

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

**FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE
KİSMİ GÖLGELENME KOŞULLARINDA
MAKSİMUM GÜÇ TAKİBİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Necati BİLGİN

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ**
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK
Tez Danışmanı : Doç. Dr. İrfan YAZICI

Temmuz 2021

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE
KİSMİ GÖLGELENME KOŞULLARINDA
MAKSİMUM GÜÇ TAKİBİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Necati BİLGİN

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK

Bu tez 02.07.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman

Jüri Başkanı

Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Necati BİLGİN

02.07.2021

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans eğitimimde tez konunun belirlenmesi, yürütülmesi ve kabul süresince severek çalıŐtıđım ve desteklerini esirgemeyen değerli danıŐmanım Doç. Dr. İrfan YAZICI'ya teŐekkürlerimi sunarım.

Eğitimim süresince maddi ve manevi olarak sürekli destek olan ve kendilerini daima yanımda hissettiren sevgili aileme ve zamansız bir Şekilde aramızdan ayrılan babam Ltfi BİLGİN'e sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
1.1. Problemin Belirlenmesi	1
1.2. Literatür Taraması	2
1.3. Tezin Bölümleri	4

BÖLÜM 2.

FOTOVOLTAİK SİSTEMLER	6
2.1. FV Hücre	6
2.1.1. FV hücrenin modellenmesi	7
2.1.1.1. Tek diyotlu FV hücre modeli	7
2.1.1.2. İki diyotlu FV hücre modeli	10
2.2. FV Modül ve FV Dizi	10
2.2.1. FV modül çıkış karakteristiği	11
2.2.2. FV modüle güneş ışınımının etkisi	13
2.2.3. FV modüle sıcaklığın etkisi	13
2.2.4. Bypass – Block diyotları	14
2.3. Kısmi Gölgeleme	15

2.4. FV Sistemlerin Avantajları	16
2.5. FV Sistemlerin Dezavantajları	17
2.6. Fill Faktörü	18
2.7. Verim	18
BÖLÜM 3.	
DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜLER	20
3.1. Yükseltici Dönüştürücü	21
3.1.1. Yükseltici dönüştürücünün sürekli akım modunda çalışması ..	23
3.1.2. Yükseltici dönüştürücünün kesintili akım modunda çalışması .	24
3.1.3. Yükseltici dönüştürücü parametre hesaplamaları	25
BÖLÜM 4.	
MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ İÇİN OPTİMİZASYON TEKNİKLERİ.....	26
4.1. Değiştir & Gözle Metodu	27
4.2. Sezgisel Optimizasyon Teknikleri	28
4.2.1. Parçacık sürü optimizasyonu	29
4.2.2. Guguk kuşu optimizasyonu	32
4.2.3. Yarasa optimizasyonu	36
4.2.4. Ateş böceği optimizasyonu	40
BÖLÜM 5.	
MATLAB ORTAMINDA SİMULASYON ÇALIŞMALARI VE SONUÇLAR ...	44
5.1. Matematiksel Denklemlerden FV Hücrenin Modelinin Çıkarılması .	44
5.2. Güneş Işınması ve Sıcaklığın Çıkış Gücü Üzerindeki Etkisinin Gözlemlenmesi	47
5.3. Kısmi Gölgeleme Koşullarında Çıkış Gücündeki Değişimler	49
5.4. Sezgisel Optimizasyon Algoritmaları için Birey Sayılarının Seçimi .	52
5.5. MGNT için Benzetim Senaryoları	58
5.5.1. Senaryo-1 çıktıları	60
5.5.2. Senaryo-2 çıktıları	63

5.6. Sonuçlar ve neriler	66
KAYNAKÇA	69
ÖZGEÇMİŞ	72

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

D	: PWM doluluk oranı
f	: Frekans
η	: Verim
t_{ON}	: Yarı iletken anahtar açık kalma süresi
t_{OFF}	: Yarı iletken anahtar kapalı kalma süresi
V_s	: Kaynak gerilimi
V_o	: Çıkış gerilimi
ABO	: Ateş böceği optimizasyonu
CV	: Sabit gerilim metodu
DA-DA	: Doğru akım-doğru akım
D&G	: Değiştir ve gözle
FF	: Fill Faktörü
FV	: Fotovoltaik
GKO	: Guguk kuşu optimizasyonu
GMGN	: Global maksimum güç noktası
I	: Akım
IC	: Artan iletkenlik metodu
I_{MPP}	: Maksimum güç noktasındaki akım
I_{SC}	: Kısa devre akımı
I-V	: Akım-gerilim
KGD	: Kısmi gölgelenme durumu
LMGN	: Lokal maksimum güç noktası
MGN	: Maksimum güç noktası
MGNT	: Maksimum güç noktası takibi

OV	: Açık devre gerilimi
P	: Güç
P&O	: Değiştir ve gözle
P_{MPP}	: Maksimum güç
PSO	: Parçacık sürü optimizasyonu
P-V	: Güç-gerilim
PWM	: Darbe genişlik modülasyonu(Pulse width modulation)
SC	: Kısa devre akımı
V	: Gerilim
V_{MPP}	: Maksimum güç noktasındaki gerilim
V_{OC}	: Açık devre gerilimi
YAO	: Yarasa optimizasyonu

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. FV hücre	7
Şekil 2.2. Tek diyotlu FV eşdeğer devresi	8
Şekil 2.3. İki diyotlu eşdeğer devre modeli	10
Şekil 2.4. FV modül	11
Şekil 2.5. FV dizi	11
Şekil 2.6. FV modül karakteristiği için kullanılan devre şeması	12
Şekil 2.7. FV modül I-V ve P-V eğrileri (Xiao, 2017)	13
Şekil 2.8. Güneş ışımının elektriksel karakteristiğe etkisi (Rekioua ve Matagne, 2012)	13
Şekil 2.9. Sıcaklığın elektriksel karakteristiğe etkisi (Rekioua ve Matagne, 2012). 14	
Şekil 2.10. Bypass diyotu bağlantısı (a) Her hücreye ayrı ayrı (b) Gruplu hücreler halinde	15
Şekil 2.11. Block diyotu bağlantısı	15
Şekil 2.12. Kısmi gölgelenme durumunda FV dizi (a) Bağlantı şeması, (b) I-V grafiği, (c) P-V grafiği	16
Şekil 2.13. FF için kullanılan güç dikdörtgenleri	18
Şekil 3.1. DA-DA dönüştürücü, (a) Blok diyagramı, (b) MGNT için kullanımı... 20	
Şekil 3.2. Yükseltici dönüştürücü, (a) Devre diyagramı, (b) Anahtar kapalı, (c) Anahtar açık (Lin Luo ve Ye, 2017)	21
Şekil 3.3. Yükseltici dönüştürücünün dalga formları (Rashid, 2018)	23
Şekil 3.4. Sürekli akım modunda indüktör akımı	24
Şekil 3.5. Kesintili akım modunda indüktör akımı	24
Şekil 4.1. D&G metodu akış diyagramı	28
Şekil 4.2. PSO'da parçacıkların hareketi	29
Şekil 4.3. PSO algoritması akış diyagramı	31
Şekil 4.4. Le'vy uçuşu	33

Şekil 4.5. GKO algoritması akış diyagramı	35
Şekil 4.6. YAO algoritması akış diyagramı	39
Şekil 4.7. ABO algoritması akış diyagramı	43
Şekil 5.1. MGNT blok diyagramı	44
Şekil 5.2. FV hücre modeli test devresi	45
Şekil 5.3. Oluşturulan FV hücre modeli için I-V ve P-V eğrileri	45
Şekil 5.4. FV hücre modeli içyapısı	46
Şekil 5.5. FV modül test devresi	47
Şekil 5.6. Eşit sıcaklıkta farklı güneş ışımaları için I-V ve P-V eğrileri	48
Şekil 5.7. Eşit güneş ışımasında farklı sıcaklıklar için I-V ve P-V eğrileri	48
Şekil 5.8. Kısmi gölgelenme testi için oluşturulan devre	49
Şekil 5.9. KGD-1 durumunda FV dizinin I-V ve P-V eğrileri	50
Şekil 5.10. KGD-2 durumunda FV dizinin I-V ve P-V eğrileri	50
Şekil 5.11. KGD-3 durumunda FV dizinin I-V ve P-V eğrileri	50
Şekil 5.12. KGD-4 durumunda FV dizinin I-V ve P-V eğrileri	51
Şekil 5.13. KGD-5 durumunda FV dizinin I-V ve P-V eğrileri	51
Şekil 5.14. KGD-6 durumunda FV dizinin I-V ve P-V eğrileri	51
Şekil 5.15. PSO için KGD-4 ve n=3 iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi	52
Şekil 5.16. PSO için KGD-4 ve n=4 iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi	52
Şekil 5.17. PSO için KGD-6 ve n=3 iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi	53
Şekil 5.18. PSO için KGD-6 ve n=4 iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi	53
Şekil 5.19. GKO için KGD-4 ve n=3 iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi	53
Şekil 5.20. GKO için KGD-4 ve n=4 iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi	54
Şekil 5.21. GKO için KGD-6 ve n=3 iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi	54
Şekil 5.22. GKO için KGD-6 ve n=4 iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi	54
Şekil 5.23. YAO için KGD-4 ve n=3 iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi	55
Şekil 5.24. YAO için KGD-4 ve n=4 iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi	55
Şekil 5.25. YAO için KGD-6 ve n=3 iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi	55
Şekil 5.26. YAO için KGD-6 ve n=4 iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi	56
Şekil 5.27. ABO için KGD-4 ve n=3 iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi	56
Şekil 5.28. ABO için KGD-4 ve n=4 iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi	56
Şekil 5.29. ABO için KGD-6 ve n=3 iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi	57

Şekil 5.30. ABO için KGD-6 ve $n=4$ iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi	57
Şekil 5.31. Benzetim devresi	59
Şekil 5.32. Senaryo-1 ve PSO için benzetim çıktıları	60
Şekil 5.33. Senaryo-1 ve GKO için benzetim çıktıları	61
Şekil 5.34. Senaryo-1 ve YAO için benzetim çıktıları	61
Şekil 5.35. Senaryo-1 ve ABO için benzetim çıktıları	62
Şekil 5.36. Senaryo-1 ve D&G metodu için benzetim çıktıları	62
Şekil 5.37. Senaryo-1 için 0,5 – 0,8 s arası FV sistem çıkış gücü	63
Şekil 5.38. Senaryo-2 ve PSO için benzetim çıktıları	64
Şekil 5.39. Senaryo-2 ve GKO için benzetim çıktıları	65
Şekil 5.40. Senaryo-2 ve YAO için benzetim çıktıları	65
Şekil 5.41. Senaryo-2 ve ABO için benzetim çıktıları	66
Şekil 5.42. Senaryo-2 ve D&G metodu için benzetim çıktıları	66

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Enerji santrali kurulum maliyetleri (Kaya ve Koç, 2015)	17
Tablo 2.2. FV hücre verimlilikleri	19
Tablo 5.1. Modellenen FV hücre parametreleri	45
Tablo 5.2. Simülasyon için kullanılan modüle ait veri sayfası	47
Tablo 5.3. Kısmi gölgelenme koşulları	49
Tablo 5.4. Farklı gölgelenme ve birey sayılarına göre güç ve yerleşme süresi ...	57
Tablo 5.5. Optimizasyon algoritmaları için algoritma sabitleri	58
Tablo 5.6. Test edilen senaryolar	58
Tablo 5.7. Yükseltici dönüştürücü parametreleri	58
Tablo 5.8. Senaryo-1'e göre elde edilen güç değerleri	60
Tablo 5.9. Senaryo-2'ye göre elde edilen güç değerleri	64

ÖZET

Anahtar kelimeler: FV sistem, kısmi gölgelenme, MGNT, optimizasyon algoritmaları, DA-DA dönüştürücü

Fosil yakıtların küresel ısınmaya etkileri ve gün geçtikçe miktarlarının azalmasından dolayı bu yakıtlardan elektrik enerjisi üretimi yerini yenilenebilir enerji kaynaklarına bırakmaktadır. Bu sebeple geçmişte uygulama maliyeti açısından çok tercih edilmeyen güneş enerjisinin diğer bir deyişle fotovoltaik (FV) sistemlerin teknolojinin gelişmesiyle maliyetleri azaltılmış bu sayede kullanımını artmıştır.

FV sistemlerden elde edilebilecek maksimum güç değeri, sıcaklık, güneş ışığı ve kısmi gölgeleme gibi çevresel koşullara bağlı olarak sürekli değişebilir. Özellikle kısmi gölgelenme durumlarında FV sistemin maksimum güç noktasında çalışabilmesi yani sistemden mümkün olan maksimum güç değerini çekebilmek için doğru akım-doğru akım (DA-DA) dönüştürücüleri ve maksimum güç noktası takibi (MGNT) algoritmalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada seri bağlı 3 modülden oluşan FV dizisinde yükseltici tip DA-DA dönüştürücü ve MGNT algoritması kullanılarak iki farklı kısmi gölgelenmeli senaryo için benzetim çalışmaları yapılmıştır. Benzetim çalışmalarında parçacık sürü optimizasyonu, guguk kuşu optimizasyonu, yarası optimizasyonu, ateş böceği optimizasyonu ve değiştir ve gözle tekniklerinin MGNT algoritması olarak uygulanmasıyla elde edilen sistem çıkış güçleri karşılaştırılmıştır. İncelenen senaryolarda ateş böceği optimizasyon algoritmasının maksimum güç noktasına daha hızlı ulaştığı ve benzetim periyotları sonunda ortalama gücün en fazla olduğu algoritmanın ateş böceği optimizasyon yöntemiyle elde edildiği görülmüştür.

MAXIMUM POWER TRACKING UNDER PARTIAL SHADING CONDITIONS IN PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

SUMMARY

Keywords: PV system, partial shaded condition, MPPT, optimization algorithms, DC-DC converter

Due to the effects of fossil fuels on global warming and the decrease in their amount day by day, the production of electrical energy from these fuels is replaced by renewable energy sources. For this reason, the costs of solar energy, in other words photovoltaic (PV) systems, which were not preferred in terms of application costs in the past, have been reduced with the development of technology and thus their use has increased.

The maximum power value that can be obtained from PV systems can vary continuously depending on environmental conditions such as temperature, solar irradiation and partial shading conditions. Especially in cases of partial shading, direct current-direct current (DC-DC) converters and maximum power point tracking (MPPT) algorithms are required in order to operate the PV system at the maximum power point, that is, to extract the maximum possible power value from the system.

In this study, simulation studies have been carried out for two different partial shading scenarios using the boost type DC-DC converter and MPPT algorithm in a PV array consisting of 3 panels connected in series. In simulation studies, system output power obtained by the application of particle swarm optimization, cuckoo optimization, bat optimization, firefly optimization and perturb and observe techniques as MPPT algorithm has been compared. In the scenarios examined, it has been observed that the firefly optimization algorithm reached the maximum power point faster and the firefly optimization method has obtained the highest average power at the end of the simulation periods.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1. Problemin Belirlenmesi

Fotovoltaik (FV) sistemler güneşten gelen ışığı soğurarak elektrik enerjisine dönüştürür. Bu sistemler güneş ışınması ve sıcaklık gibi faktörlerden etkilendikleri için çıkıştan alınabilecek maksimum güç sürekli değişiklik gösterir. Güneş ışınması arttıkça FV sistemlerin temelini oluşturan hücrelerdeki akım artar, dolayısıyla çıkış gücü de artar. Benzer şekilde sıcaklığın artmasıyla gerilim azaldığından çıkış gücünde azalma yaşanır.

FV sistemlerin verimlerini etkileyen en önemli faktör gölgelenme durumudur. FV sistemlerin temel elemanları FV hücrelerdir ve hücrelerin birleştirilmesiyle oluşturulan yapılar modüllerdir. Modüllerin birleştirilmesiyle ise diziler oluşturulur. Bir dizideki bazı modül veya modüllerdeki bazı hücrelerin diğer modül ve hücrelere kıyasla gölgelenmeden kaynaklı daha az güneş ışınması aldığında sistem verim açısından ciddi kayıp yaşar. Bu sebeple gölgelenme durumlarında sistemin maksimum güç noktasında çalışabilmesi için bazı önlemler alınması gerekmektedir. Bunlardan önemlisi kısmi gölgelenme durumunda sistemi en iyi verim alınacak bölgede çalıştırmaktır.

FV sistemlerin güç-gerilim (P-V) karakteristik eğrisinden yola çıkarak gerilim değiştirildiğinde sistemin çıkış gücünün de değiştiği görülür. Sistem çalışırken P-V eğrisindeki tepe noktasının bir başka deyişle maksimum gücün elde edildiği noktayı bulmak için doğru akım-doğru akım (DA-DA) dönüştürücü ve optimizasyon tekniklerinden yararlanılır.

