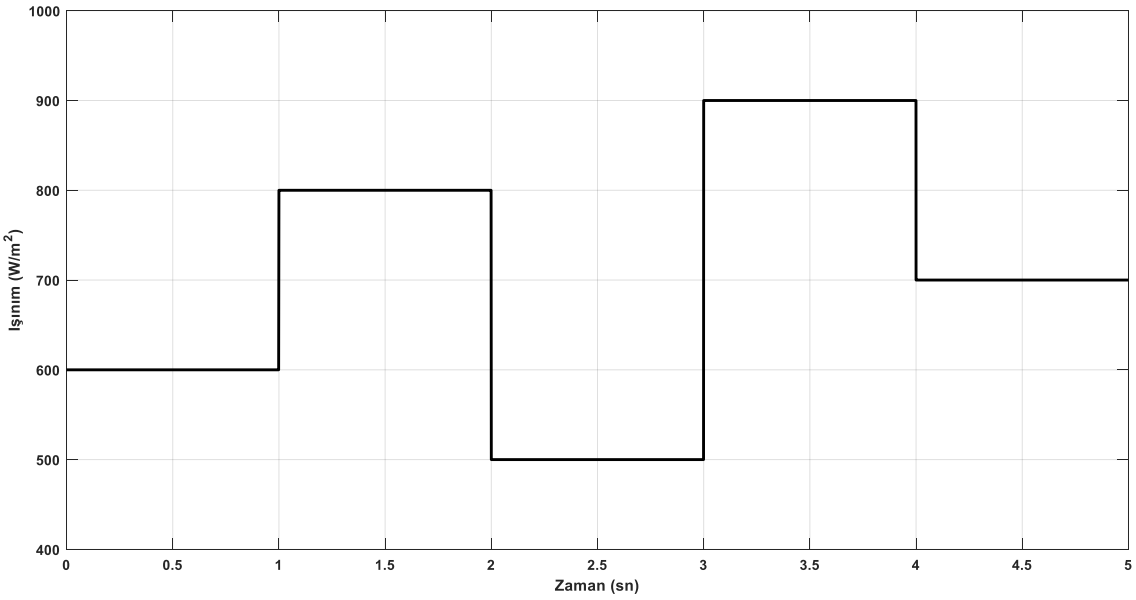


Şekil 3.6. Ani sabit ışınım değişiklerini içeren farklı durumlar için değiştirilmiş Artırımlı İletkenlik yöntemi ile elde edilen FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi

Tablo 3.4'te, geleneksel ve değiştirilmiş değiştir ve gözle ile artımlı iletkenlik yöntemlerinin güç verimliliği ve salınımlardan dolayı oluşan güç kayıpları gösterilmiştir. Yapılan karşılaştırmada her iki yöntemin tüm versiyonlarında yakın verimlilik değerlerine sahip iken tüm ışınım seviyeleri için değiştirilmiş versiyonlar geleneksel versiyonlara kıyasla düşük güç kaybı yüzdesine sahiptirler.

Tablo 3.4. Verimlilik ve güç kaybı karşılaştırması

Işınım değerleri (W/m^2)	**Geleneksel DG**		**Değiştirilmiş DG**		**Geleneksel Aİ**		**Değiştirilmiş Aİ**	
	Verimlilik (%)	Güç kaybı (%)	Verimlilik (%)	Güç kaybı (%)	Verimlilik (%)	Güç kaybı (%)	Verimlilik (%)	Güç kaybı (%)
500	99,6	2,9	99,6	0,19	99,6	2,8	99,6	0,03
1000	99,8	15,5	99,7	0,09	99,8	15,7	99,8	0,08
800	99,6	10,6	99,6	0,05	99,6	10,1	99,6	0,06
900	99,6	12,5	99,7	0,06	99,7	12	99,6	0,06
600	99,6	5,8	99,7	0,12	99,7	5,7	99,6	0,12

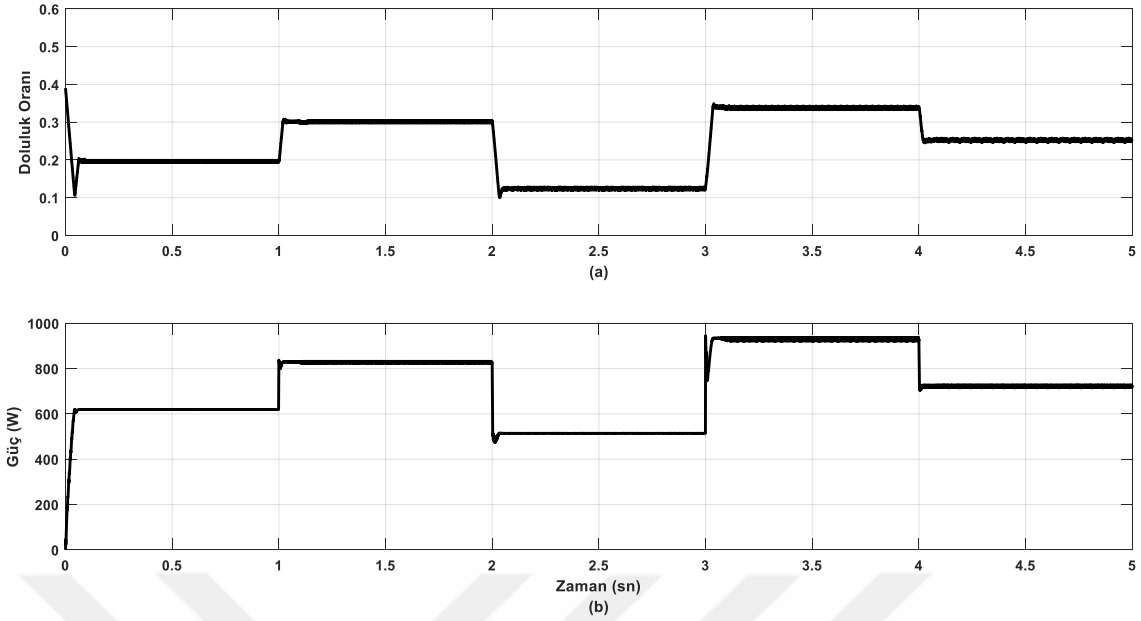


Şekil 3.7. Zamana göre değişen sabit ışınım seviyeleri

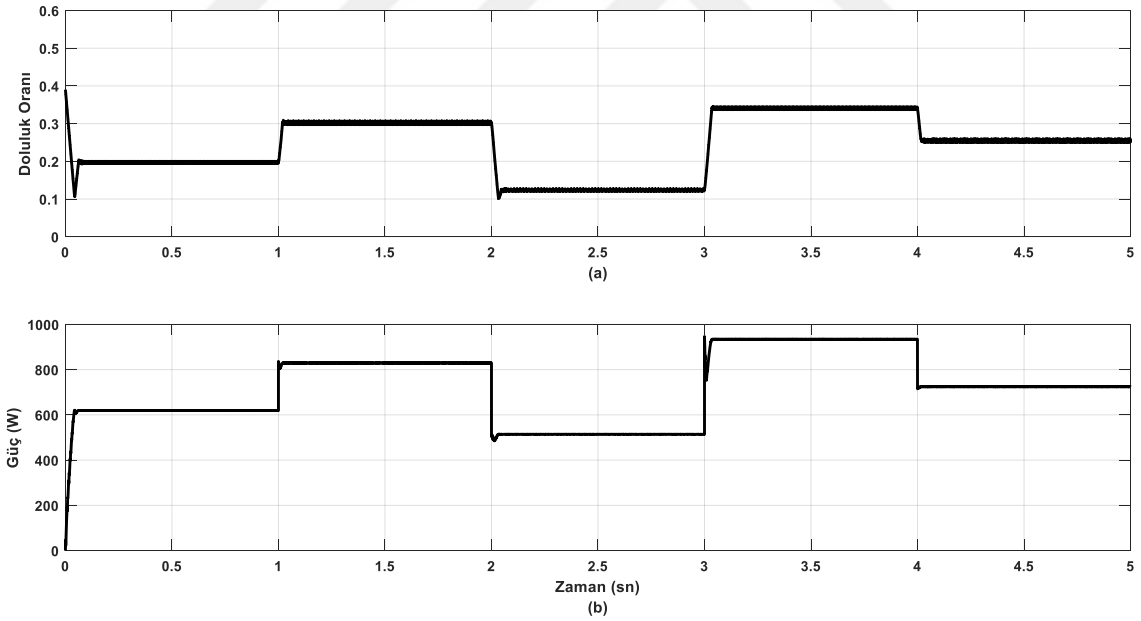
3.1.2. Sabit Dağılımlı Işınım Altında Metasezgisel Algoritmalar ile MGNT Analizi

Buraya kadar, geleneksel değiştir ve gözle (DG) ile artırımlı iletkenlik (Aİ) yöntemlerinin geleneksel ve değiştirilmiş versiyonlarının analizi gerçekleştirilmiştir. Burada, sabit dağılımlı ışınım değerleri için metasezgisel algoritmaların nasıl bir davranış sergiledikleri analiz edilecektir. Seçilen metasezgisel algoritmalara ait ayrıntılı bilgiler 2.3.2.1, 2.3.2.2 ve 2.3.2.3 bölümlerinde anlatılmıştır. MGNT için parçacık sürü optimizasyonu, gri kurt optimizasyonu ve balina optimizasyonu algoritmalarının dinamik ve kararlı hal performansları Şekil 3.7'de gösterilen zamana göre değişim gösteren farklı ışınım seviyeleri için incelenmiştir. FV panel dizisi çıkışında elde edilen MGN, güç-gerilim eğrilerinin en tepe noktasıdır. Işınım ve sıcaklığın değişimi ile MGN'nın konumu değişir ve bu ani değişimler, MGNT için kullanılan yöntemlerin sağlamlığını kontrol etmek için doğru test koşullarıdır. Bu nedenle, Şekil 3.7'de ışınım seviyeleri arası geçişler zamanın belli anlarında ani olarak gerçekleşmektedir. Ayrıca, güç seviyelerinde oluşan ani değişimlerde metasezgisel algoritmaların yeni optimum noktalarını arama süreçleri yeniden başlamasından dolayı algoritmalarda benzer başlangıç kriterleri kullanılarak performans karşılaştırmalarının aynı koşullar altında olması sağlanmıştır.