Bu çalışmada dört farklı sezgisel optimizasyon tekniği ve bir klasik optimizasyon metodu için Matlab ortamında algoritması yazılıp bu algoritmaların FV sistemde maksimum güç elde ederkenki performansları kıyaslanacaktır.

1.2. Literatür Taraması

Çalışmanın ilk aşamasında FV sistemlerden maksimum güç elde ederken izlenen adımlar ve yöntemler için genel olarak literatür araştırması yapılmış ve kullanılacak yöntemler belirlenmiştir. Literatürde yapılan bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Faranda R. ve Leva S. çalışmalarında maksimum güç noktası takibinde kullanılan sabit gerilim metodu(CV), kısa devre akımı metodu(SC), açık devre gerilimi metodu(OV), değiştir & gözlemler metodu(P&O), artan iletkenlik metodu(IC), sıcaklık metodunu kullanarak farklı çalışma koşullarında (değişen güneş ışınması) Matlab Simulink ile test gerçekleştirmiştir. Her bir çalışma koşulunda ve maksimum güç noktası takibi (MGNT) metodunda kaydedilen enerjiler toplanmıştır. Ayrıca MGNT metotları için maliyet ölçeklendirmesi de yapılmıştır. Çalışmanın sonucu olarak üretilen enerji ve maliyetler göz önüne alındığında P&O metodu ve IC metodunun daha verimli olduğunu görmüşlerdir (Faranda ve Leva, 2008).

Ezinwanne O. vd. çalışmalarında farklı MGNT metotlarını kontrol karmaşıklığı, ölçülmesi gereken parametreler, maliyet ve uygulama kolaylığı açısından incelemiştir. İnceleme sonucunda MGNT metotlarının ayrı ayrı kullanılabilmesi gibi uygulamaya göre hibrit bir şekilde de kullanılabilmesini öne sürmüşlerdir. Düşük güneş ışınmasında CV ve OV tekniklerinin gürültülere karşı hantal olduğundan kullanılabilmesini, kısmi gölgelenme ve modüller farklı güneş ışınma açısında olduğunda ise P&O ve IC yöntemlerinin daha efektif olduğunu belirtmişlerdir (Ezinwanne ve ark., 2017).

Hsiao Y. ve Chen C. çalışmalarında MGNT metotlarından en sık kullanılan P&O metodundaki iki noktanın karşılaştırılmasından kaynaklı maksimum güç noktası

(MGN) civarındaki osilasyonu gidermek için üç nokta ağırlık karşılaştırması metodunu önermişlerdir. Önerilen metot farklı güneş ışınmaları altında test edilmiştir. Ayrıca çalışmada kullanılan güç devresi boost çevirici ve bir mikrokontrolörden oluştuğu için donanım maliyeti de düşük olmuştur (Hsiao ve Chen, 2002).

Miyatake vd. çalışmalarında kısmi gölgelenme durumlarında parçacık sürüsü optimizasyon (PSO) metodunu kullanarak diğer basit yöntemlerin kullanılmasıyla bulunan lokal MGN'yi değil de birden fazla modül içeren fotovoltaik sistemlerdeki global MGNT'yi bulmayı amaçlamışlardır. İleri sürülen PSO metodu sabit gerilim metodu, tepe tırmanış metodu ve Fibonacci serisi metotlarıyla karşılaştırılmış ve gölgelenme durumunda önerilen yöntemin daha az salınım gösterdiği ve daha fazla enerji üretimi sağladığı görülmüştür (Miyatake ve ark., 2011).

Magdaleno vd. FV hücreleri ve modüllerindeki kısmi gölgelenmenin seri ve paralel bağlı sistem üzerindeki etkilerini gözlemlemişlerdir. Seri bağlı hücrelerde hücrelerin sadece birisi gölge altında kaldığında toplam gücün %90 dan daha fazla düştüğü, paralel bağlı hücrelerde ise toplam gücün %50 seviyelerine düştüğü görülmüştür. Bu senaryo seri veya paralel bağlı iki modüle uygulandığında toplam güç kaybı %50 olmuştur (Magdaleno ve ark. , 2018).

Madhanmohan V. ve Nandakumar M. seri-paralel ve toplam çapraz bağlama yöntemiyle oluşturulan 2x2 şeklinde bağlı modüllerin kısmi gölgelenme durumunda üretebildikleri maksimum enerjiyi ölçmüşlerdir. Bu konfigürasyonda toplam çapraz bağlama yönteminin üretilen enerji bakımından daha efektif olduğu görülmüştür. Benzer şekilde 4x4 şeklinde bağlı modüllerde üretilen maksimum güç için önerilen yöntemle birlikte seri-paralel ve toplam çapraz bağlama yöntemleri kullanılmıştır. Bu durumda ise toplam çapraz bağlama yönteminde elde edilen güç yüksek, önerilen yöntemde ise düşük olmuştur ancak modüller arası bağlantı maliyetleri göz önüne alındığında önerilen yöntemin daha efektif olduğu belirtilmiştir (Madhanmohan ve Nandakumar, 2018).

Subha R. ve Himavathi S. çalışmalarında kısmi gölgelenme altında 3x3 lük FV dizisinden maksimum güç elde edebilmek için çiçek tozlaşma algoritmasını kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlar parçacık sürü algoritması ile elde edilen değerlerle karşılaştırılmış, bu yöntemle PSO metodundaki salınımların azaltıldığı ve yakınsama hızının arttığı görülmüştür (Subha ve Himavathi, 2017).

Anand vd. 6x4 şeklinde toplam çapraz bağlı konfigürasyonla bağlanan FV sisteminden kısmi gölgelenme altında alınabilecek maksimum gücün hesaplanmasında guguk kuşu optimizasyonu (GKO) metodunu kullanmışlardır. Metot Matlab Simulink ortamında simülasyon yapılarak test edilmiştir. Üç farklı senaryoda GKO yönteminin tranzient geçişinin daha kısa olduğu ve %99.72 lik bir doğrulukta olduğu görülmüştür (Anand ve ark., 2020).

Mohanty vd. çalışmalarında seri olarak bağlı 4 modül(4S konfigürasyonu) ve paralel olarak bağlı 2S konfigürasyonlu iki dizide gri kurt optimizasyonunu kullanarak maksimum güç takibini amaçlamışlardır. Aynı zamanda kullanılan yöntem ile P&O ve modifiye edilmiş PSO yöntemleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak yakınsama hızı, doğruluk, geçici haldeki salınımlar açısından diğer yöntemlere göre daha efektif olduğu görülmüştür (Mohanty ve ark., 2016).

1.3. Tezin Bölümleri

Tezin birinci bölümünde konuya kısa bir giriş yapılarak problemin belirlenmesi ve literatürde yapılan daha önceki çalışmalardan bahsedilmiştir.

İkinci bölümde FV sistemlerin tanımı ve genel yapılarına değinilmiştir. FV sistemlerin modellenmesi, sistemden elde edilen gücü etkileyen faktörler, verim, avantaj ve dezavantajları konuları ele alınmıştır.

Üçüncü bölümde FV sistemlerden maksimum güç elde ederken kullanılan DA-DA dönüştürücülerin tanımı ve çeşitleri anlatılmaktadır. Bu tezde kullanılan yükseltici tip

dönüştürücünün çalışma prensibi, dinamik denklemleri ve devrede kullanılacak elemanların değerlerinin hesaplanması için gereken eşitlikler verilmiştir.

Dördüncü bölüm FV bir sistem için maksimum gücü elde ederken kullanılacak yöntemin yer aldığı optimizasyon konusunu ele almaktadır. Optimizasyon yöntemlerinin çeşitlerinden bahsedilerek kısmi gölgelenme koşulları altında verimi daha yüksek kılan sezgisel optimizasyon algoritmalarının bazıları anlatılmıştır. Bunlar; parçacık sürü optimizasyonu, guguk kuşu optimizasyonu, yarasa optimizasyonu ve ateş böceği optimizasyonu yöntemleridir. Sezgisel optimizasyon tekniklerinin yanı sıra klasik optimizasyon metotlarından olan değiştir ve gözle metodu da ele alınmıştır.

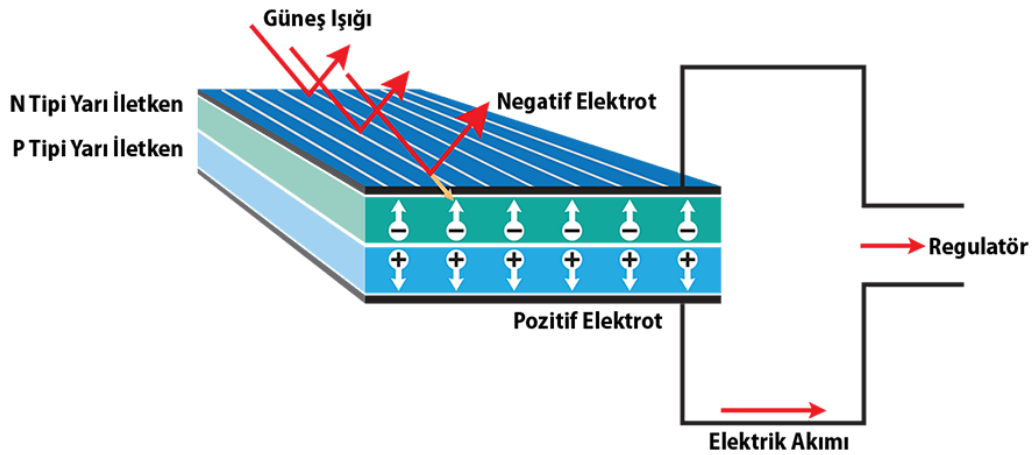
Son olarak beşinci bölümde, ilk dört bölümdeki teorik bilgiler doğrultusunda FV bir sistemin modellenmesi, sıcaklık ve güneş ışımalarının sistemden elde edilen güce etkisi, kısmi gölgelenmenin sistem verimine etkisi, yükseltici dönüştürücünün modellenmesi, optimizasyon algoritmalarının FV sistemlerde kullanılması ve verimlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

BÖLÜM 2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

Işık bir malzeme üzerine parladığında yansıtılır, iletilir ya da emilir. Işğın soğurulması, sadece gelen fotonda bulunan enerjinin başka bir enerji biçimine tipik olarak ısıya dönüştürülmesidir. Bununla birlikte bazı malzemeler fotonlarındaki enerjii elektrik enerjisine dönüştürmek için gereken özelliklere sahiptir. Bir foton absorbe edildiğinde, enerjisini materyaldeki bir elektrona vererek absorbe eden materyaldeki bir atomla etkileşime girer (Messenger ve Ventre, 2005). Bu enerji transferi, momentumun korunumu ve enerjinin korunumu kurallarına tabidir. Sıfır kütleli fotonun, elektronlara ve deliklere kıyasla çok küçük bir momentuma sahip olması nedeniyle fotondan malzemeye enerji transferi momentum transferiyle gerçekleşir. Fotonun enerjisine bağılı olarak, bir elektron bir atom içinde daha yüksek bir enerji durumuna yükseltilebilir veya atomdan serbest bırakılabilir. Serbest bırakılan elektronlar daha sonra, sıcaklık, difüzyon veya elektrik alanı gibi elektronun hareket etmesine neden olabilecek her türlü duruma göre kristal içinde hareket edebilir.

2.1. FV Hücre

FV hücreler temelde p-n jonksiyonundan oluşan yarı iletken elemanlardır. FV hücreler farklı türde yarı iletken üretim aşamaların geçerek oluşturulabilmektedir. Aynı güneş ışınımı altındaki farklı FV hücrelerden hücrenin bant aralığındaki farklılıktan dolayı birbirinden farklı enerjiler elde edilebilmektedir. Hücrenin bant aralığı altında kalan ışınım lar hücrede gerilim ve elektrik akımı üretilmesini sağlamaz dolayısıyla hücrede herhangi bir elektrik enerjisi üretilemez. Bant aralığının üstünde ışınım olması durumunda bant aralığının üst sınırında olan kadarlık ışınım hücre tarafından elektrik enerjisine dönüştürülür. Kalan kısım ise hücre üzerinde sıcaklık enerjine dönüşür (Yağan ve ark., 2018). Aşağıdaki Şekil 2.1.'de güneş ışığı altındaki bir FV hücrenin yapısı ve elektriksel davranışı gösterilmektedir.



Şekil 2.1. FV hücre

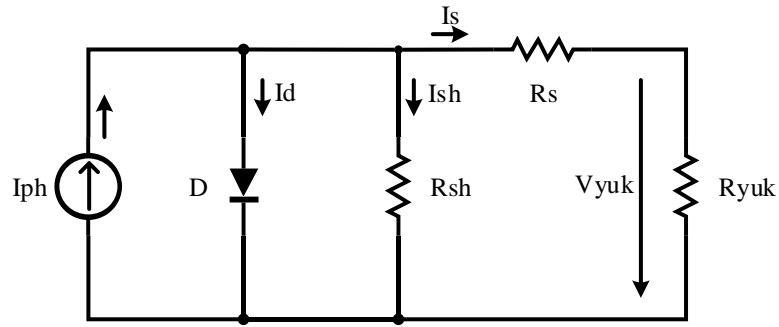
2.1.1. FV hücrenin modellenmesi

Modelleme, diğer sistemlerde olduğu gibi fotovoltaik sistemlerin simülasyonu için de temel bir gereksinimdir. Modelleme için FV hücrelerde birçok faktörün etkisini analiz etmek gerekmektedir (Petreus ve ark., 2008). FV hücrenin matematiksel modeli hücrenin eşdeğer devresi ve çalışma prensibini tanımlayan teorik eşitliklere dayalıdır. Deneysel modeller hücrenin akım-gerilim (I-V) eğrisinden çıkarılan farklı değerlere bağlıdır ve elde edilen model sonuçları hücrenin karakteristik denklemine yakındır.

Genel olarak hücreler tek diyotlu model ve iki diyotlu model olmak üzere ikiye ayrılır.

2.1.1.1. Tek diyotlu FV hücre modeli

Tek diyotlu model FV hücrelerin için en basit ve en çok kullanılan modeldir. Basitleştirilmiş olan bu tek diyot modelinde bir akım kaynağı ve bu akım kaynağına paralel bir diyot vardır. Akım kaynağı; güneş ışınması, sıcaklık, FV hücre çıkış akımı ve FV hücre çıkış gerilimi ile orantılı fotoakımı üretir. Şekil 2.2.'de tek diyotlu FV hücre modeli görülmektedir.



Şekil 2.2. Tek diyotlu FV eşdeğer devresi

Tek diyot modeli için çıkış akımı eşitlik (2.1)'de verilen Kirchoff akım kanunu ile elde edilir (Anand ve ark., 2020).

$$I_s = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (2.1)$$

Burada, I_{ph} üretilen fotoakımı, I_d diyot akımını, R_{sh} ve R_s sırasıyla paralel ve seri dirençleri, I_{sh} paralel direnç üzerinden akan akımı ifade etmektedir. Üretilen fotoakım eşitlik (2.2)'den elde edilir.

$$I_{ph} = (I_{sc,x} + K_I dT) \frac{G}{G_x} \quad (2.2)$$

$I_{sc,x}$ 1000 W/m² güneş ışınması ve 25 °C sıcaklık altında üretilen akım, K_I kısa devre akım/sıcaklık katsayısı, dT Kelvin cinsinden çalışma sıcaklığı (T) ve nominal sıcaklık (T_x) arasındaki fark, G ve G_x sırasıyla çalışma sırasındaki güneş ışınması ve nominal güneş ışınmasıdır. Diyot akımı aşağıdaki eşitlik (2.3) ile hesaplanmaktadır.

$$I_d = I_0 \left[\exp\left(\frac{V + IR_s}{V_t a}\right) - 1 \right] \quad (2.3)$$

Burada, I_0 diyot doyma akımı, I ve V sırasıyla FV hücrenin akım ve gerilimidir. a diyot için 1 ve 2 arasında değişen idealite faktörüdür. V_T ise $V_T = \frac{kT}{q}$ formülü ile verilen termal gerilimdir. k değeri $1.38 \times 10^{-23} J/K$ olan Boltzmann sabiti ve q değeri $1.602 \times 10^{-19} C$ olan bir elektronun yük miktarıdır. Çalışma koşullarındaki diyot doyma akımı eşitlik (2.4) ile verilir.

$$I_0 = I_{0,x} \left(\frac{T_x}{T} \right)^3 \exp \left[\frac{qE_g}{ak} \left(\frac{1}{T_x} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (2.4)$$

Burada, E_g P-N jonksiyonu bant aralığı enerjisidir. Nominal diyot doyma akımı ise eşitlik (2.5)'te verilmiştir.

$$I_{0,x} = \frac{I_{sc,x}}{\exp \left(\frac{V_{oc,x}}{aV_{t,x}} \right) - 1} \quad (2.5)$$

$V_{oc,x}$ nominal koşullar altında FV hücre açık devre halindeyken çıkış uçları arasında ölçülen gerilim, $V_{t,x}$ nominal koşullar altındaki termal gerilimdir. Paralel direnç üzerinden akan akım eşitlik (2.6)'da verilmiştir.

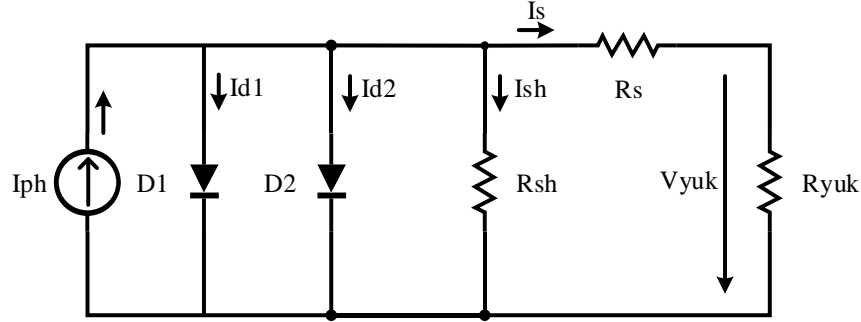
$$I_{sh} = \frac{V_s + R_s I_s}{R_{sh}} \quad (2.6)$$

Eşitlik (2.1), (2.2), (2.3) ve (2.6) ile çıkış akımı eşitlik (2.7)'deki gibi elde edilebilir.

$$I_s = I_{ph} - I_0 \left\{ \exp \left[\frac{q(V + R_s I_s)}{nkT_k} \right] - 1 \right\} - \frac{V + R_s I_s}{R_{sh}} \quad (2.7)$$

2.1.1.2. İki diyotlu FV hücre modeli

İki diyotlu FV hücre modelinde farklı idealite değerlerinde paralel bağlı iki diyot vardır. Bu model gerçek hücreye daha yakın değerler sağlamasına rağmen hesaplamaya dahil edilen ikinci diyottan dolayı işlem karmaşıklığı artmaktadır.



Şekil 2.3. İki diyotlu eşdeğer devre modeli

Eşdeğer devreyi tanımlayan eşitlikler Şekil 2.3.'deki modelde Kirchoff akım kanunu uygulandığında çıkarılabilmektedir.

$$I_s = I_{ph} - I_{d1} - I_{d2} - I_{sh} \quad (2.8)$$

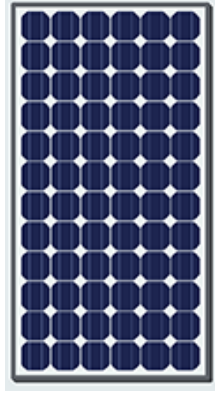
Eşitlik (2.8)'de I_{d1} ve I_{d2} akımları sırasıyla diyotların akımlarını göstermektedir. Tek diyotlu modelde olduğu gibi akımlar hesaplanarak I_s akımı elde edilebilmektedir.

Bu çalışmada tek diyotlu hücre modeli referans olarak alındığından iki diyotlu model detaylı olarak açıklanmamıştır.

2.2. FV Modül ve FV Dizi

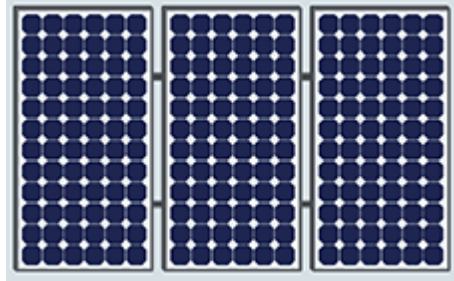
FV modül, FV hücre devrelerinin çevresel koşullardan etkilenmesini engelleyen koruyucu bir lamine yüzey içerisinde seri ya da paralel olarak birleştirilmesiyle oluşturulan hücresel gruplardır ve FV sistemlerin temel yapı bloklarıdır. Kullanım

yerine göre istenilen akım değerine ulaşmak için hücreler paralel, gerilim değerine ulaşmak için ise seri olarak bağlanır. Genellikle elektriksel gücü 60-350 W arasında değişir. Şekil 2.4.'de FV modülün genel görünüşü verilmiştir.



Şekil 2.4. FV modül

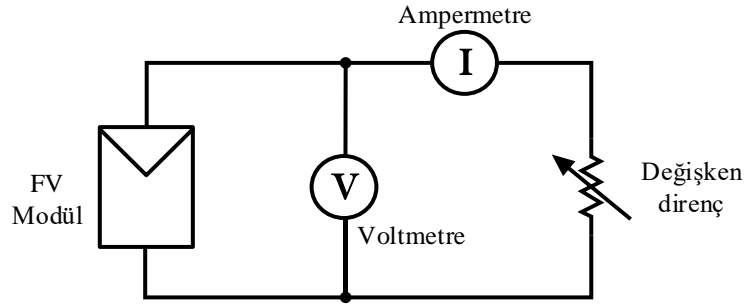
FV dizi, birden fazla FV modülün akım veya gerilimi artırmak amacıyla seri veya paralel birleştirilmesiyle oluşturulan yapılardır. Şekil 2.5.'de 3x1 kombinasyonunda bağlı üç adet modül ile bir FV dizisi oluşturulmuştur.



Şekil 2.5. FV dizi

2.2.1. FV modül çıkış karakteristiği

FV modülün I-V eğrisi sabit sıcaklık ve güneş ışınımı altında modüle direnci değişen bir yük bağlayarak ve üretilen akım ve modül uçları arasındaki gerilim ölçülerek elde edilir (Khaligh ve Onar, 2010). Şekil 2.6.'da FV modül karakteristiği çıkarılırken kullanılan devre şeması verilmiştir.



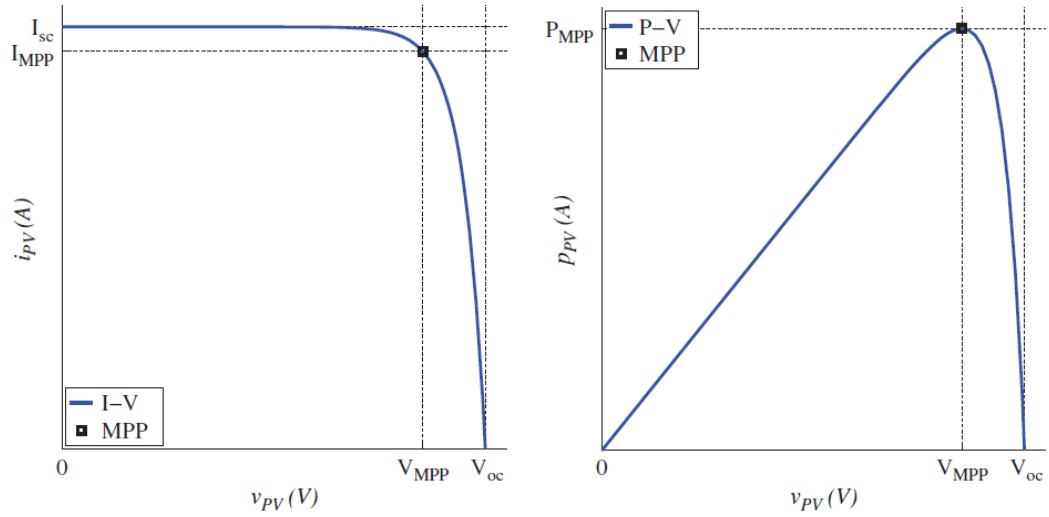
Şekil 2.6. FV modül karakteristiği için kullanılan devre şeması

I-V eğrisi ve eşitlik (2.9)'daki güç formülünden yola çıkarak modül çıkış gücü hesaplanır ve Şekil 2.7.'deki P-V eğrisi elde edilir.

$$P = V * I \quad (2.9)$$

I-V eğrisi elde edilirken üç önemli noktaya dikkat etmek gerekir. Bunlar;

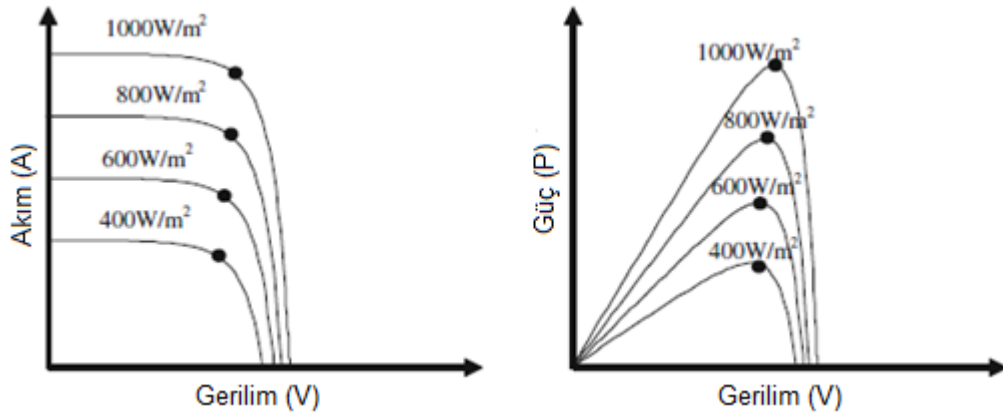
- 1- Kısa devre akımı (I_{sc}): I_{sc} , modülün artı ve eksi uçları birbirine bağlanıp kısa devre yapıldığında yani modülün uçları arasındaki gerilim sıfır olduğunda modül tarafından üretilen akımdır. Bu durum yük direncinin sıfır olduğu durumu göstermektedir.
- 2- Açık devre gerilimi (V_{oc}): V_{oc} modülün artı ve eksi uçları açık devre yapıldığında yani modülün uçları arasındaki akımın sıfır olduğu durumdaki gerilimdir. Bu durum yük direncinin sonsuz olduğu durumu göstermektedir.
- 3- Maksimum güç noktası akımı (I_{MPP}) ve gücü (P_{MPP}): I-V eğrisinde akım ve gerilimin çarpımının maksimum olduğu noktadaki güce maksimum güç (P_{MPP}), bu noktada elde edilen akım değerine maksimum güç noktası akımı (I_{MPP}), gerilim değerine ise maksimum güç noktası gerilimi (V_{MPP}) denir.



Şekil 2.7. FV modül I-V ve P-V eğrileri (Xiao, 2017)

2.2.2. FV modüle güneş ışınımının etkisi

Şekil 2.8.'de görüldüğü üzere güneş ışınımı modülün kısa devre akımı üzerinde önemli bir etkiye sahipken açık devre gerilimi üzerinde ihmal edilebilecek seviyede bir etkiye sahiptir. Güneş ışınımı arttıkça kısa devre akımı da açık devre gerilimi de artmaktadır. Sonuç itibarıyla güç formülünden modülün maksimum gücü de artmaktadır.

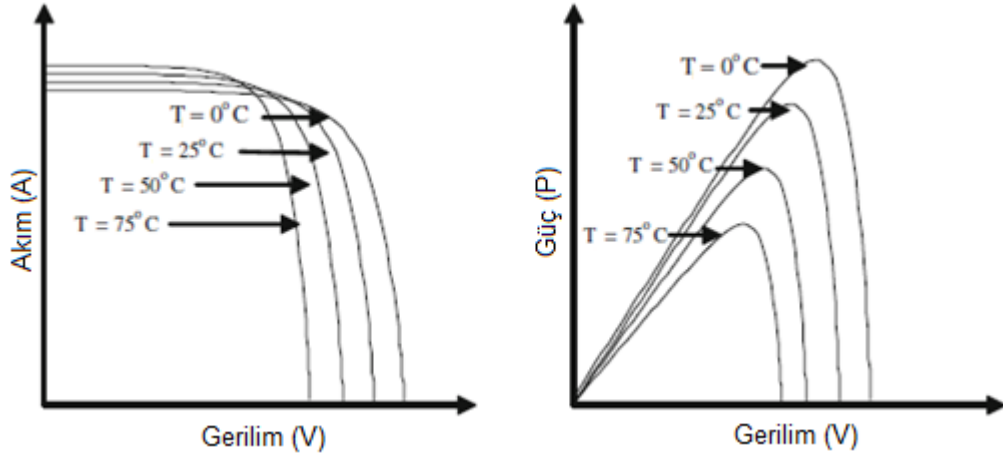


Şekil 2.8. Güneş ışınımının elektriksel karakteristiğe etkisi (Rekioua ve Matagne, 2012)

2.2.3. FV modüle sıcaklığın etkisi

Şekil 2.9.'da görüldüğü üzere sıcaklık modülün açık devre gerilimi üzerinde önemli bir etkiye sahipken kısa devre akımı üzerinde ihmal edilebilecek derecede bir etkiye

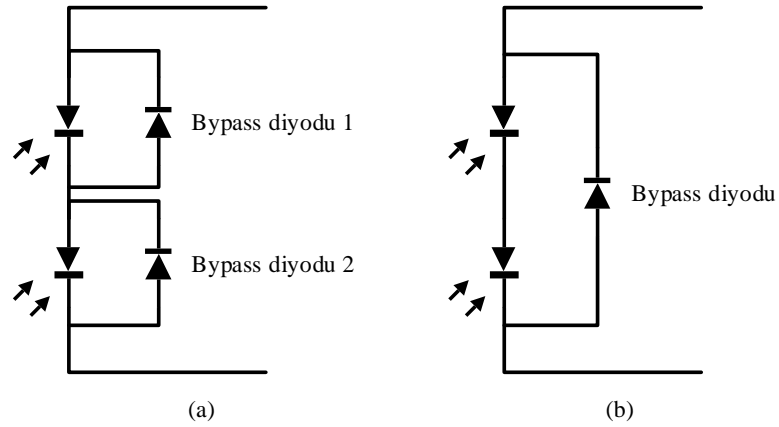
sahiptir (Femia ve ark., 2013). Sıcaklık arttıkça açık devre gerilimi azalmakta, kısa devre akımı artmaktadır. Açık devre gerilimine oranla kısa devre akımındaki değişim çok az olduğundan modülün maksimum gücü sıcaklık arttıkça buna ters orantılı olarak azalmaktadır.



Şekil 2.9. Sıcaklığın elektriksel karakteristiğe etkisi (Rekioua ve Matagne, 2012)

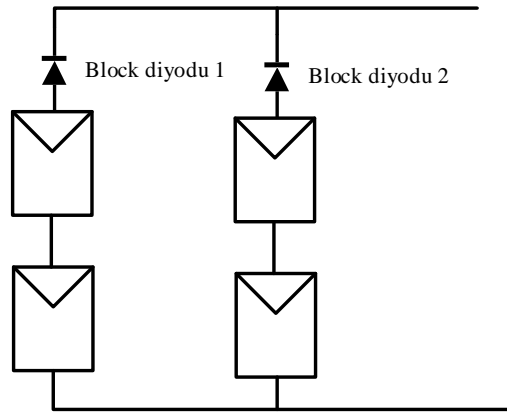
2.2.4. Bypass – Block diyotları

FV hücreler doğru akım kaynakları olduklarından hücrenin zarar görmemesi için hücreye doğru ters yönlü akımın engellenmesi gerekmektedir. Seri bağlı hücrelerdeki bazı hücrelerin hasarlanması ya da gölgeye maruz kalması durumunda diğer hücreler ile aynı akımı üretemez. Bu durumda gölgelenen ya da hasarlanan hücreler kaynak olmaktan ziyade bir yük gibi davranır. Yük gibi davranan hücre modülde sıcak nokta oluşturur. Eğer önleyici bir mekanizma oluşturulmazsa modülde kalıcı hasarlar meydana gelebilir. Bunu önlemek için hücrelere Şekil 2.10.(a).’daki gibi paralel bypass diyotları bağlanır (Vilathgamuwa ve ark., 2015). Ancak hücrelerin her birine ayrı ayrı bypass diyotu bağlanması ekonomik olarak mümkün olmadığından hücreler belirli sayılarda gruplanarak Şekil 2.10.(b).’de görüldüğü gibi bypass diyot bağlanır ve akımın bu diyotlar üzerinden akması sağlanır.