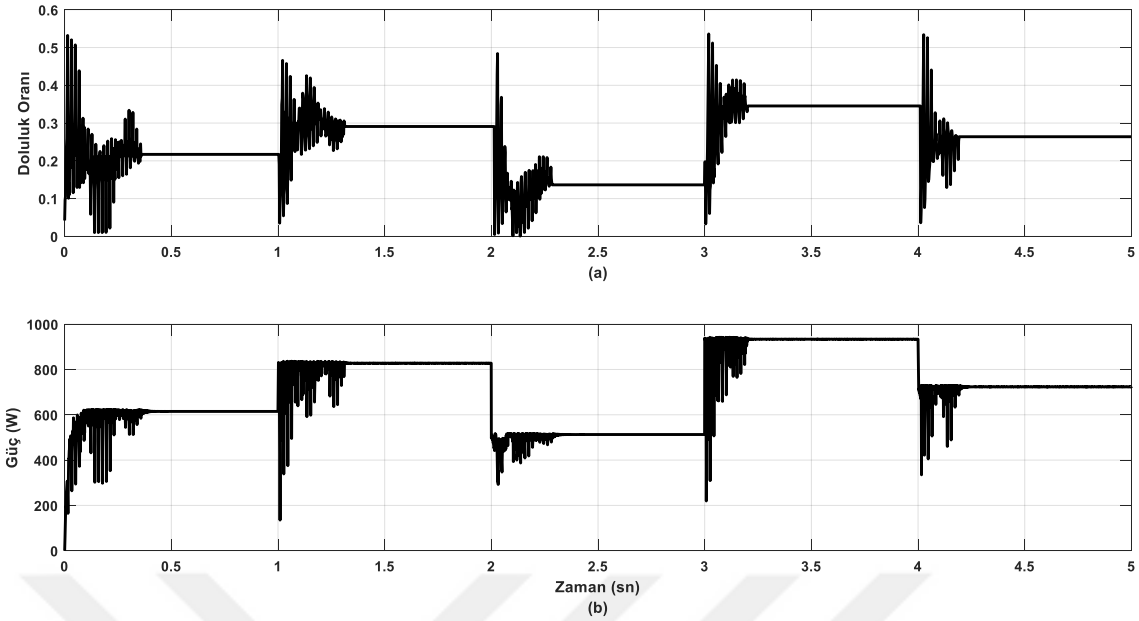
Şekil 3.7'de gösterilen ışınım sevilerindeki DG, Aİ, PSO, GKO ve BO yöntemleri ile elde edilen güç değişimleri ve MGN'na ulaşana kadar geçen süre içerisindeki doluluk oranı değişimleri, sırasıyla, Şekil 3.8, Şekil 3.9, Şekil 3.10, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de gösterilmiştir. Sabit dağılımlı ışınım altında beş algoritmanın tümü MGN'nı takip edebildiği şekillerden anlaşılmıştır. DG ve Aİ yöntemleri aynı adım büyüklüğünü kullanmasından dolayı (Tablo 3.3'te gösterildiği gibi) MGN'na ulaşmakta yaklaşık aynı takip sürelerine sahiptirler. Ayrıca Şekil 3.8.b ve Şekil 3.9.b'de gösterilen adım büyüklüğünden dolayı küçükte olsa MGN etrafında bir salınım oluşmaktadır. Değişimler incelendiğinde Aİ yönteminde oluşan salınım miktarı DG yönteminde oluşan salınım miktarına göre daha azdır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler Tablo 3.5'te gösterilmiştir.



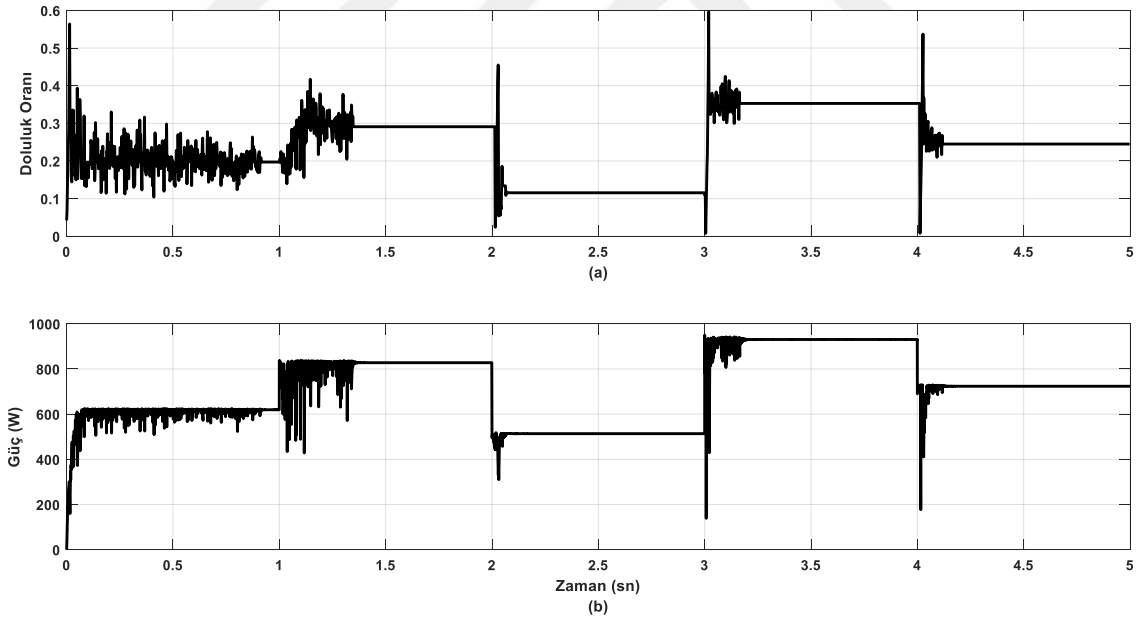
Şekil 3.8. Ani sabit ışınım değişiklerini içeren farklı durumlar için Değiştir ve Gözle yöntemi ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi



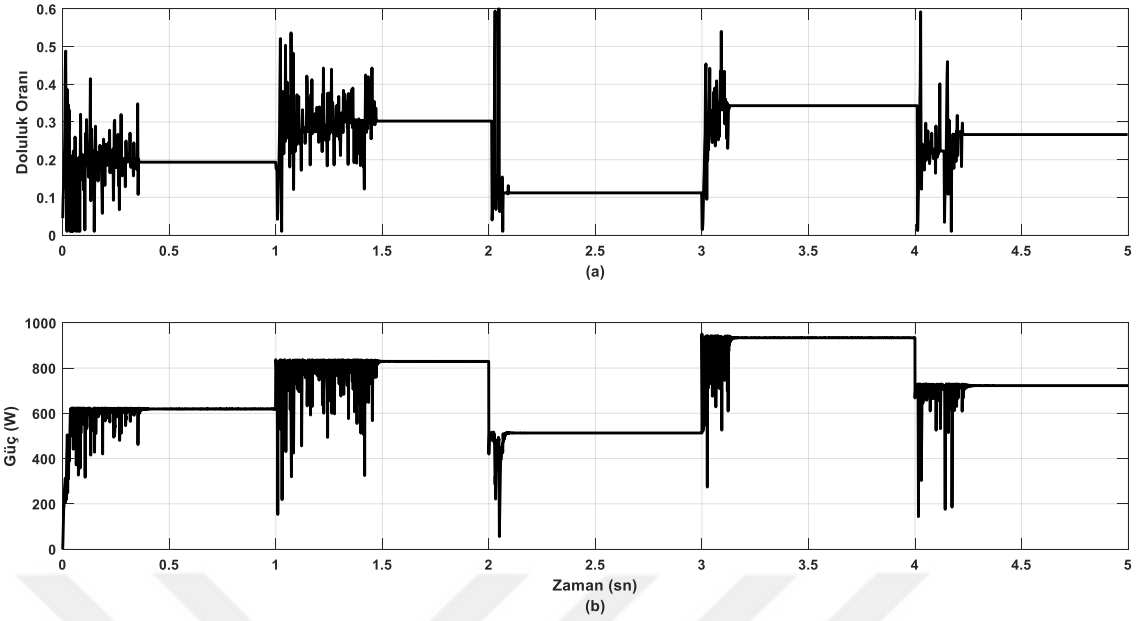
Şekil 3.9. Ani sabit ışınım değişiklerini içeren farklı durumlar için Artırımlı İletkenlik yöntemi ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi



Şekil 3.10. Ani sabit ışınım değişiklerini içeren farklı durumlar için Parçacık Sürü Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi



Şekil 3.11. Ani sabit ışınım değişiklerini içeren farklı durumlar için Gri Kurt Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi



Şekil 3.12. Ani sabit ışınım değişiklerini içeren farklı durumlar için Balina Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi

Geleneksel yöntemler, MGN'na yakınsamaktadır. Ancak, Tablo 3.5'te gösterildiği gibi değiştir ve gözle yöntemi ile elde edilen güçte oluşan salınımlar nedeniyle FV dizi çıkışındaki güç MGN'na yerleşememektedir. Salınımları azaltmak için 2.3.1.1. bölümünde bir yöntem önerilmiştir. Salınımları azaltmak için başka bir seçenekte adım büyüklüğünün önemli ölçüde azaltılmasıdır. Fakat bu işlemin sonucu olarak değiştir ve gözle yönteminin izleme süresi düşmektedir. İstenmeyen salınımlar gücü dağıtarak güç kaybına neden olur ve verimliliği düşürür. Eğer sabit bir adım büyüklüğü seçilecekse, seçilecek olan adım büyüklüğünün değeri önem arz etmektedir. Performans karşılaştırmalarında izleme süresini ve verimliliği dengelemek için gelen ışınım seviyesinde FV dizisinin çıkış gücündeki salınımın, maksimum çıkış gücünün %2'sinden küçük bir aralık içinde tutulabilmesi için deneysel olarak uygun bir adım büyüklüğü seçilmiştir.