Şekil 2.10. Bypass diyotu bağlantısı (a) Her hücreye ayrı ayrı (b) Gruplu hücreler halinde

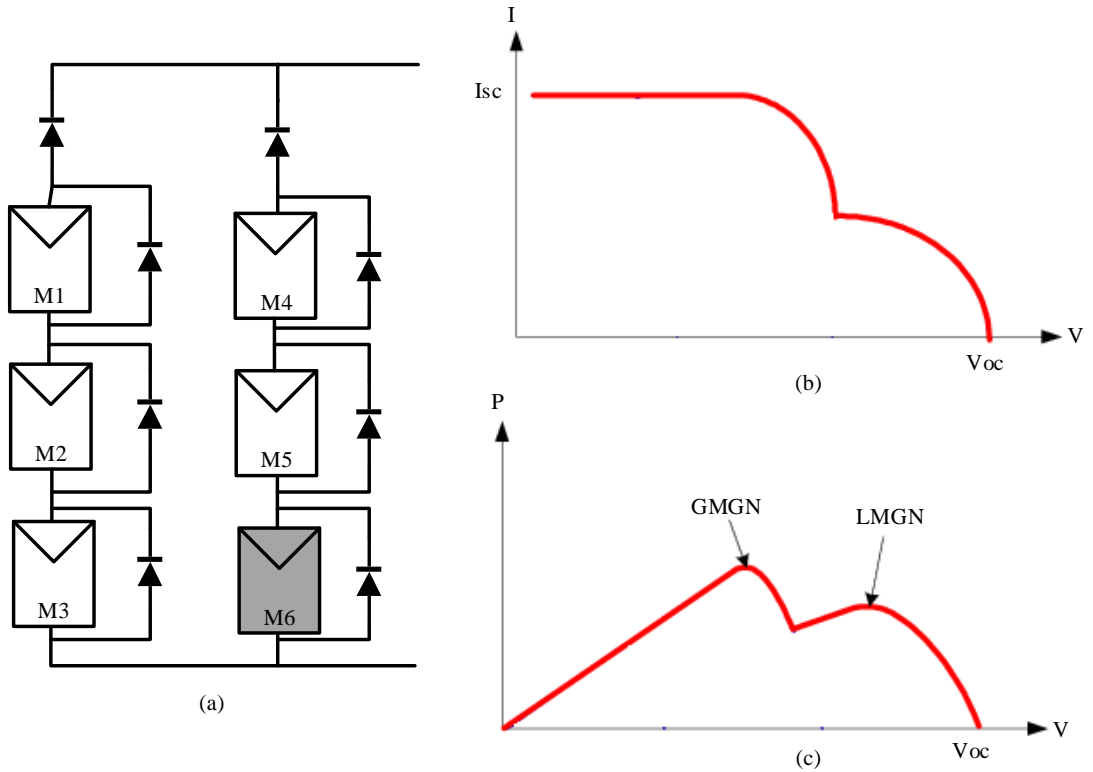
FV dizilerde paralel kollar üzerinde bulunan modüllerde bypass diyota benzer block diyotları(Şekil 2.11.) kullanılır. Bu diyotlar sayesinde modüllere doğru akım akması engellenir (McEvoy ve ark., 2012).



Şekil 2.11. Block diyotu bağlantısı

2.3. Kısmi Gölgeleme

Birden fazla modül içeren FV sistemler seri bağlı hücrelerden oluşturulan seri ve paralel bağlı modüller ile oluşturulur. Uygulama bölgesindeki bulutlar, ağaçlar ve binaların oluşturduğu gölgelemenmeden dolayı bazı hücreler ya da modüller daha az güneş ışınmasına maruz kalabilir. Bu durum kısmi gölgeleme olarak adlandırılır (Precup ve ark., 2019).



Şekil 2.12. Kısmi gölgelenme durumunda FV dizi (a) Bağlantı şeması, (b) I-V grafiği, (c) P-V grafiği

Kısmi gölgelenme durumunda seri bağlı iki modülün gerilimleri, paralel bağlı iki modülün ise akımları farklı olur. Bu yüzden Şekil 2.12.'de görüldüğü gibi 3x2 şeklinde seri ve paralel bağlı FV dizisinde birden fazla tepe noktası oluşur (Ji ve ark., 2009). Tepe noktaları arasında en büyük olan nokta global maksimum güç noktası (GMGN), diğer noktalar ise lokal maksimum güç noktası (LMGN) olarak adlandırılır.

2.4. FV Sistemlerin Avantajları

FV sistemlerin başlıca avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- 1- Güneş panellerinden elde edilen enerji temiz ve gürültüsüzdür. Çünkü güneş ışığından başka enerji kaynağı kullanmazlar.
- 2- Dünyanın her yerinden konumdan bağımsız olarak güneş panellerinden enerji elde edilebilmektedir.

- 3- Kurulumu, ihtiyaca göre kapasitenin artırılması oldukça kolaydır.
- 4- FV modüller neredeyse hiç bakım gerektirmeden uzun süre güvenilir bir şekilde çalışır. Bu nedenle, bakım ve onarımın pahalı olduğu uzay araçlarında sıklıkla tercih edilirler.

2.5. FV Sistemlerin Dezavantajları

FV sistemlerin avantajları olduğu kadar bazı dezavantajları da vardır. Bunlar genel olarak aşağıdaki gibidir.

- 1- FV panellerin üretiminde kadmiyum ve arsenik gibi bazı toksik kimyasallar kullanılır. Bu çevresel etkiler çok küçüktür ve geri dönüşüm ve uygun bir yok etme yöntemi ile azaltılabilir.
- 2- Güneş ışığı sürekli değiştiği için elde edilen enerji de çok değişkendir. FV modüller güneş ışığı alamadığı durumlarda enerji üretmezler.
- 3- FV sistemlerin üretimindeki yüksek maliyetlerden dolayı kurulum için pahalıdır. Tablo 2.1.'de görüldüğü gibi güneş santrallerinin kurulum maliyetleri oldukça yüksektir.

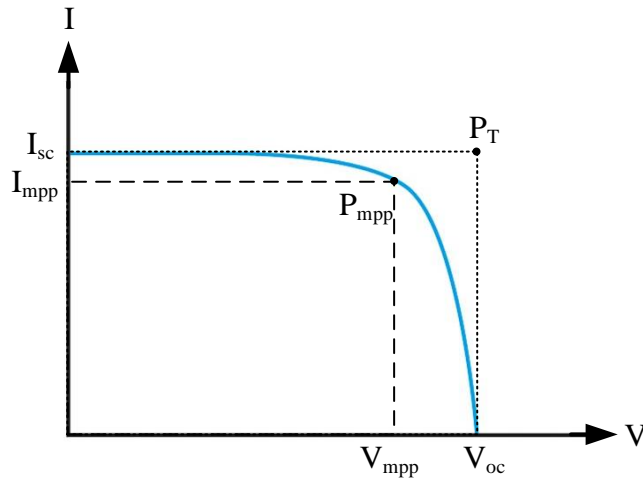
Tablo 2.1. Enerji santrali kurulum maliyetleri (Kaya ve Koç, 2015)

Santral Tipi	Kurulum maliyeti (\$/kW)
Kömür yakıtlı santral	3246
Doğalgaz yakıtlı santral	917
Hidroelektrik santral	2936
Rüzgâr enerji santrali (kara)	2213
Güneş enerji santrali	3873

Genel olarak bakıldığında FV sistemlerin avantajları yanında dezavantajları ihmal edilecek durumdadır.

2.6. Fill Faktörü

Fill faktörü (FF), eşitlik (2.10)'daki gibi FV modülün I-V karakteristik eğrisinden I_{mpp} ve V_{mpp} çarpımından elde edilen modülün maksimum çıkış gücü ile I_{sc} ve V_{oc} çarpımından elde edilen teorik gücün birbirine oranıdır. Şekil 2.13.'den görüldüğü gibi maksimum güç (P_{max}) daima teorik güç (P_T)'ten küçük olacağı için FF daima 1'den küçüktür (Luque ve Hegedus, 2003).



Şekil 2.13. FF için kullanılan güç dikdörtgenleri

$$FF = \frac{P_{max}}{P_T} = \frac{I_{mpp} V_{mpp}}{I_{sc} V_{oc}} < 1 \quad (2.10)$$

FV sistemlerde FF değerinin 1'e yakın olması istenir. Çünkü bu değer 1'e yaklaştıkça sistemden elde edilen çıkış gücü miktarı da artar.

2.7. Verim

FV modüller birçok yarı iletken madden yapılabilmektedir, ancak ticari olarak varlığını sürdürebilmesi için modüller yüksek performansın yanı sıra istikrarlı çalışma, kolay üretilebilirlik, düşük üretim maliyeti ve uzun ömür gibi özelliklere de sahip

olmalıdır. Mevcut modül pazarında hem monokristal hem de çok kristalli silikon kristal hakimdir ve çok kristalli modüller en yüksek pazar payına sahiptir (Pearsall, 2017).

Performans açısından modül tipleri arasındaki en belirgin fark nominal dönüşüm verimliliğidir. Yani, modülün elektrik çıkış gücünün o andaki çalışma koşullarında modülün aldığı güneş ışınım gücüne oranıdır. FV modüller için verim eşitlik (2.11) ile hesaplanır.

$$\eta = \frac{I_{mpp} V_{mpp}}{G} \quad (2.11)$$

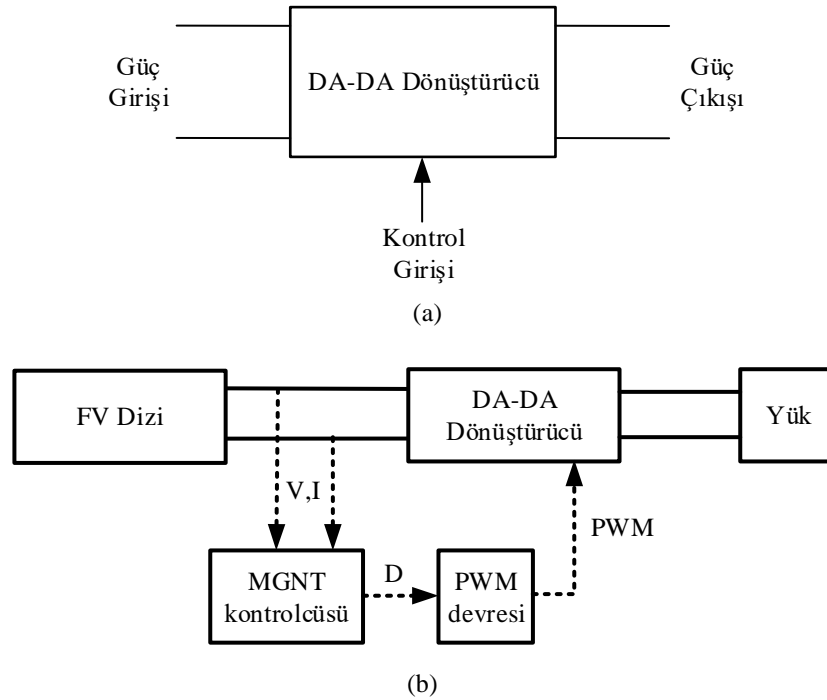
Modül tasarım ve üretim metotlarında özellikle verimi artırmak için sürekli bir gelişim vardır. 2020 yılında Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems tarafından yayınlanan Fotovoltaics Report'a göre FV hücrelerin verimlilikleri Tablo 2.2.'de verilmiştir.

Tablo 2.2. FV hücre verimlilikleri

Hücre teknolojisi	Standart test koşulları altında verimlilikler[%]
Monokristal Silikon	26,7
Çok kristalli Silikon	22,3
İnce film CIGS	23,4
İnce film CdTe	21,0
Perovskit	21,6
Yüksek konsantrasyonlu çok bağlantılı hücreler	47,1

BÖLÜM 3. DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

FV modüllerde değişen sıcaklık, güneş ışınımı ve kısmi gölgelenme gibi sebeplerden dolayı modüllerin çıkışında sürekli olarak kullanıma uygun sabit gerilim elde edilemez. Bu yüzden modülün çıkış gerilimini sabit bir referans gerilime ayarlamak amacıyla yarı iletken devre elemanları ve pasif devre elemanlarından oluşan anahtarlama doğru akım-doğru akım (DA-DA) dönüştürücüler kullanılır. Anahtarlama DA-DA dönüştürücüler için kullanılan blok diyagramı Şekil 3.1.(a).’da verilmiştir. Bu çalışmada kullanılan FV sistem için DA-DA güç dönüşüm blok diyagramı Şekil 3.1.(b).’deki gibidir.



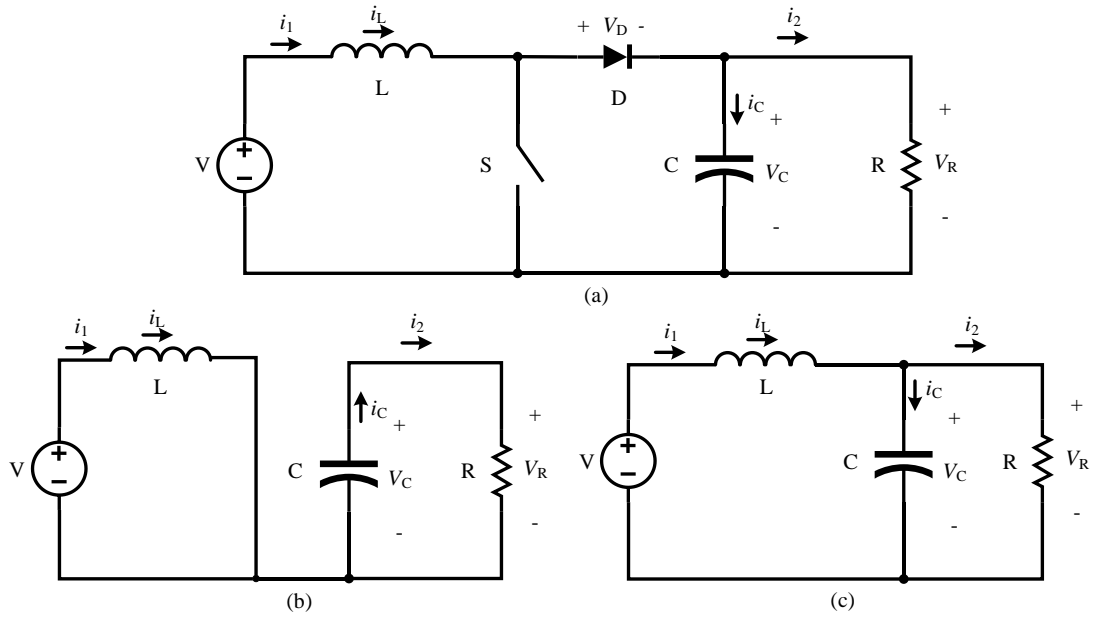
Şekil 3.1. DA-DA dönüştürücü, (a) Blok diyagramı, (b) MGNT için kullanımı

Genellikle anahtarlama bir DA-DA dönüştürücü güç girişi ve kontrol girişi portları ile güç çıkışı portundan oluşur (Erickson ve Maksimović, 2020). Girişteki güç kontrol

giriş ile işlenerek çıkıştaki güç elde edilir. DA-DA dönüştürücülerde dönüştürücünün tipine bağlı olarak giriş gerilimi düşürülerek ya da yükseltilerek çıkışa aktarılır. Bazı durumlarda giriş ve çıkış ters işaretli olacak şekilde elde edilebilir. FV sistemlerde çoğunlukla yükseltici(boost), düşürücü(buck) ve düşürücü-yükseltici(buck-boost) DA-DA dönüştürücüler kullanılır.

3.1. Yükseltici Dönüştürücü

Yükseltici dönüştürücü; indüktör (L), kondansatör (C), diyot (D) ve yarı iletken anahtardan (S) oluşan giriş gerilimini yükselterek çıkışa aktaran anahtarlamalı DA-DA dönüştürücüdür (Singh ve Tiwari, 2018). Şekil 3.2.'de yükseltici dönüştürücü devresi ve Şekil 3.3.'de gerilim ve akımlar için dalga formları verilmiştir.



Şekil 3.2. Yükseltici dönüştürücü, (a) Devre diyagramı, (b) Anahtar kapalı, (c) Anahtar açık (Lin Luo ve Ye, 2017)

Yükseltici dönüştürücüde S anahtarı ON konumunda iken D diyotu ters kutuplanır ve L indüktörüne V giriş gerilimi uygulanır. Akım, indüktörde kesintili modda sıfır akımdan veya sürekli modda bir başlangıç değerinden bir tepe değerine yükselir. Anahtar ON durumda iken Şekil 3.2.(b).’de Kirchoff gerilim yasası uygulandığında

eşitlik (3.1) ve (3.2) elde edilir. Bu denklemler matris formunda düzenlenirse eşitlik (3.3) elde edilir.

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L}V \quad (3.1)$$

$$\frac{dV_R}{dt} = \frac{1}{C} \left(-\frac{V_R}{R} \right) \quad (3.2)$$

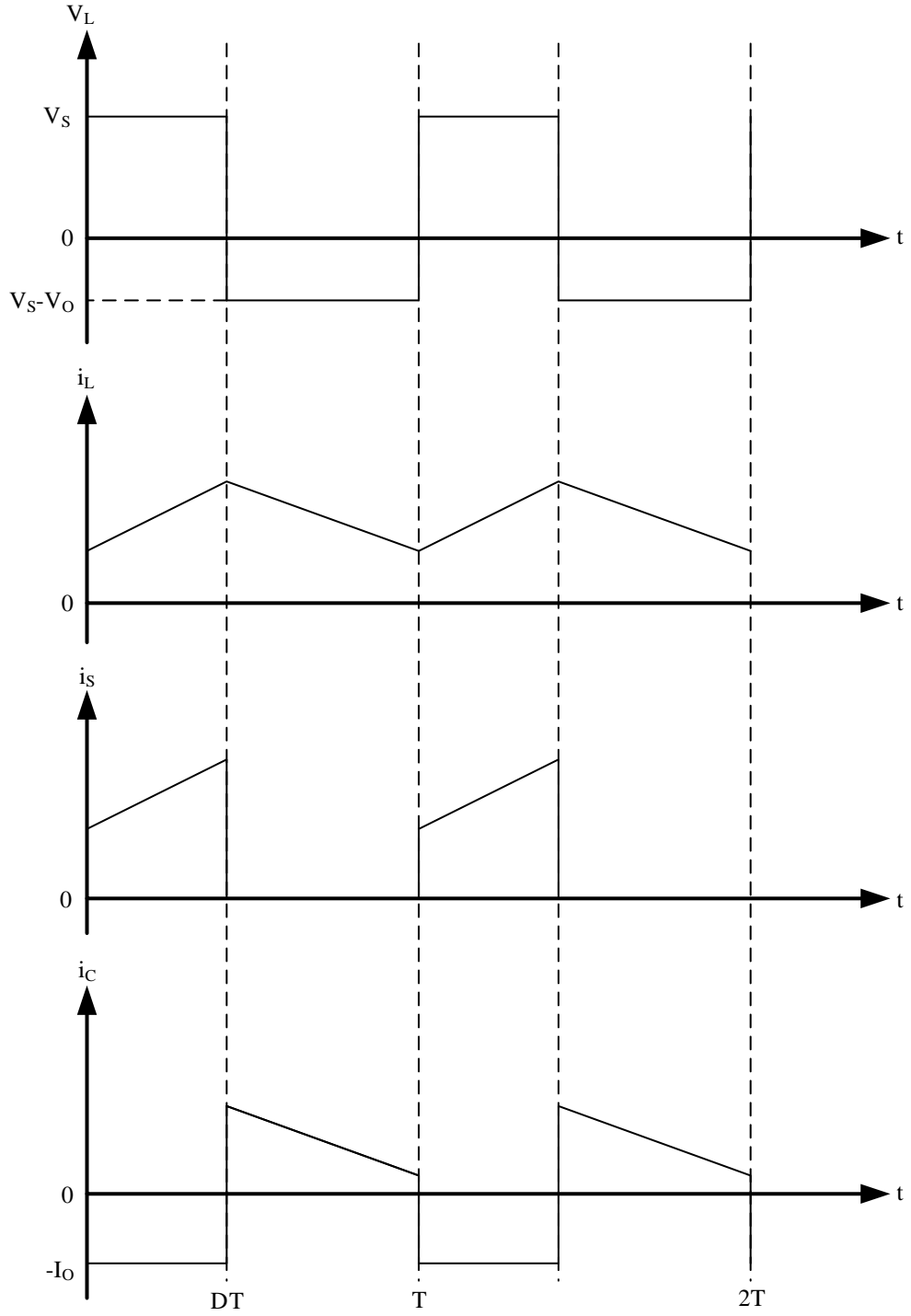
$$\begin{bmatrix} \frac{di_L}{dt} \\ \frac{dV_R}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ V_R \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} [V] \quad (3.3)$$

S anahtarı OFF konumunda iken ise indüktör üzerindeki gerilim tersine döner ve diyottaki gerilimin giriş geriliminin üzerine çıkmasına neden olur. Diyot V giriş gerilimi tarafından C kapasitörüne ve R yüküne aktarılan enerjinin yanı sıra L indüktörünün de enerjisini bu elemanlara aktarır. Bu sayede V_R gerilimi daima V geriliminden büyük olur. Anahtar OFF konumda iken Şekil 3.2.(c).’deki devrede Kirchhoff gerilim yasası uygulanırsa eşitlik (3.4) ve (3.5) elde edilir. Bu iki denklem matris formunda yeniden düzenlenirse eşitlik (3.6) elde edilir.

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{L}(V - V_R) \quad (3.4)$$

$$\frac{dV_R}{dt} = \frac{1}{C} \left(i_L - \frac{V_R}{R} \right) \quad (3.5)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{di_L}{dt} \\ \frac{dV_R}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_L \\ V_R \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} [V] \quad (3.6)$$

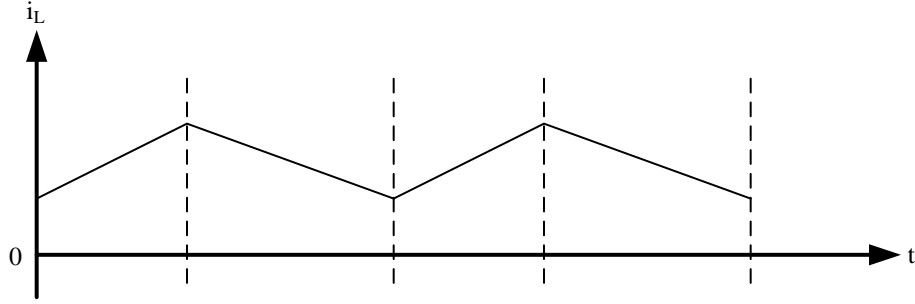


Şekil 3.3. Yükseltici dönüştürücünün dalga formları (Rashid, 2018)

3.1.1. Yükseltici dönüştürücünün sürekli akım modunda çalışması

Yükseltici dönüştürücüde anahtar ON konumunda olduğu sürece indüktör akımı sürekli artmaya devam eder. Anahtar OFF konumunda olduğu sürece indüktör akımı

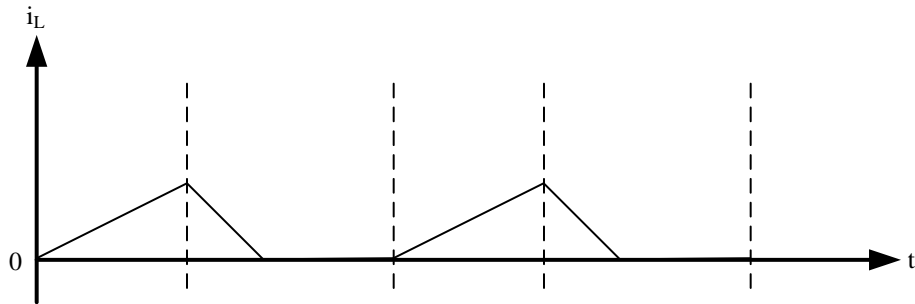
sıfıra inene kadar azalır. Anahtardaki OFF-ON geçişi sırasında indüktör akımı sıfıra inmeden bu geçiş sağlandığında dönüştürücü sürekli akım modunda çalışır. Şekil 3.4.'de sürekli akım modunda yükseltici dönüştürücünün indüktör akımının zamana göre değişimi verilmiştir.



Şekil 3.4. Sürekli akım modunda indüktör akımı

3.1.2. Yükseltici dönüştürücünün kesintili akım modunda alışması

İndüktör akımı sıfıra ulaştığında ve sıfırda bir süre kaldığında dönüştürücü kesintili akım modunda çalışıyor demektir. İlk alışma aralığı kesintili ve sürekli akım modunda aynıdır. Ancak kesintili akım modunda ikinci çalışma aralığı boyunca indüktör akımı sıfıra inmeden anahtar ON konumuna geçmemektedir. Bununla birlikte indüktör akımı diyot sayesinde sıfırın altına inmemektedir. Şekil 3.5.'de kesintili akım modunda yükseltici dönüştürücünün indüktör akımının zamana göre değişimi verilmiştir.



Şekil 3.5. Kesintili akım modunda indüktör akımı

3.1.3. Yükseltici dönüştürücü parametre hesaplamaları

Yükseltici dönüştürücünün giriş gerilimi ve çıkış gerilimi arasındaki ilişki eşitlik (3.7) ile verilir.

$$V_0 = \frac{V_{in}}{1-D} \quad (3.7)$$

Burada V_0 dönüştürücünün çıkış gerilimi, V_{in} kaynak gerilimi, D ise devredeki anahtarlama elemanının ON-OFF konumunu belirleyen PWM işaretinin doluluk oranıdır (Işık, 2015).

Dönüştürücünün sürekli akım modunda çalışması için L_{min} minimum endüktans değeri eşitlik (3.8)'deki gibidir. Çıkış geriliminin ortalama değerinin 2 katını ΔV_0 değerine eşit yapan kondansatör C_{min} değerine sahiptir. Diğer bir deyişle, yük geriliminin kesintili-kesintisiz sınırında çalışmasını sağlayan kondansatör değeri C_{min} 'dir ve eşitlik (3.9)'deki gibi olması gerekmektedir.

$$L_{min} = \frac{R(1-D)^2 D}{2f_s} \quad (3.8)$$

Burada R yük direnci, f_s örnekleme frekansısıdır.

$$C_{min} = \frac{DV_0}{\Delta V_0 f_s R} \quad (3.9)$$

Burada ΔV_0 çıkış gerilimindeki dalgalanma değeridir.

BÖLÜM 4. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ İÇİN OPTİMİZASYON TEKNİKLERİ

Optimizasyon bir problemde ya da bir sistemde belirli kısıtlar altında sistemin ya da problemin alabileceği en iyi sonucu elde etme arayışıdır. Problemin türüne göre bu sonuç maksimum ya da minimum noktası olabilir. Örneğin; bir sistemde maliyet, güç tüketimi gibi değerler için minimum nokta aranırken kârlılık, güç üretimi gibi değerler için ise maksimum nokta aranır. Optimizasyon problemlerini sınıflandırma ve isimlendirmenin birçok yolu vardır. Bu nedenle optimizasyon teknikleri problemden probleme farklılık gösterir ve tüm problemler için ortak bir çözüm yaklaşımı mevcut değildir. Optimizasyon probleminin karmaşıklığı büyük oranda amaç fonksiyonu ve kısıtlara bağlıdır.

Bir optimizasyon problemi genel olarak aşağıdaki eşitlik (4.1), (4.2), (4.3) matematiksel eşitlikleri ile ifade edilebilir (Yang, 2010).

$$f(x) \tag{4.1}$$

$$\phi_j(x) = 0 \quad (j = 1, 2, \dots, J), \tag{4.2}$$

$$\psi_k(x) \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, K), \tag{4.3}$$

Burada $f(x)$, $\phi_j(x)$ ve $\psi_k(x)$ problemi tanımlayan vektörlerdir.

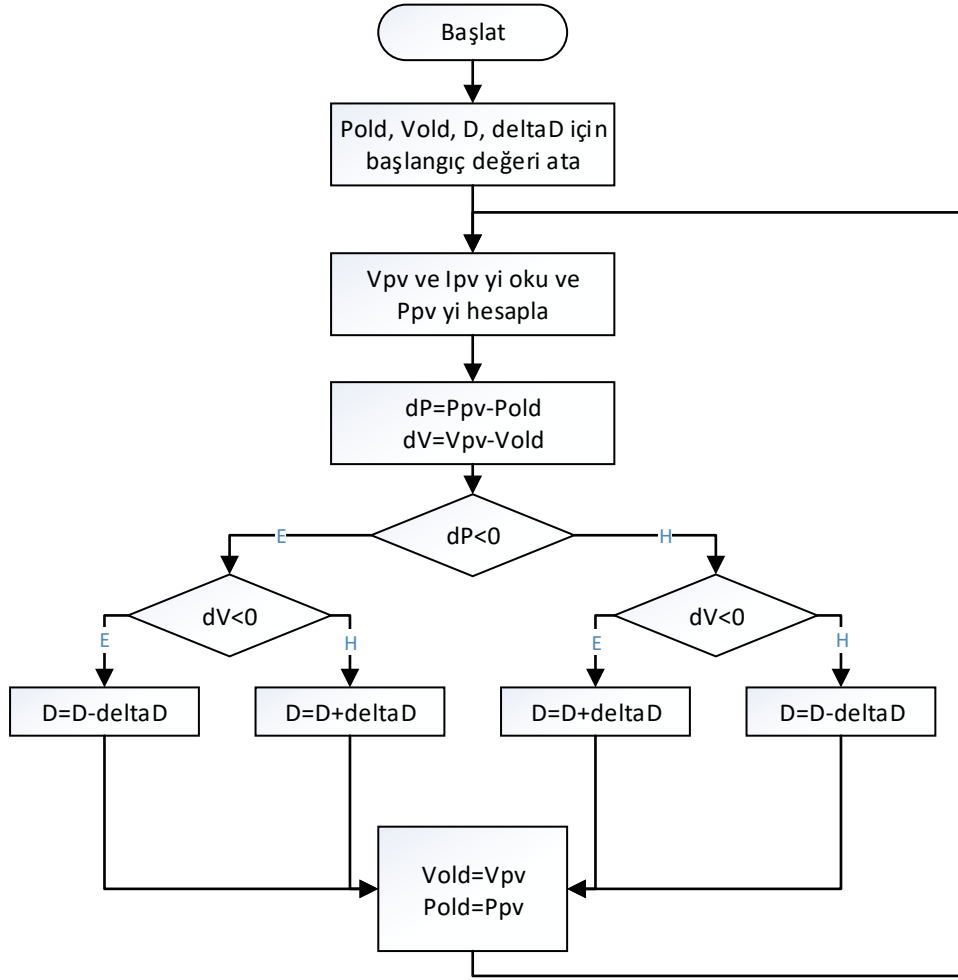
$$x_i = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)^T \tag{4.4}$$

Eşitlik (4.4)'de x_i vektörünün elemanları tasarım veya karar değişkenleri olarak adlandırılır. $f(x)$, karar değişkenleri ile birlikte problemi tanımlayan amaç fonksiyonudur. Literatürde amaç fonksiyonu, maliyet fonksiyonu ya da enerji fonksiyonu olarak da adlandırılmaktadır. $\phi_j(x)$ eşitlikleri ve $\psi_k(x)$ eşitsizlikleri problemin kısıtlarını ifade etmektedir.

Bir problemde çözüm için en iyi değerlerin elde edilmesi için farklı optimizasyon teknikleri kullanılmaktadır. Problemin türüne bağlı olarak optimizasyon tekniklerinin uygulanma şekli, yakınsama hızı, gerçek optimum değerın yakalanması gibi durumlar farklılık gösterebilmektedir. Optimizasyon teknikleri genel olarak klasik ve sezgisel optimizasyon teknikleri olmak üzere iki gruba ayrılabilir.

4.1. Değiştir & Gözle Metodu

Değiştir & gözle (D&G) metodu, FV dizi çıkış gerilimini periyodik olarak değiştirip elde edilen çıkış gücünü ve gerilimi bir önceki çıkış gücü ve gerilimle kıyaslayan klasik optimizasyon tekniğidir. Bu yöntemin en önemli avantajları arasında uygulama kolaylığı ve güneş ışımalarının nadir değiştiği ortamlarda iyi performans göstermesidir (Babaa ve ark., 2014). Ancak kısmi gölgelenme durumunda sistemin P-V karakteristik eğrisinde birden fazla MGN olduğundan bu yöntemin GMGN'ye ulaşamama ihtimali vardır. Şekil 4.1.'de D&G metodu için bu çalışmada kullanılan akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.1. D&G metodu akış diyagramı

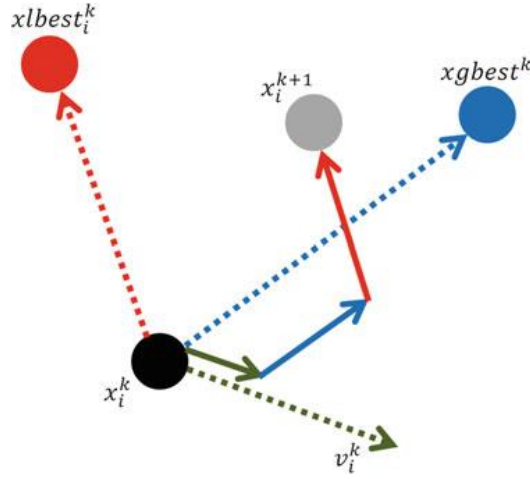
4.2. Sezgisel Optimizasyon Teknikleri

Birden fazla lokal minimum veya maksimum içeren problemlerde global minimum veya maksimumun bulunabilmesi için sezgisel optimizasyon teknikleri geliştirilmiştir. Sezgisel bir algoritmanın global optimum noktayı bulabilmesi için keşif ve sömürü özelliklerine sahip olması gerekmektedir (Radosavljević, 2018). Keşif, arama alanını genişletme yeteneği iken sömürü, iyi bir çözüm etrafında optimumları bulma yeteneğidir. Sezgisel algoritmalar arasındaki fark bu iki özellik arasında kurmaya çalıştıkları yöntemden kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada sezgisel optimizasyon tekniği olarak aşağıdaki optimizasyon teknikleri kullanılacaktır.