Metasezgisel algoritmalarda, MGN'sında kararlı hala gelmek için yükselten dönüştürücünün doluluk oranını belirleme sürecini sonlandırmak için bir kriter kullanılır ve ışınım seviyesinde ani değişimler olmadığı müddetçe doluluk oranı değeri sabit tutulmaktadır. Doluluk oranının sabitlenmesi ise FV dizi çıkışındaki güç değişiminin salınımlı değil sabit olmasını sağlamaktadır. Hem şekillerden hem de Tablo 3.5'te gösterilen değerler ile bu durum gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Seçilen yöntemlerin sabit dağılımlı ışınımlar için güç, verimlilik ve takip süresi değerlerinin karşılaştırmalısı

Işınım değerleri (W/m^2)		**600**	**800**	**500**	**900**	**700**
MGN (W)		**619,5**	**829,5**	**514**	**933,7**	**724,6**
DG	Güç (W)	619-618,5	828,9-823	514-513,6	932,6-920,7	723,9-717,3
	Verimlilik (%)	99,91	99,92	100	99,88	99,90
	Takip Süresi (sn)	0,06	0,1	0,05	0,07	0,03
Aİ	Güç (W)	619	829	513,7	933,4	724
	Verimlilik (%)	99,91	99,93	99,94	99,96	99,91
	Takip Süresi (sn)	0,06	0,03	0,05	0,04	0,02
PSO	Güç (W)	616,8	827,8	512,8	933,6	723,3
	Verimlilik (%)	99,56	99,79	99,76	99,98	99,82
	Takip Süresi (sn)	0,46	0,34	0,38	0,24	0,28
GKO	Güç (W)	619,4	827,7	513,5	931,5	723,4
	Verimlilik (%)	99,98	99,78	99,90	99,76	99,83
	Takip Süresi (sn)	0,94	0,4	0,13	0,2	0,17
BO	Güç (W)	619,3	829,5	513	933,4	722,5
	Verimlilik (%)	99,96	100	99,80	99,96	99,71
	Takip Süresi (sn)	0,43	0,53	0,18	0,18	0,31

Metasezgisel algoritmalarla elde edilen verimlilik değerleri, geleneksel yöntemler ile elde edilen verimlilik değerleri gibi %99'un üstündedir. Fakat takip süreleri noktasında geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında metasezgisel algoritmalar daha yavaştır. Birbirleriyle karşılaştırıldığında ise GKO, diğerlerinden daha hızlı takip izleme süresine sahiptir. Yani GKO algoritmasının zamanın sıfır anında sıfır güç seviyesinden başlayarak MGN'a doğru ilerleyişi diğer algoritmalarla karşılaştırıldığında daha yavaştır, fakat farklı ışınım seviyeleri arasındaki hızlı geçişlerde başlangıç güç değeri bir önceki ışınım seviyesindeki güç değeri olduğu için yeni MGN'sına ulaşma hızı diğer algoritmalara göre daha hızlı olduğu elde edilen sonuçlarla gösterilmiştir.

3.1.3. Kısmi Gölgeli Durum Altında Metasezgisel Algoritmalar ile MGNT Analizi

Kısmi gölgeli durum, FV panel dizilerine eşit ışınım seviyeleri gelmediğinde oluşmaktadır. Kısmi gölgeli durumlarda panellerin çıkışında oluşan uyumsuzluk ve neticesinde oluşan

düşük performans Şekil 3.2'de gösterildiği gibi baypas diyotlarının kullanılmasıyla izole edilebilir. Bu bölümde, Şekil 3.2'de gösterilen simulink modeli kullanılarak Tablo 3.6'da gösterilen FV panel dizisindeki panellere gelen farklı ışınım seviyelerine göre oluşturulan kısmi gölgeli durum senaryoları için MGNT yöntemlerinin nasıl davrandığı analiz edilmiştir. Ayrıca Tablo 3.6'daki kısmi gölgeli durum senaryolarının değişim eğrileri Şekil 3.13, Şekil 3.17, Şekil 3.21 ve Şekil 3.25'te gösterilmiştir.

Değişim eğrilerinden de görülmektedir ki kısmi gölgeli durumlarda MGNT yöntemlerinin daha karmaşık yapılara sahip olmalarına neden olan çoklu tepe güç noktaları oluşmaktadır. Bu tepe noktaları, yerel ve global maksimumlar olarak adlandırılır. Geleneksel ve klasik MGNT yöntemleri, yerel ve global maksimumlar arasında ayrım yapamadıkları için performansın düşmesine neden olmaktadır. Örneğin kısmi gölgeli durum senaryolarına ait eğriler üç yerel maksimum ve bir global maksimum içermektedir. Her bir eğri üzerindeki yerel maksimumların ve global maksimumun güç değerleri Tablo 3.7'de gösterilmiştir.

Tablo 3.6. Farklı senaryolar için FV panel dizisindeki her bir panele gelen ışınım sevileri

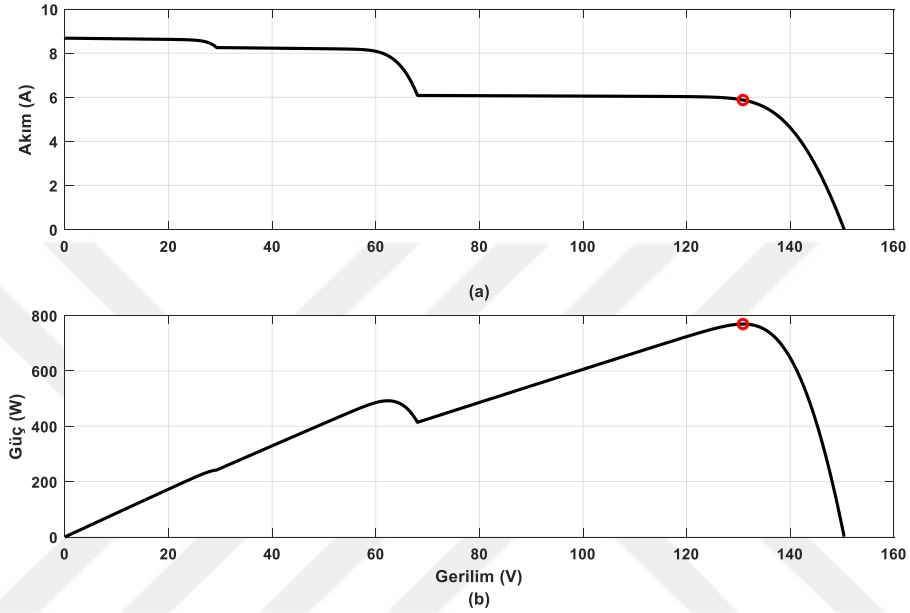
Senaryolar/ Işınımlar (W/m^2)	**Panel 1**	**Panel 2**	**Panel 3**	**Panel 4**
Senaryo 1	700	1000	950	700
Senaryo 2	1000	400	800	900
Senaryo 3	1000	900	700	400
Senaryo 4	600	900	1000	700

Tablo 3.7. Seçilen senaryolardaki güç-gerilim eğrileri üzerindeki yerel ve global tepe noktaları

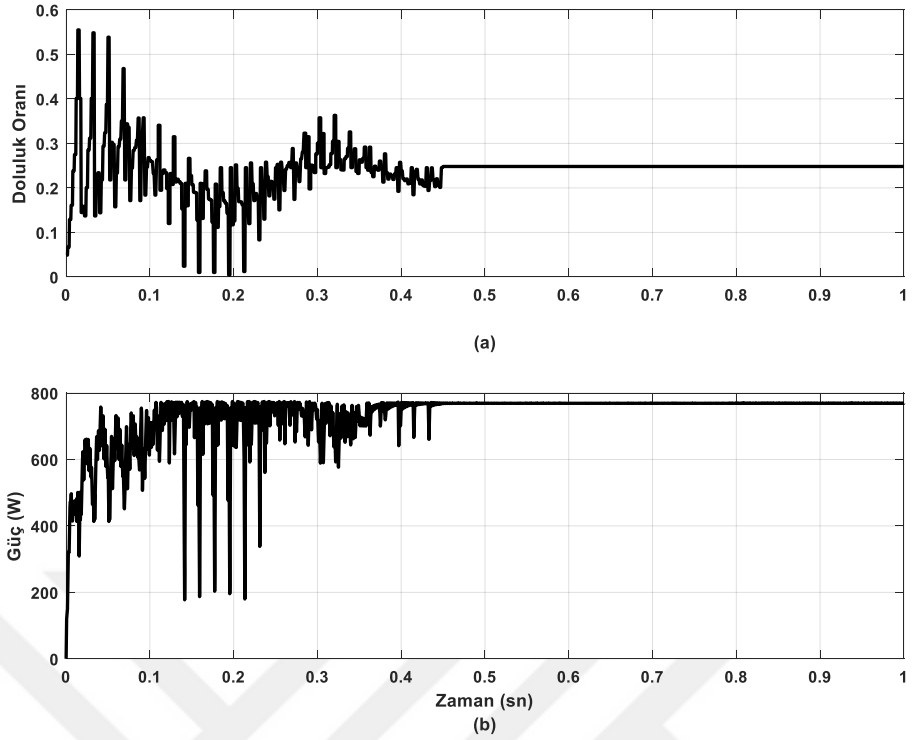
Senaryolar/ Güç değeri (W)	**YTN-1**	**YTN-2**	**YTN-3**	**GTN**
Senaryo 1	237.8	491.9	602	769.1
Senaryo 2	240.4	471.7	584.3	681.5
	YTN-1	**YTN-2**	**GTN**	**YTN-3**
Senaryo 3	242.3	472.1	655.6	467.8
Senaryo 4	361.3	490.8	593.2	469.8

Parçacık sürü optimizasyonu, gri kurt optimizasyonu ve balina optimizasyonu algoritmaları ile zamana göre elde edilen FV panel dizisi çıkış güç değişimi ve yükselten dönüştürücünün doluluk oranı değişimi, sırasıyla senaryo 1 için Şekil 3.14, Şekil 3.15 ve