- 1) Parçacık sürü optimizasyonu
- 2) Guguk kuşu optimizasyonu
- 3) Yarasa optimizasyonu
- 4) Ateş böceği optimizasyonu

4.2.1. Parçacık sürü optimizasyonu

Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) algoritması James Kennedy ve Russell C. Eberhart tarafından 1995 yılında geliştirilmiş ve iki boyutlu uzayda kuş sürülerinin simülasyonu temeline dayanmaktadır. Bu algorithmada arama alanındaki optimum çözümü bulmak için parçacıklar kullanılır. Her bir parçacık hareket ettiği yol üzerinde optimum noktayı bulmaya çalışır. Parçacıklar yeni pozisyonlarını o anki pozisyon, o anki hız, parçacığın o ana kadarki en iyi pozisyonu ile o anki pozisyonu arasındaki mesafe ve parçacığın o anki pozisyonu ve tüm parçacıkları içinde o ana kadarki en iyi pozisyon arasındaki mesafe ile günceller. Şekil 4.2.'de bir parçacığın şematik hareketi gösterilmiştir.



Şekil 4.2. PSO'da parçacıkların hareketi

Parçacıkların popülasyondaki pozisyon ve hızlarının güncellenmesi için aşağıdaki eşitlik (4.5) ve (4.6) kullanılır (Dilep ve Singh, 2017).

$$v_i(k+1) = \omega \times v_i(k) + c_1 \times r_1 \times (Pbest_i - x_i(k)) + c_2 \times r_2 \times (Gbest - x_i(k)) \quad (4.5)$$

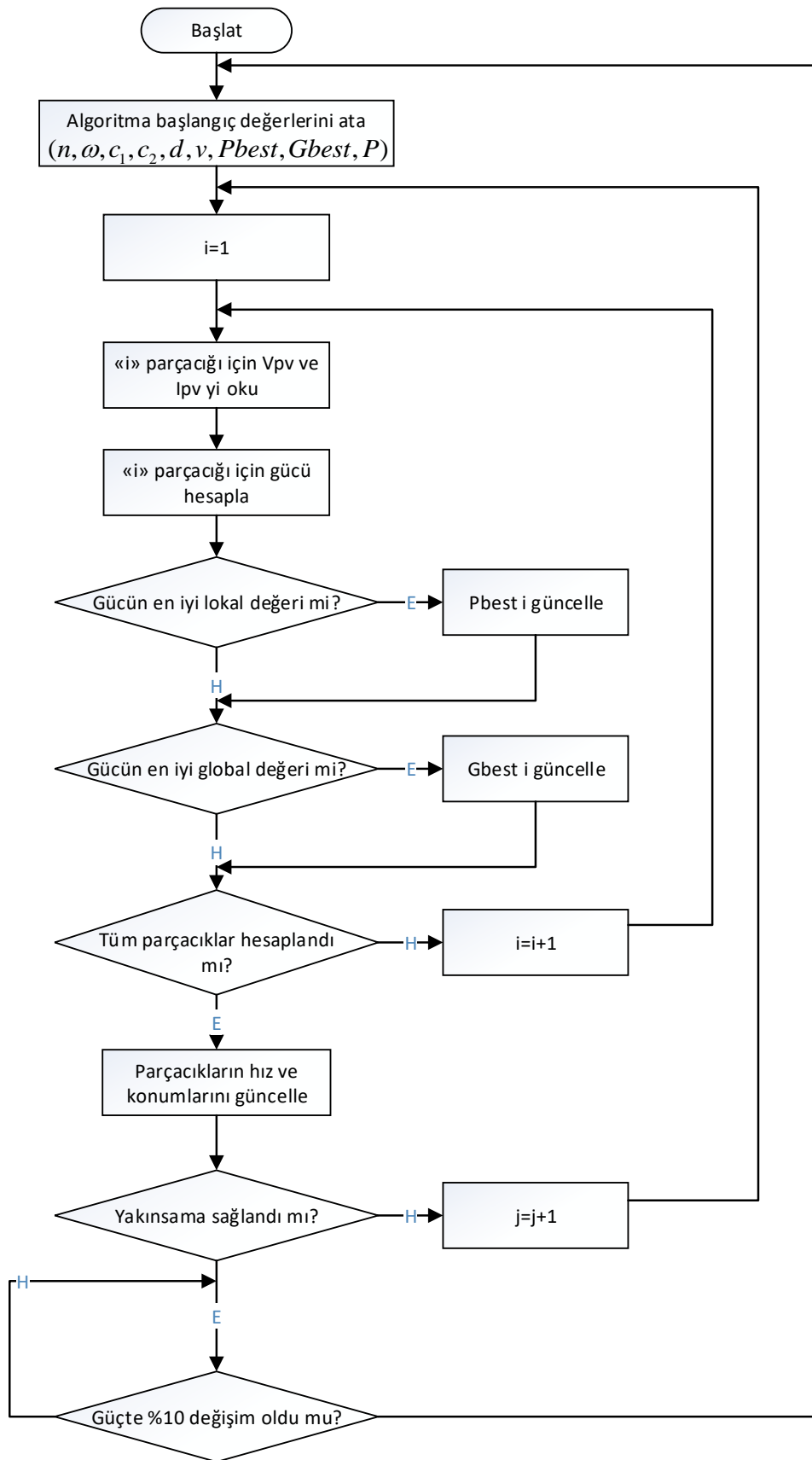
$$x_i(k+1) = x_i(k) + v_i(k+1) \quad (4.6)$$

Burada $v_i(k)$ i 'nci parçacık için k 'inci iterasyondaki hız, ω ağırlık fonksiyonu, c_1 ve c_2 $[0, 2]$ aralığında olan pozitif sabitler, r_1 ve r_2 $[0, 1]$ aralığında düzgün dağılmış rasgele sayılar, $x_i(k)$ i 'nci parçacık için k 'inci iterasyondaki pozisyon, $Pbest_i$ i 'nci parçacık için en iyi pozisyon, $Gbest$ o ana kadarki en iyi pozisyonudur.

PSO'nun FV sistemlere uygulanması sırasında eşitlik (4.5) ve (4.6) yerine eşitlik (4.7) ve (4.8) kullanılmaktadır. $d_i(k)$; i 'nci parçacık için k 'inci iterasyondaki PWM doluluk oranı, $d_i(k+1)$; i 'nci parçacık için $k+1$ 'inci iterasyondaki PWM doluluk oranıdır. Şekil 4.3.'de PSO algoritması akış diyagramı verilmiştir.

$$v_i(k+1) = \omega \times v_i(k) + c_1 \times r_1 \times (Pbest_i - d_i(k)) + c_2 \times r_2 \times (Gbest - d_i(k)) \quad (4.7)$$

$$d_i(k+1) = d_i(k) + v_i(k+1) \quad (4.8)$$



Şekil 4.3. PSO algoritması akış diyagramı

4.2.2. Guguk kuşu optimizasyonu

Sezgisel optimizasyon tekniklerinden biri olan guguk kuşu optimizasyon (GKO) algoritması 2009 yılında Xin-She Yang ve Suash Deb tarafından geliştirilmiş guguk kuşlarının yavrulama davranışlarını temel alan bir optimizasyon tekniğidir (Yang, 2010). Bu davranışın optimizasyon problemlerine uygulanabilmesi için aşağıdaki gibi basitleştirmelerden faydalanılır.

- 1- Rasgele seçilen bir yuvada, her guguk kuşu bir seferde bir yumurta bırakır.
- 2- En iyi yumurtaya sahip yuva(yani en iyi çözümler), sonraki nesillere aktarılır ve zaman içinde iyi çözümlerin sürdürülmesini sağlar.
- 3- Yuva sayısı her zaman sabittir ve her zaman yuva sahibi kuşun guguk kuşu yumurtasının farkına vardığı bir olasılık ($0 < P_a < 1$) vardır (Anand ve ark., 2020). Yuva sahibi kuş yuvasına bırakılan yumurtayı bulduğunda yuvayı terk edecek ya da guguk kuşunun yumurtasını yuvadan atacak ve yeni bir yuva oluşturulacaktır.

GKO arama alanında N adet yuva $\{X_i, i = 1, 2, \dots, N\}$ vardır. Her yuva $X_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD}\}$ olası en iyi çözümü ifade eder. Yeni yuvalar L'evy uçuşu kullanılarak eşitlik (4.9) ile elde edilir:

$$x_{ij}(k+1) = x_{ij}(k) + \alpha \oplus Le'vy(\lambda) \quad (4.9)$$

Eşitlik (4.9)'de $\alpha = a_0(x_{best} - x_i)$ ve a_0 başlangıç adım aralığı, λ L'evy uçuşu parametresi ve \oplus ise α ve $Le'vy(\lambda)$ 'ın eleman-eleman çarpımıdır.

Guguk kuşları için yuva aramak, yaras algoritmasındaki yiyecek arama ile birbirine benzerdir. Guguk kuşu optimizasyonunda adımlar ve yönler L'evy uçuşu matematiksel fonksiyonu ile belirlenir (Mosaad ve ark., 2019). Şekil 4.4.'de görülen L'evy uçuşu, L'evy dağılıma sahip adım aralığı ile rasgele bir yürüyüş türüdür. L'evy dağılımının basitleştirilmiş ifadesi eşitlik (4.10)'deki gibidir.



Şekil 4.4. Le'vy uçuşu

$$s = a_0 (x_{best} - x_i) \oplus Le'vy(\lambda) \approx \kappa \left(\frac{u}{|v|^{1/\beta}} \right) (x_{best} - x_i) \quad (4.10)$$

Burada $\beta = 1.5$, κ L'evy çarpım katsayısı, u ve v normal dağılım (N) eğrileri yani eşitlik (4.11) sonucunda hesaplanan değerlerdir.

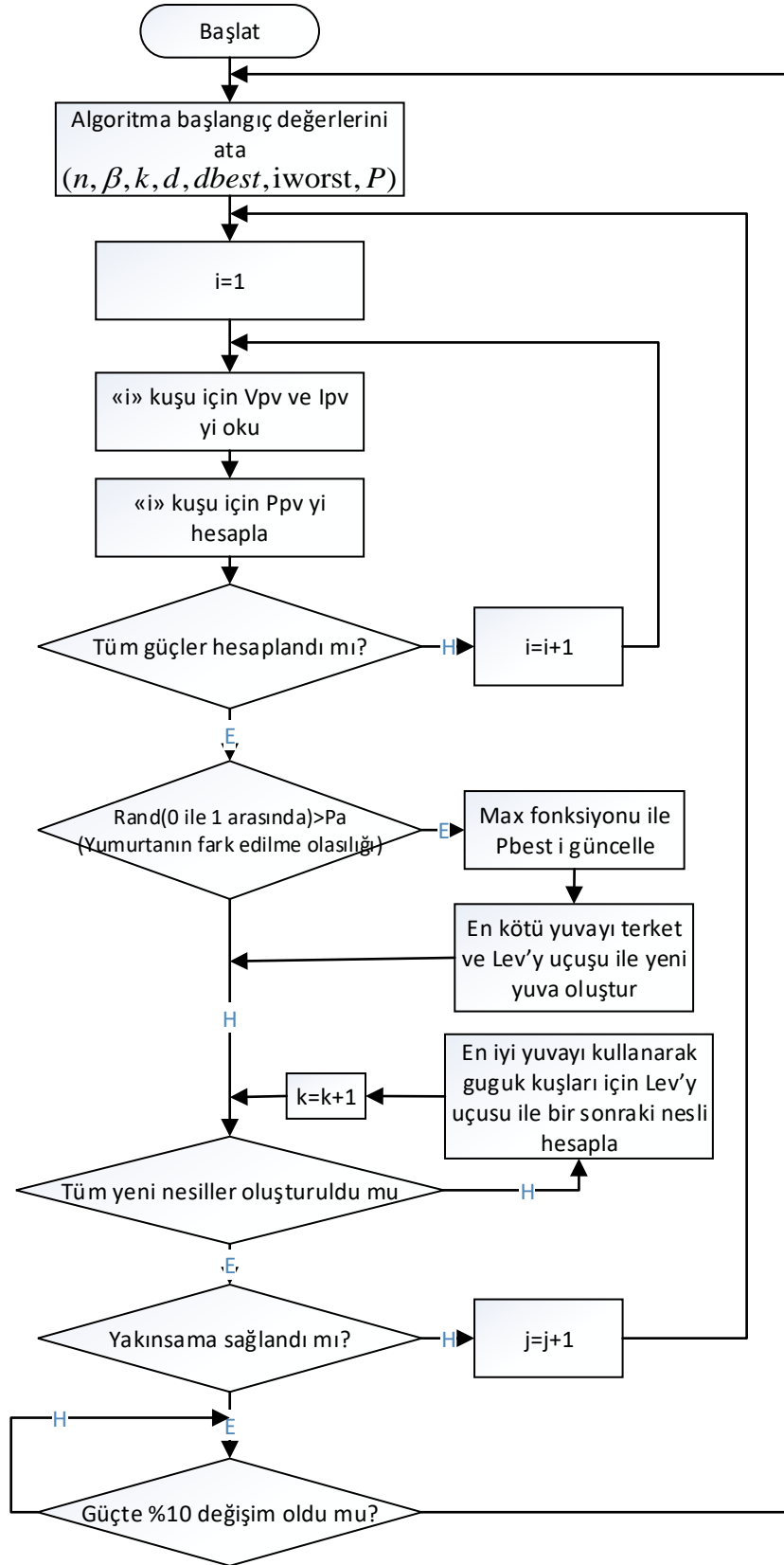
$$u \approx N(0, \sigma_u^2) \quad v \approx N(0, \sigma_v^2) \quad (4.11)$$

Γ , gama fonksiyonu olup σ_u ve σ_v ise aşağıdaki gibi tanımlanır (Ahmed ve Salam, 2014).

$$\sigma_u^2 = \left(\frac{\Gamma(1+\beta) \times \sin\left(\pi \times \frac{\beta}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{1+\beta}{2}\right) \times \beta \times 2^{\left(\frac{\beta-1}{2}\right)}} \right)^{1/\beta} \quad \sigma_v = 1 \quad (4.12)$$

GKO'yu FV sistemlere uygulamak için eşitlik (4.9) düzenlendiğinde eşitlik (4.13) elde edilir. x ; konum değişkeni, d ; PWM doluluk oranı ile değiştirilmiştir. Şekil 4.5.'de GKO algoritması akış diyagramı verilmiştir.

$$d_i(k+1) = d_i(k) + a_0 (d_{best} - d_i(k)) \oplus Le'vy(\lambda) \quad (4.13)$$



Şekil 4.5. GKO algoritması akış diyagramı

4.2.3. Yarasa optimizasyonu

2010 yılında Xin-She Yang tarafından geliştirilen yarasa optimizasyonu (YAO) algoritması yarasaların ses ile yön bulması(ekolokasyon) temeline dayanmaktadır. Yarasalar uçarken ses dalgaları yayarlar ve yaydıkları bu dalgalar avlarına ya da doğadaki engellere çarptığında tekrar yarasaya geri döner. Yarasalar geri dönen dalga ile av ve engellerin yerini tespit ederler.

Optimizasyon problemlerinde yarasalardan ilham alınarak geliştirilen bu algoritma için bazı basitleştirmeler yapılmıştır (Bozorg-Haddad ve ark., 2017). Bunlar;

- 1- Bütün yarasalar mesafeyi algılamak için ekolokasyonu kullanır. Yarasalar av/yiyecek ile geride kalan engeller arasındaki farkı bilirler.
- 2- Yarasalar avını/yiyeceğini aramak için f_{\min} sabit frekans, r_i darbe emisyon oranı ve A_i ses şiddeti ile v_i hızı ve x_i pozisyonunda uçarlar.
- 3- Ses şiddeti A_0 pozitif değerinden A_{\min} değerine kadar değişir.

Yarasa algoritması için temel olarak Eşitlik (4.14), (4.15) ve (4.16) kullanılır (Brabazon ve McGarraghy, 2018).

$$f_i = f_{\min} + \beta(f_{\max} - f_{\min}) \quad (4.14)$$

$$v_i^k = v_i^{k-1} + (x_i^{k-1} - x_{best})f_i \quad (4.15)$$

$$x_i^k = x_i^{k-1} + v_i^k \quad (4.16)$$

Burada $\beta \in [0,1]$ rasgele bir sayıyı, x_{best} yarasalar içindeki en iyi konumu, f_i i'inci yarasa için frekansı, f_{min} ve f_{max} sırasıyla minimum ve maksimum frekansı ifade etmektedir. Her yarasa başlangıçta f_{min} ve f_{max} arasında rasgele atanmış bir frekansa sahiptir. x_i^k ve v_i^k sırasıyla k 'inci iterasyonda i 'inci yarasanın sahip olduğu konum ve hızıdır.

En iyi konuma sahip yarasa için yeni konum rastgele bir mesafe kullanılarak güncellenmelidir. Güncelleme eşitlik (4.17) ile yapılır.

$$x_{yeni} = x_{best} + \varepsilon A^k \quad (4.17)$$

Burada A^k ortalama ses şiddetini, ε ise $[-1,1]$ aralığında rasgele oluşturulan bir sayıdır.