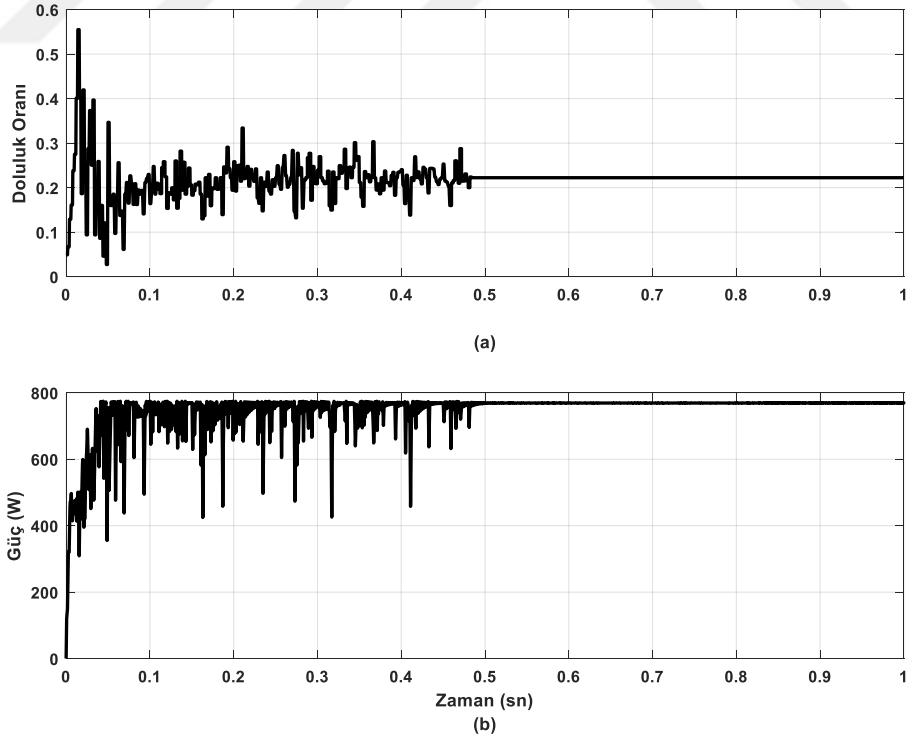
Şekil 3.16'da, senaryo 2 için Şekil 3.18, Şekil 3.19 ve Şekil 3.20'de, senaryo 3 için Şekil 3.22, Şekil 3.23 ve Şekil 3.24'te ve senaryo 4 için Şekil 3.26, Şekil 3.27 ve Şekil 3.28'de gösterilmiştir. Burada değiştir ve gözle ve artırımlı-iletkenlik yöntemleri ile elde edilen değişimlerde hep ilk yerel maksimum noktasında kaldıkları için değiştir ve gözle yöntemiyle elde edilen sonuçlar sadece Tablo 3.8'de gösterilmiştir.



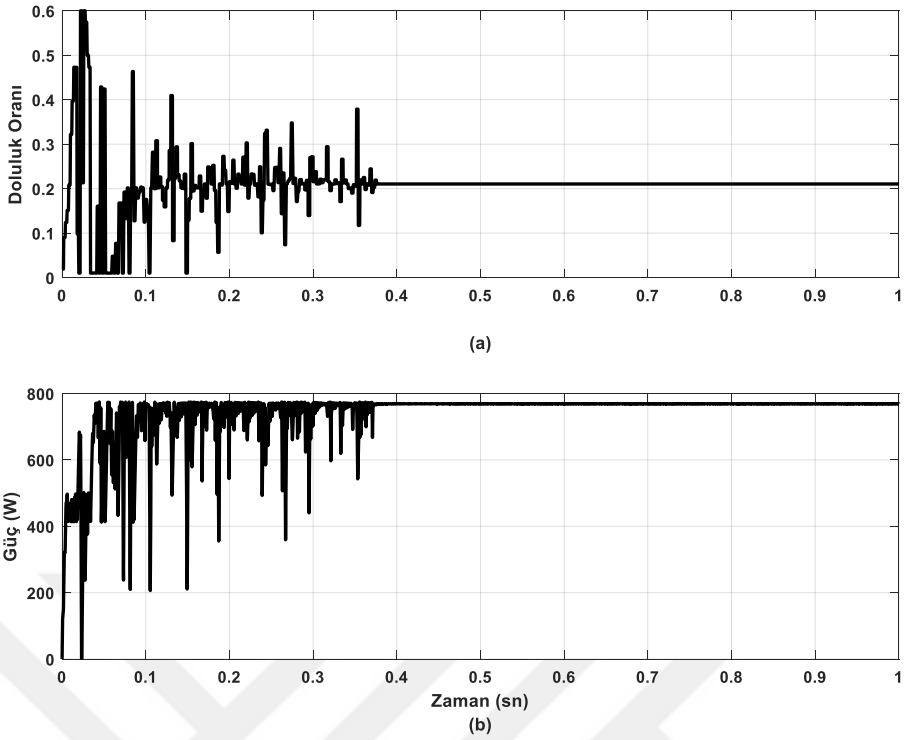
Şekil 3.13. Senaryo 1'e göre FV panel dizisi çıkışındaki (a) akım-gerilim ve (b) güç-gerilim eğrileri



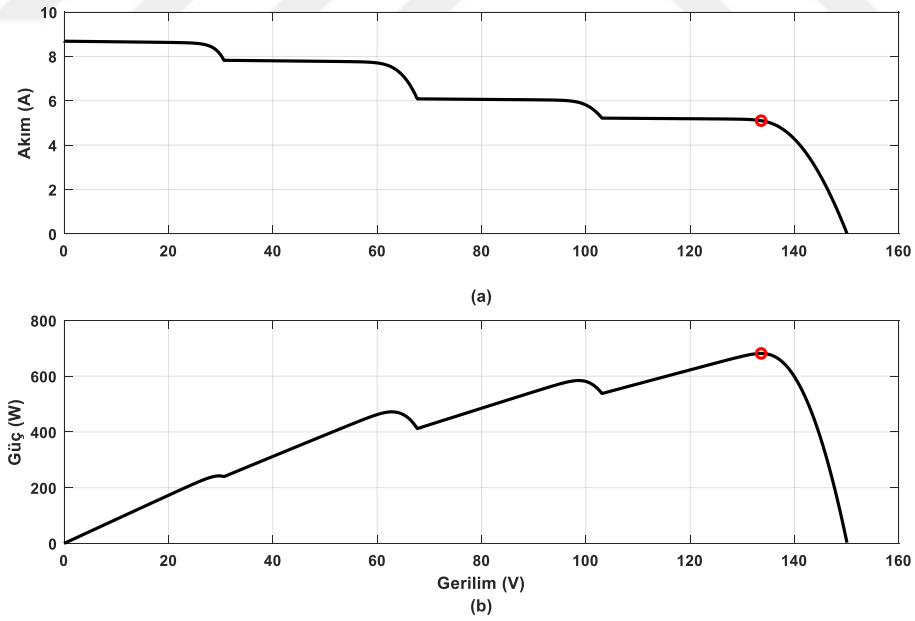
Şekil 3.14. Senaryo 1'e göre kısmi gölgeli durum için Parçacık Sürü Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi



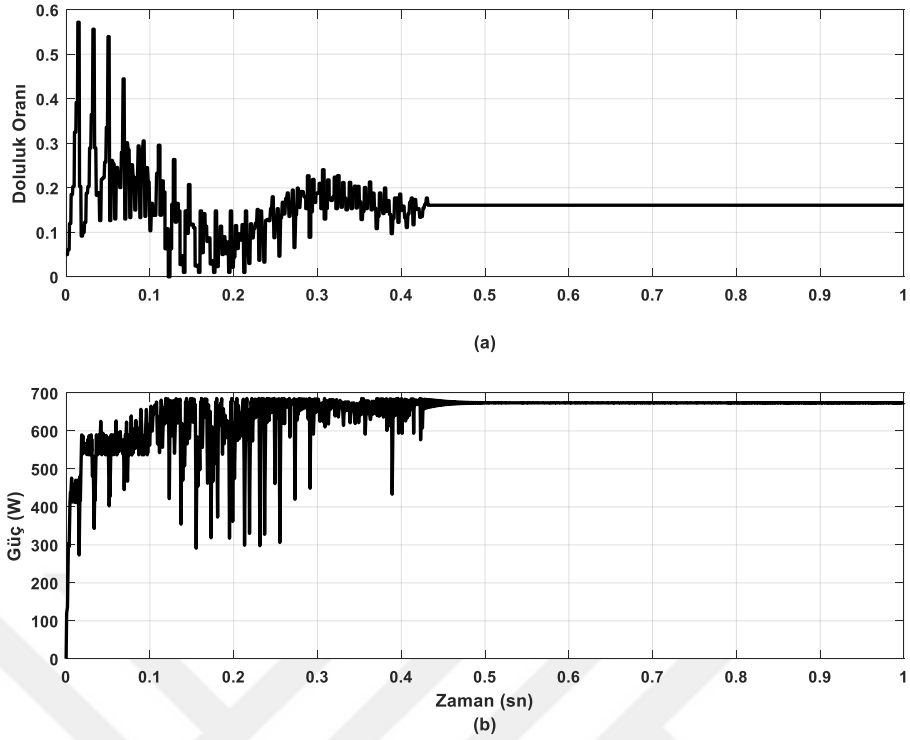
Şekil 3.15. Senaryo 1'e göre kısmi gölgeli durum için Gri Kurt Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi



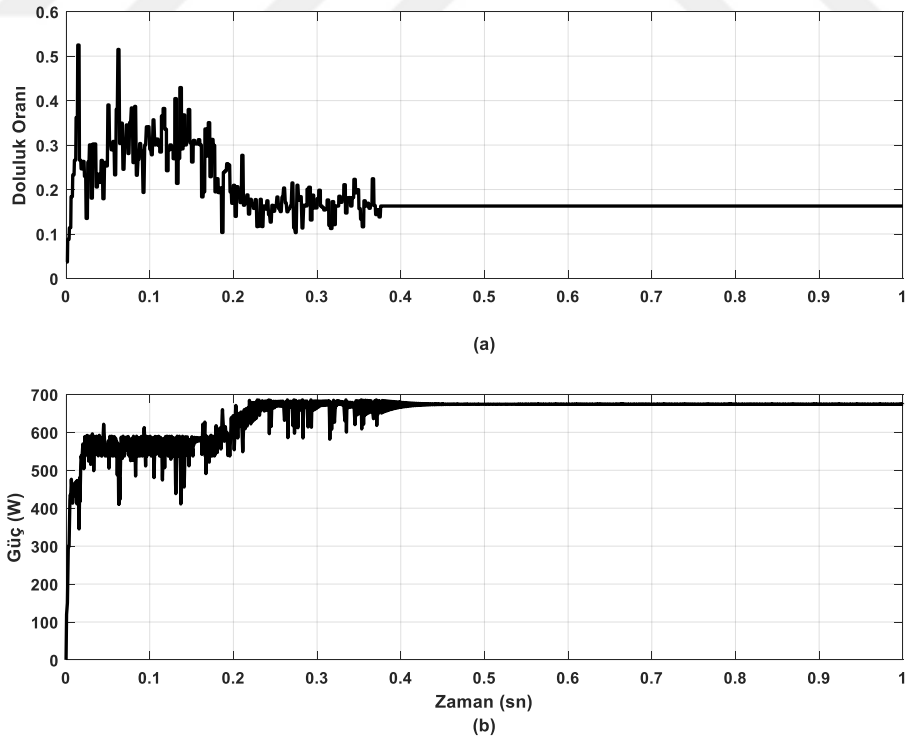
Şekil 3.16. Senaryo 1'e göre kısmi gölgeli durum için Balina Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi



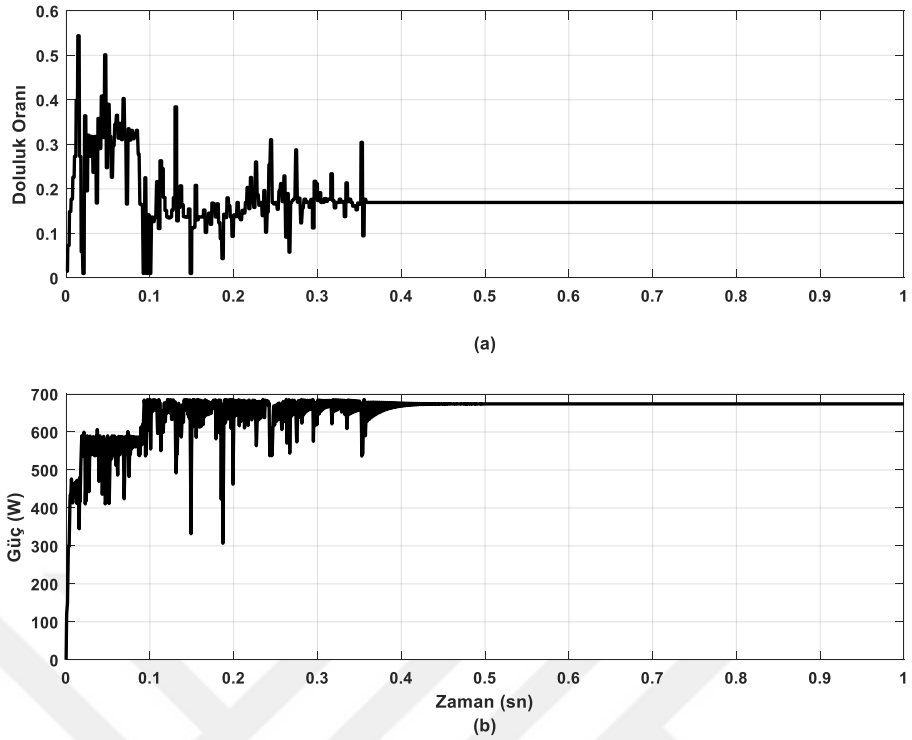
Şekil 3.17. Senaryo 2'e göre FV panel dizisi çıkışındaki (a) akım-gerilim ve (b) güç-gerilim eğrileri



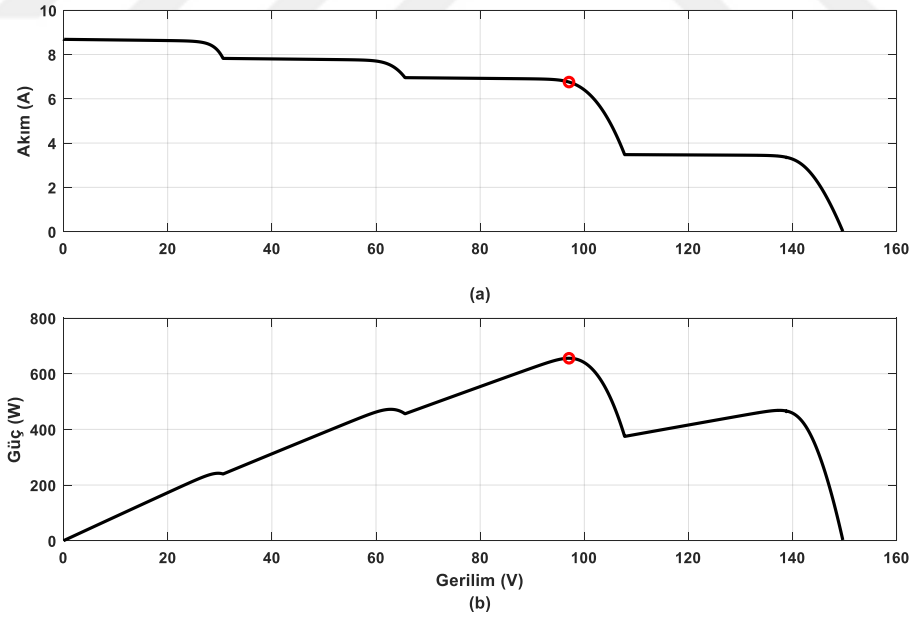
Şekil 3.18. Senaryo 2'e göre kısmi gölgeli durum için Parçacık Sürü Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi



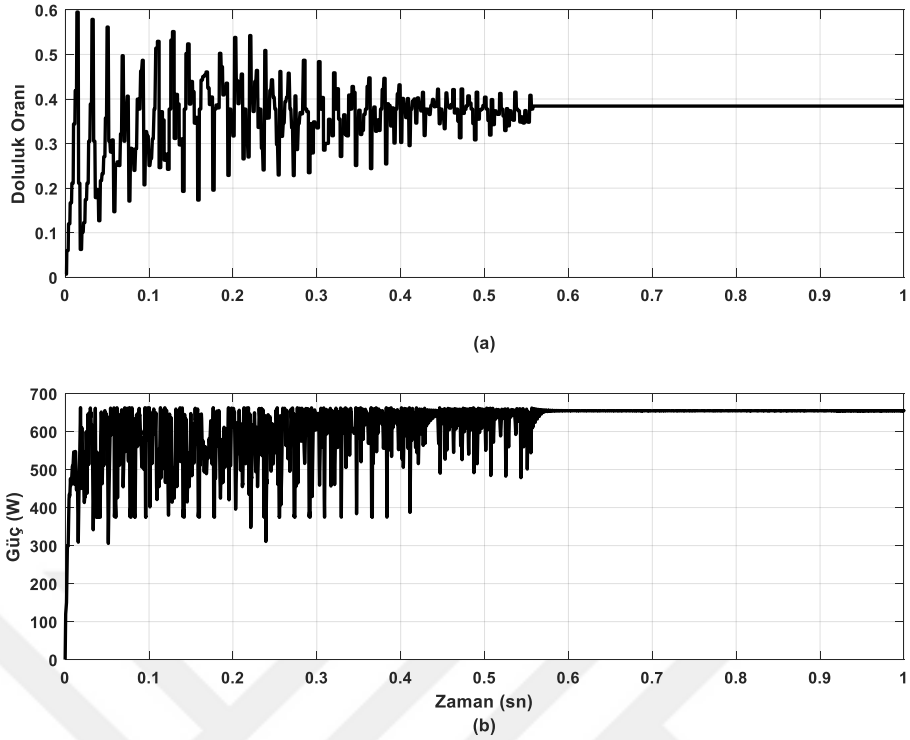
Şekil 3.19. Senaryo 2'e göre kısmi gölgeli durum için Gri Kurt Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi



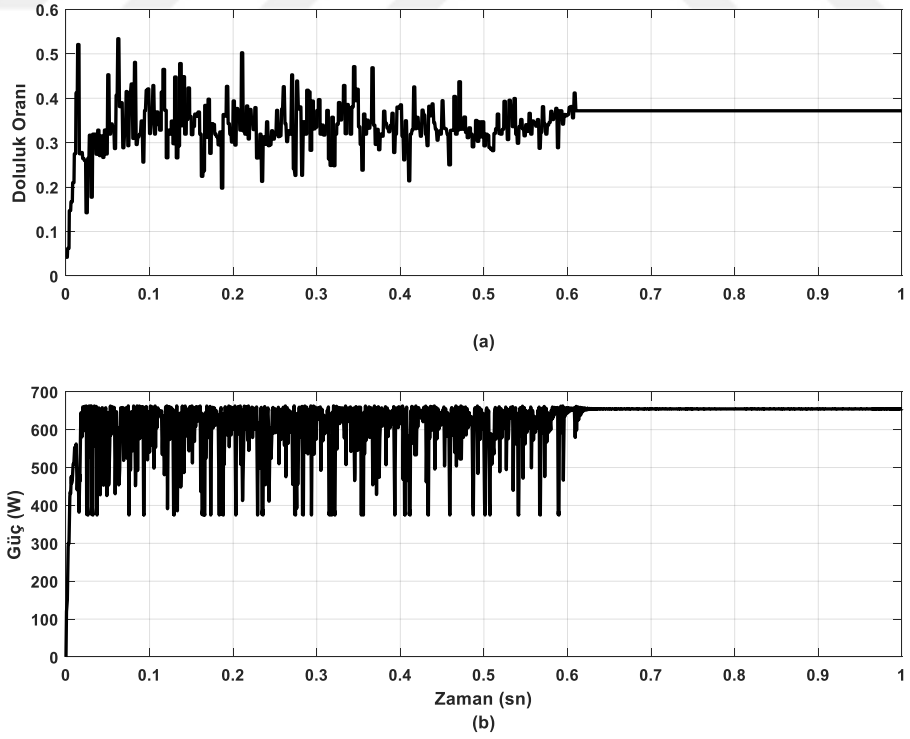
Şekil 3.20. Senaryo 2'e göre kısmi gölgeli durum için Balina Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi



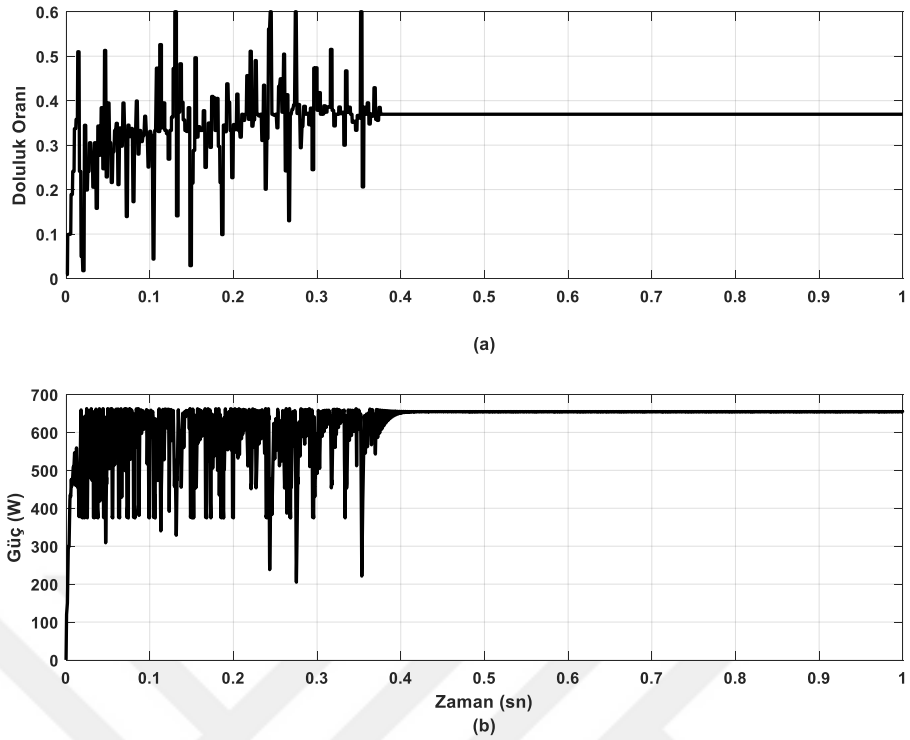
Şekil 3.21. Senaryo 3'e göre FV panel dizisi çıkışındaki (a) akım-gerilim ve (b) güç-gerilim eğrileri



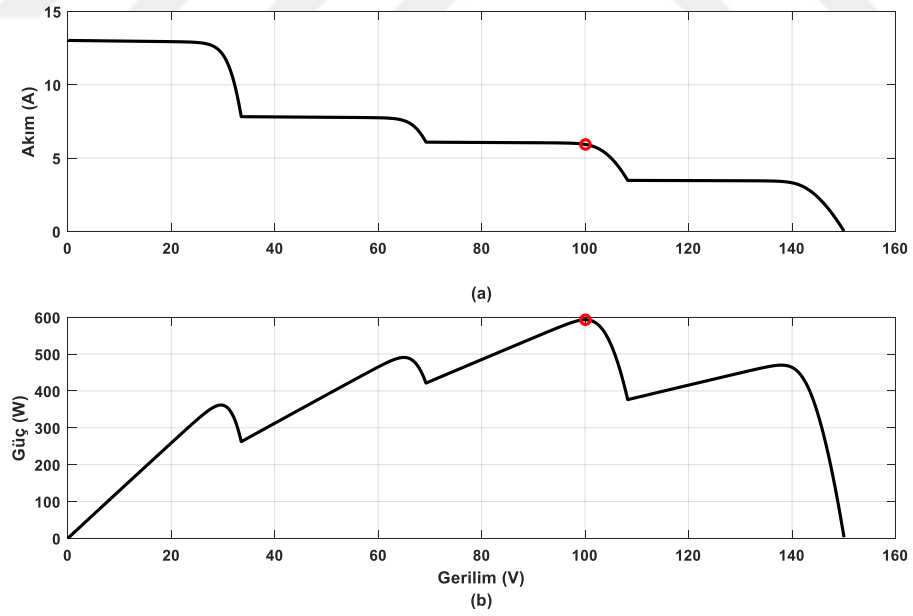
Şekil 3.22. Senaryo 3'e göre kısmi gölgeli durum için Parçacık Sürü Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi



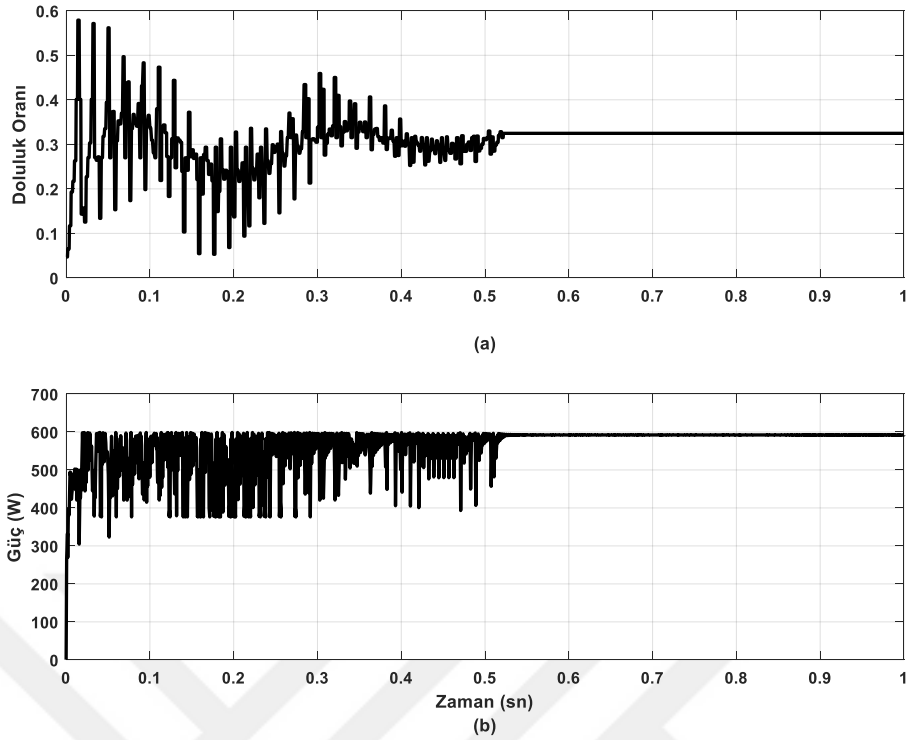
Şekil 3.23. Senaryo 3'e göre kısmi gölgeli durum için Gri Kurt Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi



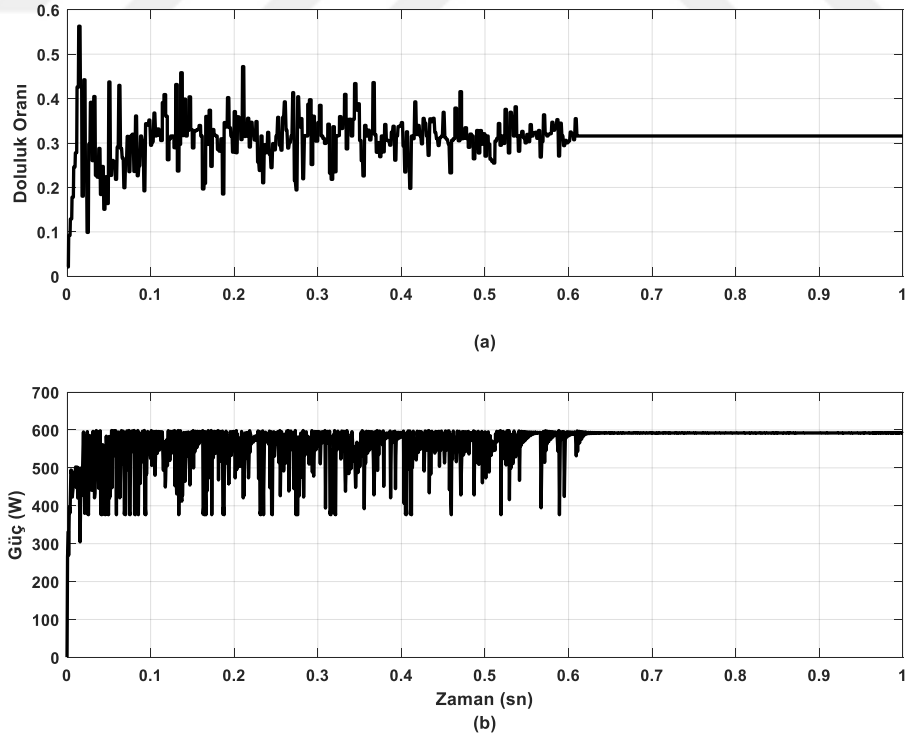
Şekil 3.24. Senaryo 3'e göre kısmi gölgeli durum için Balina Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi



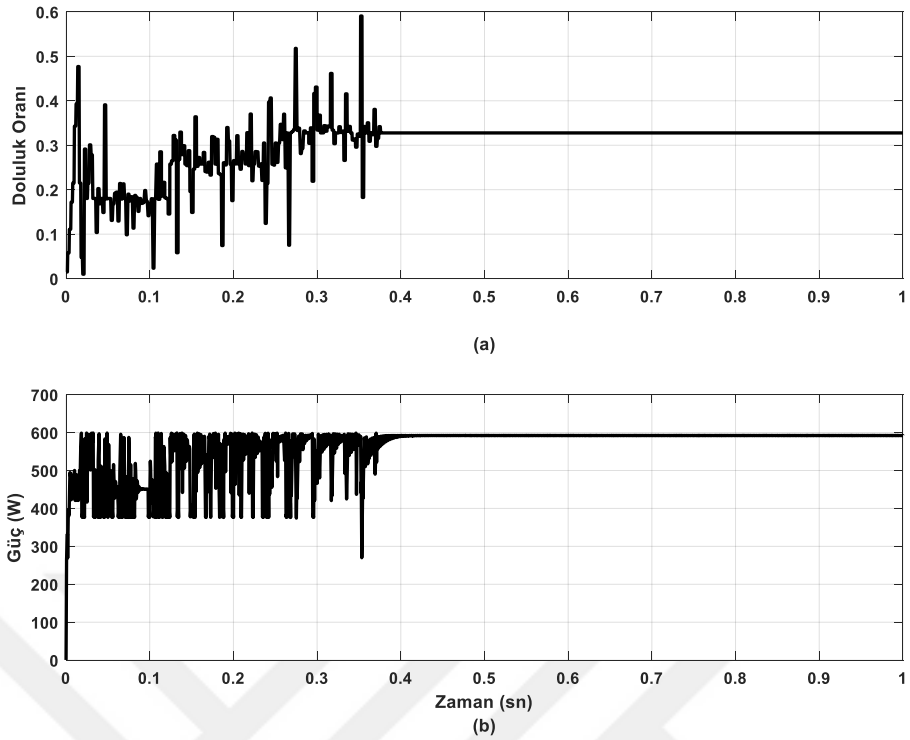
Şekil 3.25. Senaryo 4'e göre FV panel dizisi çıkışındaki (a) akım-gerilim ve (b) güç-gerilim eğrileri



Şekil 3.26. Senaryo 4'e göre kısmi gölgeli durum için Parçacık Sürü Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi



Şekil 3.27. Senaryo 4'e göre kısmi gölgeli durum için Gri Kurt Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi



Şekil 3.28. Senaryo 4'e göre kısmi gölgeli durum için Balina Optimizasyonu ile elde edilen (a) doluluk oranı ve (b) FV panel dizisi çıkış gücünün zamanla değişimi

Kısmi gölgeli durum altında senaryo 1'e göre DG, PSO, GKO ve BO ile elde edilen maksimum güç değerleri sırasıyla 236.5 W, 769 W, 768.9 W ve 769 W'dır. Verimlilik olarak incelendiği zaman meta-sezgisel algoritmalarla elde edilen sonuçlar hemen hemen yakın yüzdelik değerlere (%99,9) sahiptir. En düşük verimlilik ise DG yöntemi ile elde edilen %30,75 değeridir.