Yarasaların optimum sonuca yaklaşması için darbe emisyon oranı ve ses şiddetinin eşitlik (4.18) ve (4.19) ile güncellenmesi gerekir. Sonuca yaklaştıkça ses şiddeti azalırken darbe emisyon oranı azalır.

$$A_i^{k+1} = \alpha A_i^k \quad (4.18)$$

$$r_i^{k+1} = r_i^0 (1 - e^{-\gamma k}) \quad (4.19)$$

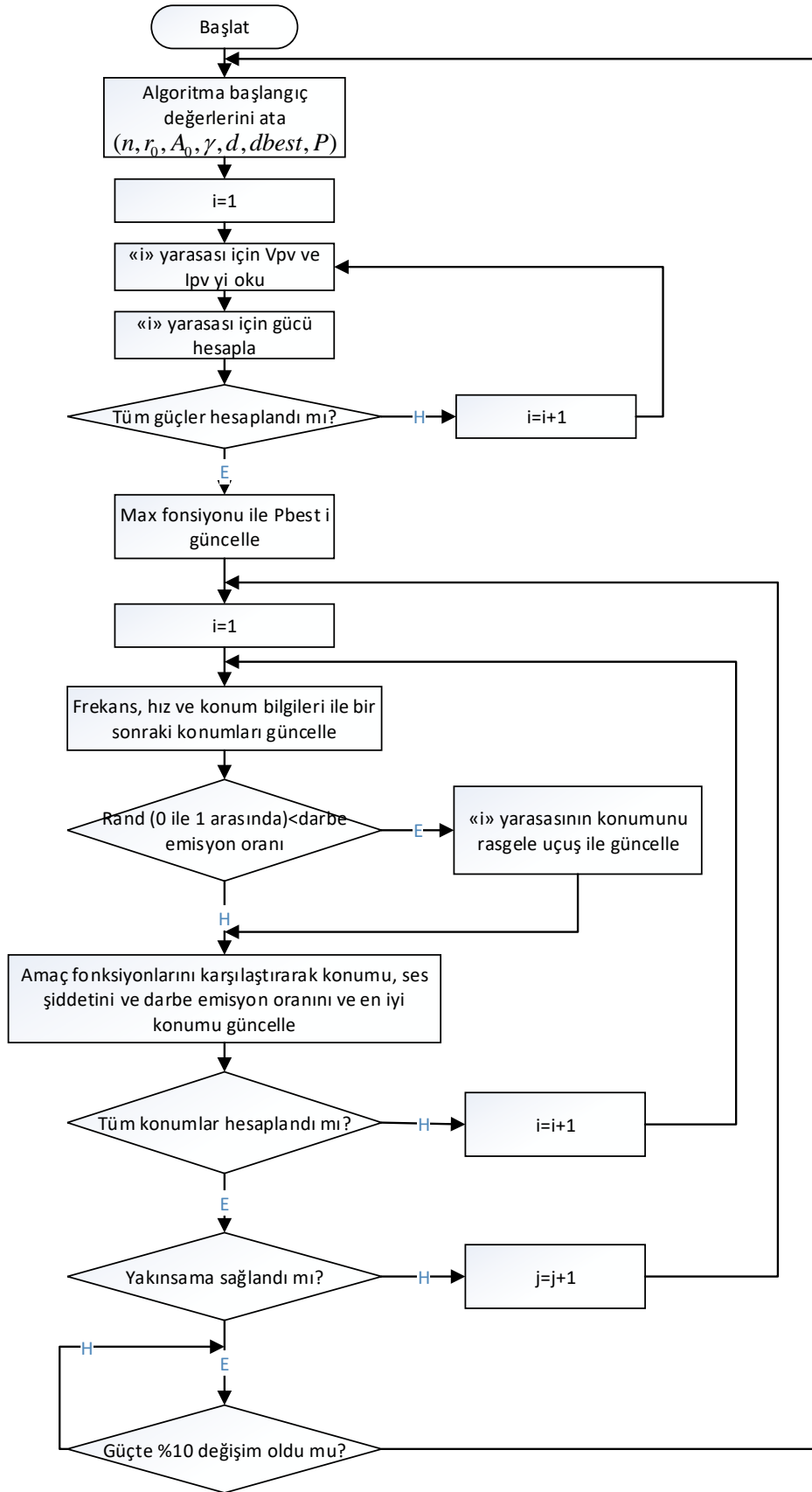
Burada γ ve α sabit değerler, $r_i^0 \in (0,1]$ i 'nci yarasanın başlangıç darbe emisyon oranıdır. Başlangıçta her yarasa farklı ses şiddeti ve darbe emisyon oranına sahiptir (Chaieb ve Sakly, 2018). Bu farklılık normal dağılımlı rasgele sayılar ile elde edilir.

YAO'nun FV sistemlerde kullanılabilmesi için eşitlik (4.15) ve (4.16)'nın eşitlik (4.20) ve (4.21)'deki gibi düzenlenmesi gerekmektedir. Burada; x ; konum değişkeni,

d ; PWM doluluk oranı ile değiştirilmiştir. Şekil 4.6.'de YAO algoritması akış diyagramı verilmiştir.

$$v_i^k = v_i^{k-1} + (d_i^{k-1} - d_{best})f_i \quad (4.20)$$

$$d_i^k = d_i^{k-1} + v_i^k \quad (4.21)$$



Şekil 4.6. YAO algoritması akış diyagramı

4.2.4. Ateş böceği optimizasyonu

Ateş böceği optimizasyonu (ABO) algoritması sürü zekasına dayanan ve ateş böceklerinin yaydığı ışıktan ilham alınarak Xin-She Yang tarafından geliştirilen bir algoritmadır. ABO stokastik ve sezgisel bir algoritma olduğundan birden fazla maksimum veya minimum noktası içeren optimizasyon problemlerinin çözümünde başarılı sonuçlar vermektedir. Global optimum noktanın bulunması sırasında rasgeleleştirme işlemleri olduğundan lokal optimum noktalardan kaçınılmasını sağlar. ABO için Şekil 4.7.'da verilen akış diyagramından faydalanılır.

ABO algoritmasının optimizasyon problemlerinde kullanılabilmesi için aşağıdaki kurallardan faydalanılmıştır (Kumar ve ark., 2020).

- 1- Ateş böcekleri için cinsiyet önemli değildir. Bu yüzden popülasyondaki bütün böcekler birbirleri ile etkileşime geçebilir ve birbirlerini etkilemek için yaydıkları ışığı değiştirir.
- 2- Ateş böcekleri arasındaki çekicilik, ışığın parlaklığına bağlıdır. Yani, ışık yoğunluğu arttıkça ateş böcekleri arasında yüksek düzeyde bir çekim eğilimi olduğu anlamına gelir. Bir başka deyişle, daha az parlak olan ateş böceği parlak olan ateş böceğine doğru hareket eder.
- 3- Bir ateş böceğinin ışık yoğunluğu veya parlaklığı mesafeye bağlıdır ve yüksek oranda amaç fonksiyonu tarafından belirlenir.

ABO'da popülasyondaki bir ateş böceği eşitlik (4.22)'deki gibi tanımlanır (Bozorg-Haddad ve ark., 2017).

$$\text{Ateş Böceği} = X = (x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_N) \quad (4.22)$$

Burada X optimizasyon probleminin bir çözümünü, x_j j 'nci karar değişkeni ve N karar değişkenlerinin sayısıdır. Eşitlik (4.22) kullanılarak eşitlik (4.23) popülasyonu oluşturulur.

$$Popülasyon = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_i \\ \vdots \\ X_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \cdots & x_{1,j} & \cdots & x_{1,N} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \cdots & x_{2,j} & \cdots & x_{2,N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{i,1} & x_{i,2} & \cdots & x_{i,j} & \cdots & x_{i,N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{M,1} & x_{M,2} & \cdots & x_{M,j} & \cdots & x_{M,N} \end{bmatrix} \quad (4.23)$$

Burada X_i i 'inci ateş böceği için problem çözümü, $x_{i,j}$ i 'nci ateş böceği için j 'inci karar değişkeni ve M popülasyondaki ateş böceği sayısıdır.

Bir ateş böceğinin konumu eşitlik (4.24) ile güncellenir (Mohanty ve ark., 2019).

$$x_i^{k+1} = x_i^k + \beta(r) \times (x_i^k - x_j^k) + \alpha \left(rand - \frac{1}{2} \right) \quad (4.24)$$

Eşitlik (4.24)'da, x_i^k ve x_j^k k 'ıncı iterasyondaki i ve j ateş böceklerinin konumu, $\beta(r)$ eşitlik (4.25) ile elde edilen çekicilik fonksiyonudur.

$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma r^n} \quad (4.25)$$

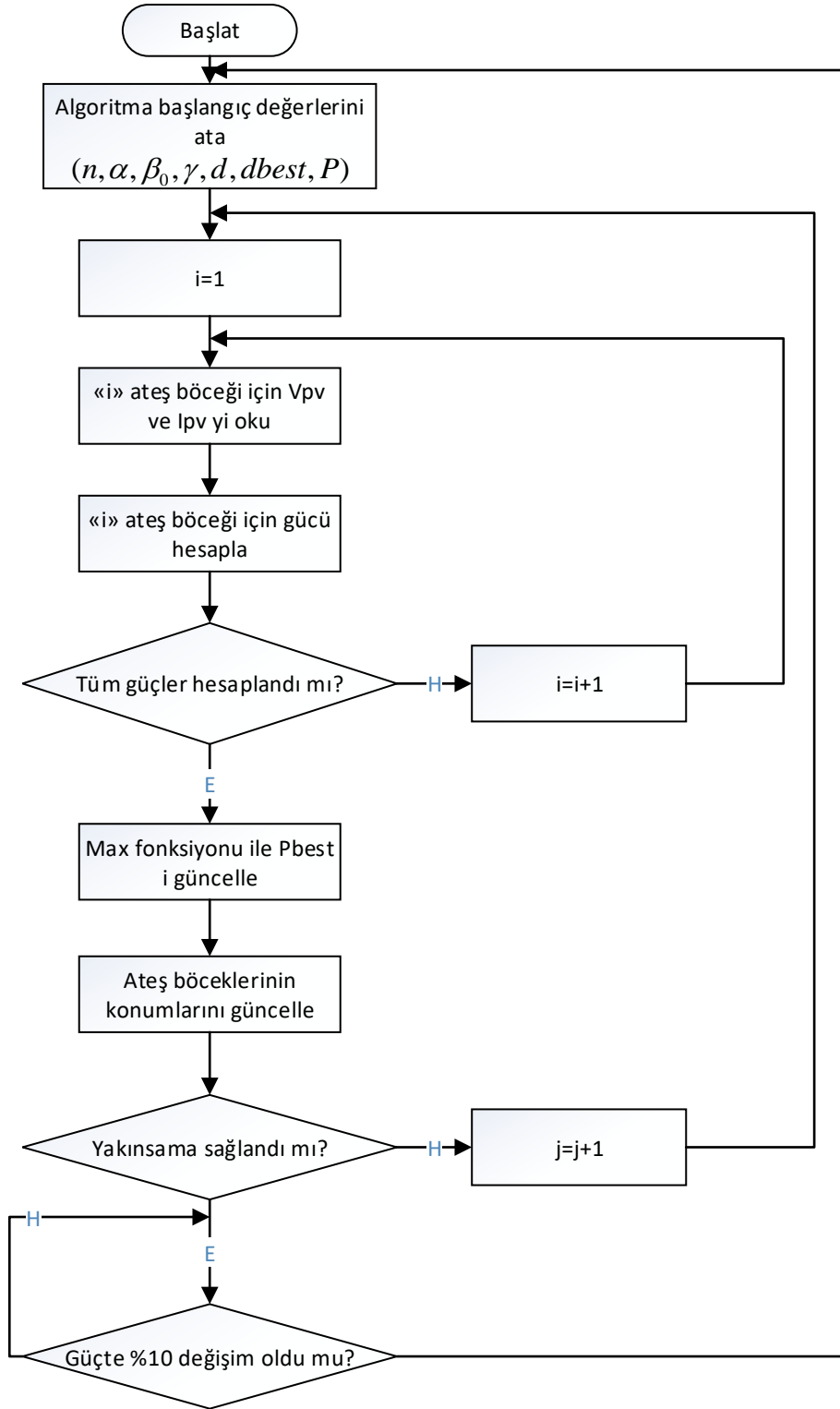
γ çekiciliğin değişimini kontrol eden soğurma katsayısı, β_0 başlangıç çekiciliği, n 0 ile 2 arasında sabit bir sayıdır. İki ateş böceği arasındaki mesafe olan r eşitlik (4.26)'de verilen Öklid mesafe denklemi ile elde edilir.

$$r_{ij} = \|x_i - x_j\| = \sqrt{\sum_{q=1}^D (x_{i,q} - x_{j,q})^2} \quad (4.26)$$

Eşitlik (4.24)'daki son kısım rasgeleleştirme faktörüdür ve burada α sabit bir sayıdır. Ateş böceğinin her hareketi, 0 ile 1 arasında değişen düzgün dağılımlı rasgele oluşturulan bir sayı ile yapılır. Eşitlik (4.26)'de verilen D ; eşitlik (4.4)'de x_i vektörünün eleman sayısıdır.

ABO, FV sistemlerde MGNT için kullanılırken eşitlik (4.24) yerine eşitlik(4.27) kullanılır. Burada; d ; ateş böceklerinin konumu yerine kullanılan PWM doluluk oranıdır.

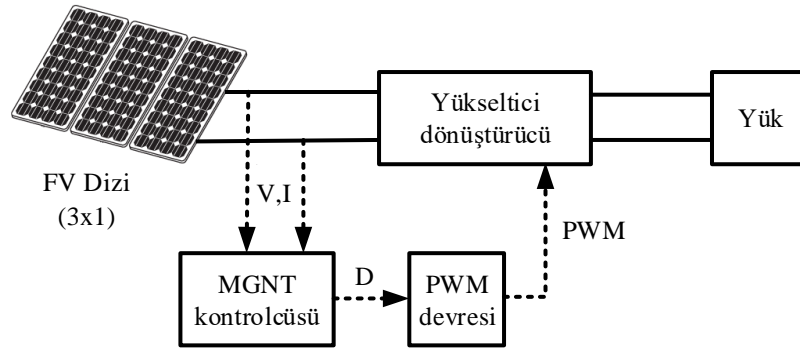
$$d_i^{k+1} = d_i^k + \beta(r) \times (d_i^k - d_{best}) + \alpha(rand - \frac{1}{2}) \quad (4.27)$$



Şekil 4.7. ABO algoritması akış diyagramı

BÖLÜM 5. MATLAB ORTAMINDA SİMULASYON ÇALIŞMALARI VE SONUÇLAR

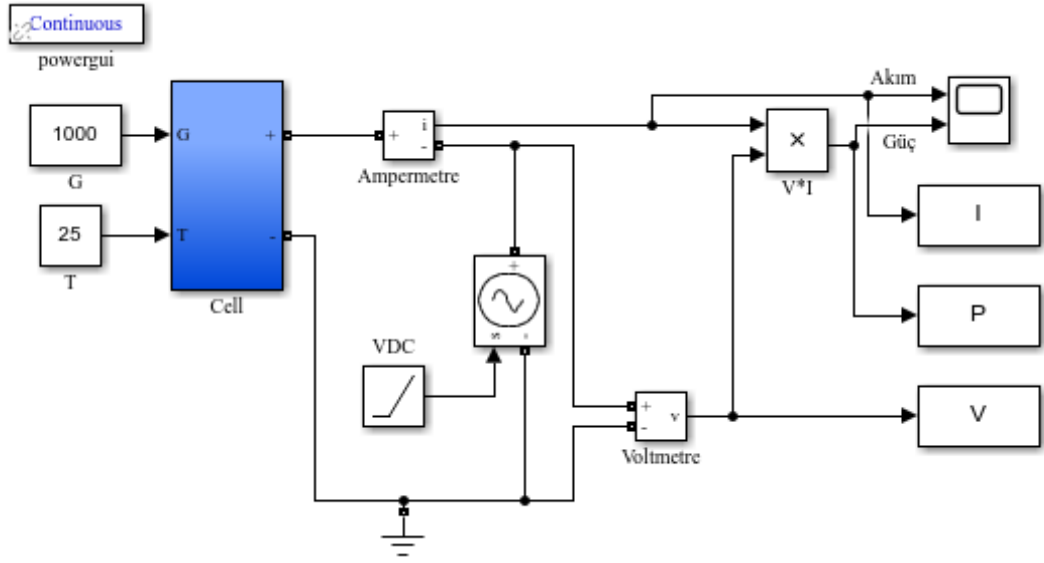
Bu bölümde FV bir sistemin farklı ışınım değerlerine sahip senaryolarda optimizasyon algoritmaları ile MGNT için yapılan çalışmaları anlatılmıştır. Bölüm 2, 3 ve 4'te anlatılan FV modül, yükseltici dönüştürücü ve MGNT algoritmalarının Şekil 5.1.'deki gibi entegrasyonu ile FV bir sistem oluşturulmuş ve bu sistem için simülasyon çalışması ve analizi MATLAB SIMULINK R2020b yazılımı ile yapılmıştır (Arifoğlu, 2012).