PSO, GKO ve BO algoritmalarını takip süreleri, sırasıyla 0.47sn, 0.51sn ve 0.39sn'dir. DG yönteminin takip süresi, ilk yerel maksimum noktada kaldıkları ve global maksimum noktaya ulaşamadığı için ihmal edilmiştir. Takip süresi sonuçları karşılaştırıldığında metasezgisel algoritmalar içerisinde en hızlı yaklaşan balina optimizasyon algoritması olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 3.8. Seçilen yöntemlerin kısmi gölgeli durum için güç, verimlilik ve takip süresi değerlerinin karşılaştırılması

MPPT yöntemleri	Senaryo	Takip süresi (sn)	MGN ulaşma	MGN'da güç değeri (W)	Elde edilen güç (W)	Verimlilik (%)
DG	Senaryo 1	-	Hayır	769,1	236,5	30,75
	Senaryo 2	-	Hayır	681,5	240,1	35,23
	Senaryo 3	-	Hayır	655,6	241,9	36,89
	Senaryo 4	-	Hayır	593,2	361	60,85
PSO	Senaryo 1	0,47	Evet	769,1	769	99,98
	Senaryo 2	0,5	Evet	681,5	676,5	99,26
	Senaryo 3	0,58	Evet	655,6	655,2	99,93
	Senaryo 4	0,54	Evet	593,2	592,6	99,89
GKO	Senaryo 1	0,51	Evet	769,1	768,9	99,97
	Senaryo 2	0,45	Evet	681,5	676,6	99,28
	Senaryo 3	0,64	Evet	655,6	655,1	99,92
	Senaryo 4	0,64	Evet	593,2	592,6	99,89
BO	Senaryo 1	0,39	Evet	769,1	769	99,98
	Senaryo 2	0,42	Evet	681,5	676,3	99,23
	Senaryo 3	0,42	Evet	655,6	655	99,90
	Senaryo 4	0,42	Evet	593,2	592,4	99,86

MGNT yöntemlerinin genel performansları analiz etmek ve karşılaştırmalı bir çalışma için seçilen senaryolara göre elde edilen tüm sonuçlar Tablo 3.8'de gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, metasezgisel yöntemlerin yüksek oranda FV sistemlerine adapte edilebilir, sağlam ve yüksek performanslara sahip oldukları görülmektedir. Değiştir ve gözle yöntemi, sabit dağılımlı ışınım durumlarında hızlı bir şekilde yakınsamakta ancak yüksek verime sahip olmasına rağmen kısmi gölgeli durumlarda başarısız olmaktadır.

Güç ve doluluk oranı değişimlerini gösteren şekiller incelendiğinde, sürü tabanlı tekniklerin global maksimum noktayı başarılı bir şekilde bulabildiği, ancak çözüm optimizasyonundan kaynaklanan rastgele değişim nedeniyle, daha düşük takip sürelerine sahiptirler ve rasgele salınımlar gözlenmektedir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, FV panel dizisinin maksimum gücünde kullanılmasını sağlamak için bir güç elektroniği dönüştürücüsü olan yükselten dönüştürücü dahil edilerek, bağımsız bir fotovoltaik güç elektrik üretim sisteminin modellenmesi, benzetimi ve kontrolü gerçekleştirilmiştir. Önerilen FV sistemin benzetimi MATLAB/SIMULINK ortamında yapılmıştır.

Fotovoltaik sistemdeki maksimum güç noktası, çevre koşullarının değişmesiyle farklılık göstermektedir. Bu nedenle, fotovoltaik sistemden maksimum güç elde etmek için maksimum güç noktası izleme teknolojisi gereklidir. Bu çalışmada, sabit dağılımlı ışınım ve kısmi gölgeli durumlar için FV sistemin MGN'sını izlemesi için literatürdeki çalışmalarda öne çıkan geleneksel ve metasezgisel yöntemler kullanılarak performans karşılaştırılması yapılmıştır. Performans karşılaştırmalarının sonuçları aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

- İlk olarak geleneksel DG ve AI yöntemleri ile FV panel dizisi güç çıkışını düzenlemek için bir kontrol stratejisi önerilmiştir. Kontrol stratejisi için önerilen değiştirilmiş DG ve Aİ yöntemleri, sabit dağılımlı ve dinamik ışınım durumlarında geleneksel DG ve Aİ yöntemleri ile karşılaştırıldığında, salınımları azaltıp güç kaybını azalttığı ve FV sistemin performansını iyileştirdiği benzetim sonuçlarıyla gösterilmiştir.

- Daha sonra farklı kısmi gölgeli koşullarda güç-gerilim karakteristikleri sunulmuştur. Bu değişimlerde, biri global maksimum ve diğerlerinin tümü yerel maksimum güç noktaları olan birden fazla MGN bulunmaktadır. Karakteristiklerin oldukça doğrusal olmadığı ve kısmi gölgeli koşullar altında global maksimum güç noktayı izlemenin karmaşık olduğu gözlemlenmiştir. Metasezgisel yöntemlerin farklı kısmi gölgeli koşullar için global maksimum güç noktasını izlemek için kullanılır ve dinamik koşullar altında global MGN'nı yüksek doğrulukla ve daha az takip süresiyle izlemede etkili olduğu ve DG ve

Aİ gibi geleneksel yöntemlere kıyasla daha iyi performansa sahip oldukları elde edilen sonuçlarla gösterilmiştir.

- Metasezgisel yöntemlerin kısmi gölgeli koşullar için BO algoritmasının doğruluk ve izleme süresi açısından GKO ve PSO algoritmalarına göre üstün olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

[1] Walker HA, Desai JD, Heimiller DM. Performance of Photovoltaic Systems Recorded by Open Solar Performance and Reliability Clearinghouse (oSPARC). National Renewable Energy Lab, Golden, CO, United States, 2020.

[2] https://irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Apr/IRENA_GRO_ Summary_2020.pdf (erişim tarihi: 04.07.2021).

[3] https://iea.blob.core.windows.net/assets/pv_roadmap.pdf (erişim tarihi 12.07 2021).

[4] Sulukan E. İstanbul'da bir fotovoltaik sistemin tekno-ekonomik ve çevresel analizi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi. 2020; 26(1): 127-132.

[5] Peter AA, Alkaisi MM. Nanostructures for light trapping in thin film solar cells. Micromachines. 2019; 10(9): 2-18.

[6] https://www.oecd.org/env/cc/49082173.pdf (erişim tarihi: 15.06.2021).

[7] https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013 (erişim tarihi: 04.07.2021).

[8] Kurtz S, Newmiller J, Kimber A, Flottemesch R, Riley E, Dierauf T, McKee J, Krishnani P. Analysis of Photovoltaic System Energy Performance Evaluation Method, National Renewable Energy Lab, Golden, CO, USA, 2013.

[9] Eltawil MA, Zhao Z. MPPT techniques for photovoltaic applications. Renew. Sustain. Energy Rev. 2013; 25: 793–813.

[10] Lüy M, Türk F, Metin, NA. Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası Takibi İçin Değiştir-Gözle, Artan İletkenlik Ve Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmalarının Karşılaştırılması. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi. 2021; 13(3); 202-214.

[11] Elgendy M, Zahawi B, Atkinson D. Assessment of Perturb and Observe MPPT Algorithm Implementation Techniques for PV Pumping Applications. IEEE Trans. Sustain. Energy. 2012; 3: 21–33.

[12] Suwannatrai P, Liutanakul P, Wipasuramonton P. Maximum power point tracking by incremental conductance method for photovoltaic systems with phase shifted full-bridge dc-dc converter. In The 8th Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI) Association of Thailand-Conference. 2011; 637-640.

[13] Lasheen M, Rahman AKA, Abdel-Salam, M, Ookawara S. Performance enhancement of constant voltage based MPPT for photovoltaic applications using genetic algorithm. Energy Procedia. 2016; 100: 217-222.

[14] Patel HH, Agarwal V. Maximum Power Point Tracking Scheme for PV Systems Operating Under Partially Shaded Conditions. IEEE Trans. Ind. Electron. 2008; 55: 1689–1698.

[15] Saxena AR, Gupta SM. Performance Analysis of P&O and Incremental Conductance MPPT Algorithms Under Rapidly Changing Weather Conditions. Journal of Electrical Systems.2014; 10(3): 292-304.

[16] Bataineh K, Taamneh Y. Adaptive neuro-fuzzy inference system-based improvement of perturb and observe maximum power point tracking method for photovoltaic systems. International Journal of Power Electronics and Drive Systems. 2017; 8(3): 1327-1334.

[17] Almi MF, Belmili H, Arrouf M, Bendib B. A Novel Adaptive Variable Step Size P&O MPPT Algorithm. Academic Journal of Science. 2016; 6(1): 533–540.

[18] Saidi K, Maamoun M, Bounekhla MH. A new high performance variable step size perturb-and-observe MPPT algorithm for photovoltaic system. International Journal of Power Electronics and Drive Systems. 2019; 10(3): 1662-1674.

[19] Belkai A, Colak I, Kayisli K. Implementation of a modified P&O-MPPT algorithm adapted for varying solar radiation conditions. Electrical Engineering. 2017; 99(3): 839-846.

[20] Mohssine H, Kourchi M, Bouhouch H, Debbagh F. Perturb and observe (P&O) and incremental conductance (INC) MPPT algorithms for PV panels. International Journal of Soft Computing and Engineering. 2015; 5(2): 2231-2307.

[21] Muthukumar K, Anandhi TS. Real Time Implementation of Variable Step Size Based P&O MPPT for PV Systems Based on dSPACE. International Journal of Power Electronics and Drive Systems, 2016; 7(3): 915-925.

[22] Kahoul N, Mekki M. Adaptive P&O MPPT Technique for Photovoltaic Buck-Boost Converter System. International Journal of Computer Applications. 2015; 112(12); 23-27.

[23] Bruendlinger R, Bletterie B, Milde M, Oldenkamp H. Maximum power point tracking performance under partially shaded PV array conditions. 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference. 2006; 2157-2160.

[24] Dorofte C, Borup U, Blaabjerg F. PT control scheme for grid-connected photovoltaic systems. European Conference on Power Electronics and Applications. 2005; 1-10.

[25] Yafaoui A, Wu B, Cheung R. Implementation of maximum power point tracking algorithm for residential photovoltaic systems. In 2nd Canadian solar buildings conference Calgary. 2007; 10-14.

[26] Lee JH, Bae H, Cho B H. Advanced incremental conductance MPPT algorithm with a variable step size. In 2006 12th International Power Electronics and Motion Control Conference. 2006; 603-607.

[27] Ahmed J, Salam Z. A Maximum Power Point Tracking (MPPT) for PV system using Cuckoo Search with partial shading capability. Applied energy. 2014; 119: 118-130.

[28] Yang B, Zhong L, Zhang X, Shu H, Yu T, Li H, Sun L. Novel bio-inspired memetic salp swarm algorithm and application to MPPT for PV systems considering partial shading condition. Journal of cleaner production, 2019; 215: 1203-1222.

[29] Patel H, Agarwal V. MATLAB-based modeling to study the effects of partial shading on PV array characteristics. IEEE transactions on energy conversion. 2008; 23(1): 302-310.

[30] Shi J, Zhang W, Zhang Y, Xue F, Yang T. MPPT for PV systems based on a dormant PSO algorithm. Electric Power Systems Research. 2015; 123: 100-107.

[31] Conditions P, Koutroulis E, Blaabjerg F. A new technique for tracking the global maximum power point of PV arrays operating under partial-shading conditions. IEEE journal of photovoltaics. 2012; 2(2): 184-190.

[32] Spertino F, Ahmad J, Ciocia A, Di Leo P, Murtaza A F, Chiaberge M. Capacitor charging method for I–V curve tracer and MPPT in photovoltaic systems. Solar Energy. 2015; 119:461-473.

[33] Álvarez-Alvarado JM, Ríos-Moreno JG, Obregón-Biosca SA, Ronquillo-Lomelí G, Ventura-Ramos E, Trejo-Perea M. Hybrid techniques to predict solar radiation using support vector machine and search optimization algorithms: a review. Applied Sciences. 2021; 11(3): 1-16.

[34] Nivetha V, Gowri GV. Maximum power point tracking of photovoltaic system using ant colony and particle swam optimization algorithms. 2nd International Conference on Electronics and Communication Systems. 2015; 948-952.

[35] Sundareswaran K, Vigneshkumar V, Sankar P, Simon SP, Nayak PSR, Palani S. Development of an improved P&O algorithm assisted through a colony of foraging ants for MPPT in PV system. IEEE transactions on industrial informatics. 2015; 12(1): 187-200.

[36] Nugraha DA, Lian KL. A novel MPPT method based on cuckoo search algorithm and golden section search algorithm for partially shaded PV system. Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering. 2019; 42(3): 173-182.

[37] Eltamaly AM. An improved cuckoo search algorithm for maximum power point tracking of photovoltaic systems under partial shading conditions. Energies. 2021; 14(4): 953.

[38] Zhang M, Chen Z, Wei, L. An Immune Firefly Algorithm for Tracking the Maximum Power Point of PV Array under Partial Shading Conditions. Energies. 2019; 12(16): 1-15.

[39] Teshome DF, Lee CH, Lin YW, Lian KL. A modified firefly algorithm for photovoltaic maximum power point tracking control under partial shading. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics. 2016; 5(2): 661-671.

[40] Kumar CH, Rao RS. A novel global MPP tracking of photovoltaic system based on whale optimization algorithm. International Journal of Renewable Energy Development. 2016; 5(3): 225-232.

[41] Mohamed AAA, Haridy AL, Hemeida AM. The Whale Optimization Algorithm based controller for PMSG wind energy generation system. International conference on innovative trends in computer engineering. 2019; 438-443.

[42] Guo K, Cui L, Mao M, Zhou L, Zhang Q. An improved gray wolf optimizer MPPT algorithm for PV system with BFBIC converter under partial shading. IEEE Access. 2021; 8: 103476-103490.

[43] Motamarri R, Bhookya N, Chitti Babu B. Modified grey wolf optimization for global maximum power point tracking under partial shading conditions in photovoltaic system. International Journal of Circuit Theory and Applications. 2021; 49 (7): 1884-1901.

[44] Singh Chawda G, Prakash Mahela O, Gupta N, Khosravy M, Senjyu T. Incremental Conductance Based Particle Swarm Optimization Algorithm for Global Maximum Power Tracking of Solar-PV under Nonuniform Operating Conditions. Applied Sciences. 2020; 10(13): 1-16.

[45] Calvinho G, Pombo J, Mariano S, do Rosario Calado M. Design and implementation of MPPT system based on PSO algorithm. International Conference on Intelligent Systems. 2018; 733-738.

[46] Ishaque K, Salam Z. A review of maximum power point tracking techniques of PV system for uniform insolation and partial shading condition. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013; 19: 475-488.

[47] Salam Z, Ahmed J, Merugu BS. The application of soft computing methods for MPPT of PV system: A technological and status review. Applied Sciences. 2013; 107: 135-148.

[48] Efendi MZ, Murdianto FD, Setiawan RE. Modeling and simulation of MPPT sepie converter using modified PSO to overcome partial shading impact on DC microgrid system. International Electronics Symposium on Engineering Technology and Applications. 2017; 27-32.

[49] Priyadarshi N, Padmanaban S, Maroti PK, Sharma A. An extensive practical investigation of FPSO-based MPPT for grid integrated PV system under variable operating conditions with anti-islanding protection. IEEE Systems Journal, 2018; 13(2): 1861-1871.

[50] Mohant S, Subudhi B, Ray PK. A grey wolf-assisted perturb & observe MPPT algorithm for a PV system. IEEE Transactions on Energy Conversion. 2016; 32(1): 340-347.

[51] Eltamaly AM, Farh HM. Dynamic global maximum power point tracking of the PV systems under variant partial shading using hybrid GWO-FLC. Solar Energy. 2019; 177: 306-316.

[52] Eltamaly AM, Farh HM, Al-Saud M S. Grade point average assessment for metaheuristic GMPP techniques of partial shaded PV systems. IET Renewable Power Generation. 2019; 13(8): 1215-1231.

[53] Vankadara SK, Chatterjee S, Balachandran PK, Mihet-Popa L. Marine predator algorithm (MPA)-based MPPT technique for solar PV systems under partial shading conditions. Energies. 2022; 15(17): 1-16.

[54] Çikla R. Samsun ilinde kurulu şebekeye bağlı bir güneş enerji santralinin performansına gölgelenme etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. 2020.

[55] Jiang L, Maskell DL. A simple hybrid MPPT technique for photovoltaic systems under rapidly changing partial shading conditions. 40th Photovoltaic Specialist Conference. 2014; 782-787.

[56] Özdemir A, Pamuk N. Kısmi Gölgelenme Şartları Altındaki Kompleks Yapılı Fotovoltaik Enerji Sistemlerinde Maksimum Güç Noktası Takibinin Metasezgisel Algoritmalar Kullanılarak İncelenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi. 2021; 31: 157-164.

[57] Karagöz MK. Design and implementation of the BAT algorithm based maximum power point tracker that able to manage partial shadow conditions for PV systems. Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Eğitim Enstitüsü. 2021.

[58] Gümüş Z, Demirtaş M. Fotovoltaik sistemlerde maksimum güç noktası takibinde kullanılan algoritmaların kısmi gölgeleme koşulları altında karşılaştırılması. Politeknik Dergisi. 2021; 24(3): 853-865.

[59] Kandemir E. Kısmi gölgelenme koşullarında maksimum güç noktasında çalışan enerji geri kazanımlı tek dönüştürücülü şebeke bağlantılı PV sistem tasarımı ve uygulaması. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi. 2020.

[60] Kaysal A, Köroğlu S, Oğuz, Y, Kaysal K. Kendinden ayarlı bulanık PI denetleyici tabanlı DA-DA dönüştürücü tasarımı ve deneysel uygulaması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi. 2023; 38(1): 483-496.

[61] Civelek Ö, Tüysüz M, Ayas MŞ. PID Parameter Optimization By Using Ant Colony Optimization Algorithm For Boost Converter. SETSCI Conference Proceedings. 2019; 4(6): 246-252

[62] Necaibia S, Kelaiaia MS, Labar H, Necaibia A, Castronuovo ED. Enhanced auto-scaling incremental conductance MPPT method, implemented on low-cost microcontroller and SEPIC converter. Solar Energy. 2019; 180: 152-168.

[63] Hohm DP, Ropp ME. Comparative study of maximum power point tracking algorithms. Progress in photovoltaics: Research and Applications, 2003; 11(1): 47-62.

[64] Bonyadi MR, Michalewicz Z. Particle Swarm Optimization for Single Objective Continuous Space Problems: A Review. Evolutionary Computation. 2017; 25 (1): 1-54.

[65] Liu YH, Huang SC, Huang JW, Liang WC. A particle swarm optimization-based maximum power point tracking algorithm for PV systems operating under partially shaded conditions. IEEE transactions on energy conversion. 2012; 27(4): 1027-1035.

[66] Mirjalili S, Lewis A. The whale optimization algorithm. Advances in engineering software. 2016; 95: 51-67.

[67] Gharehchopogh FS, Gholizadeh H. A comprehensive survey: Whale Optimization Algorithm and its applications. Swarm and Evolutionary Computation. 2019; 48: 1-24.

[68] Mirjalili S, Mirjalili SM, Lewis A. Grey wolf optimizer. Advances in engineering software. 2014; 69: 46-61.

[69] Chtita S, Motahhir S, El Hammoumi A, Chouder A, Benyoucef AS, El Ghzizal A, Askar SS. A novel hybrid GWO–PSO-based maximum power point tracking for photovoltaic systems operating under partial shading conditions. Scientific Reports. 2022; 12(1): 1-15.

[70] Ghalambaz M, Yengejeh RJ, Davami AH. Building energy optimization using grey wolf optimizer (GWO). Case Studies in Thermal Engineering. 2021; 27: 1-16.