Şekil 5.1. MGNT blok diyagramı

5.1. Matematiksel Denklemlerden FV Hücresinin Modelinin Çıkarılması

Bölüm 2'de anlatıldığı gibi FV hücreler devre modelinden yola çıkarak matematiksel denklemler ile ifade edilebilmektedir. Tek diyotlu FV modeli denklemleri (eşitlik (2.1) ile (2.7)) ile Şekil 5.2.'deki hücre modeli oluşturularak bu model için Şekil 5.3.'deki gibi I-V ve P-V eğrileri çizdirilmiştir. Oluşturulan FV hücre modelinin içyapısı Şekil 5.4.'de verilmiştir.

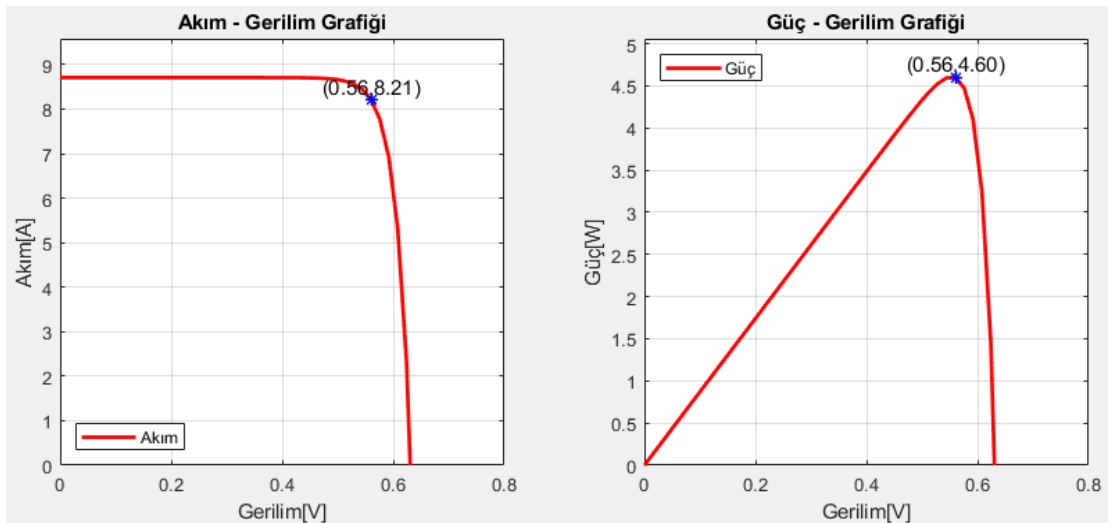


Şekil 5.2. FV hücre modeli test devresi

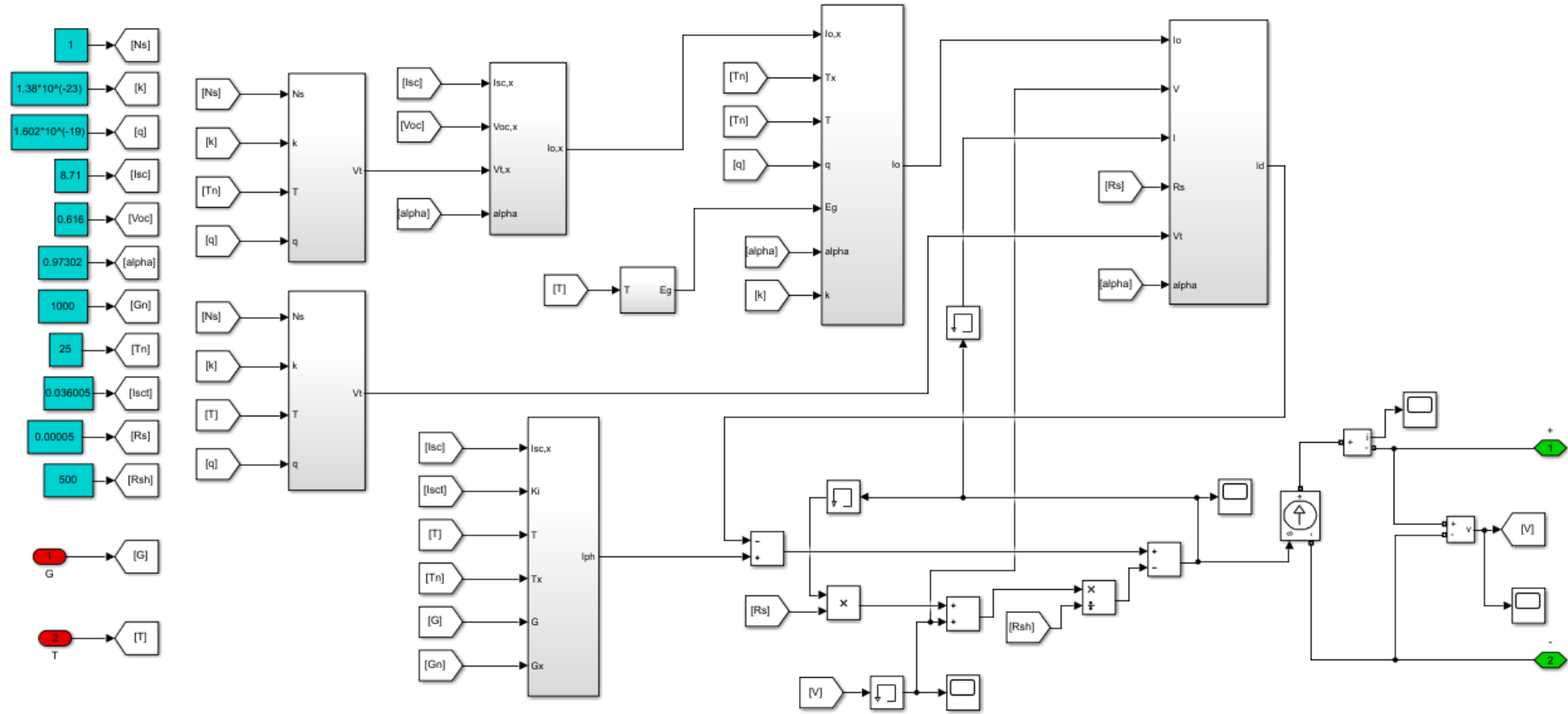
Modellenen FV hücrede elde edilen bazı parametreler Tablo 5.1.'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Modellenen FV hücre parametreleri

Parametre	Değer
Maksimum güç P_{MPP} (W)	4,6
Açık devre gerilimi V_{OC} (V)	0,63
Kısa devre akımı I_{SC} (A)	8,71
Maksimum güçteki gerilim V_{MPP} (V)	0,56
Maksimum güçteki akım I_{MPP} (A)	8,21



Şekil 5.3. Oluşturulan FV hücre modeli için I-V ve P-V eğrileri



Şekil 5.4. FV hücre modeli içyapısı

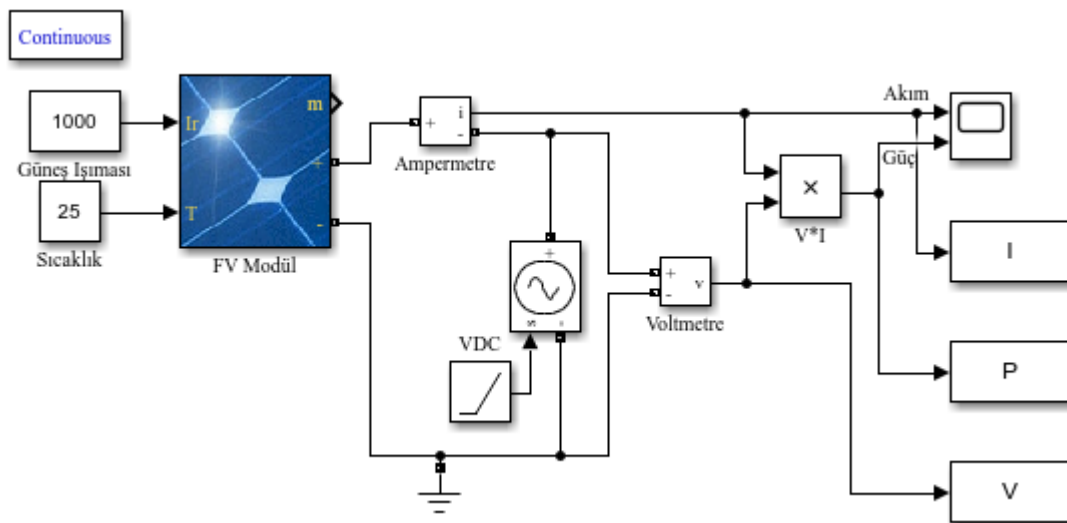
5.2. Güneş Işıması ve Sıcaklığın Çıkış Gücü Üzerindeki Etkisinin Gözlemlenmesi

Simülasyon çalışmalarının modül içeren kısımlarında MATLAB/SIMULINK yazılımında hazır olarak bulunan “PV Array” modeli kullanılmıştır. Endüstride bulunan birçok FV modül üreticisinin ürettikleri modüller bu model içerisine aktarılmıştır. Çalışmada Tablo 5.2.’deki parametrelere sahip FV modül kullanılmıştır.

Tablo 5.2. Simülasyon için kullanılan modüle ait veri sayfası

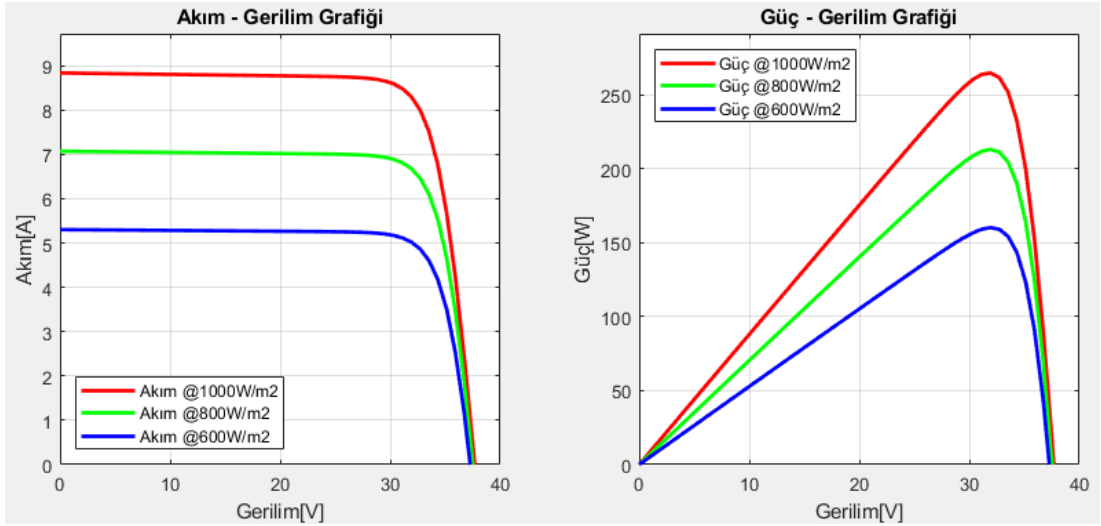
Parametre	Değer
Modül	Tata Power Solar Systems TP250MBZ
Maksimum güç P_{MPP} (W)	249
Hücre sayısı	60
Açık devre gerilimi V_{OC} (V)	36,8
Kısa devre akımı I_{SC} (A)	8,83
Maksimum güçteki gerilim V_{MPP} (V)	30
Maksimum güçteki akım I_{MPP} (A)	8,3
V_{OC} için sıcaklık katsayısı (%/°C)	-0,33
I_{SC} için sıcaklık katsayısı (%/°C)	0,063805

Bir modül içeren FV sistem üzerinden eşit sıcaklık ve farklı güneş ışması ile eşit güneş ışması ve farklı sıcaklık değerleri kullanılarak Şekil 5.5.’deki devre ile güneş ışması ve sıcaklığın sisteme etkileri incelenmiştir.



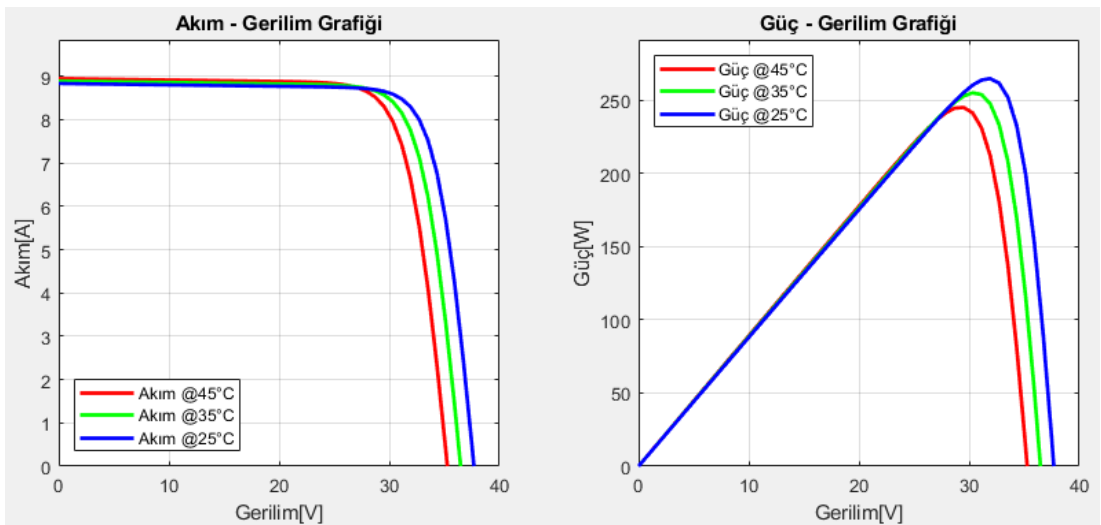
Şekil 5.5. FV modül test devresi

Güneş ışımalarının etkisi incelenirken modülün 25 °C eşit sıcaklık ve 1000, 800 ve 600 W/m² güneş ışımadaki çıktıları ele alınmıştır ve bu durumlar için I-V ve P-V eğrileri Şekil 5.6.'da verilmiştir. Güneş ışması arttıkça kısa devre akımı ciddi oranda artmaktadır. Bunun sonucu olarak çıkış gücünde de büyük bir artış gözlenmektedir.



Şekil 5.6. Eşit sıcaklıkta farklı güneş ışmaları için I-V ve P-V eğrileri

Sıcaklığın etkisi incelenirken ise 1000 W/m² eşit güneş ışması ve 25, 35 ve 45 °C sıcaklıkları ele alınmıştır. Bu durumlar için I-V ve P-V eğrileri Şekil 5.7.'deki gibidir. Sıcaklığın artmasıyla açık devre gerilimi azalmakta ve bunun sonucu olarak maksimum güç azalmaktadır.



Şekil 5.7. Eşit güneş ışımada farklı sıcaklıklar için I-V ve P-V eğrileri

5.3. Kısmi Gölgeleme Koşullarında Çıkış Gücündeki Değişimler

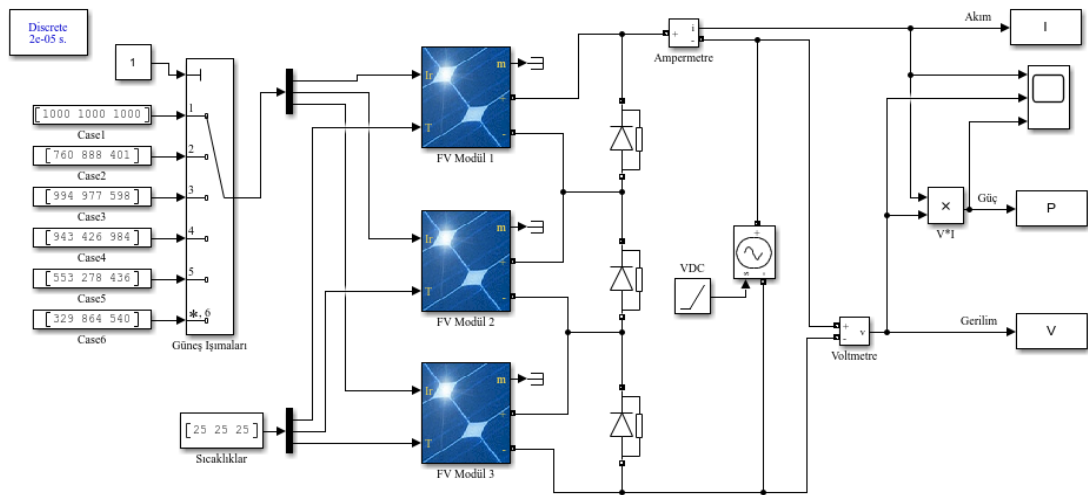
Kısmi gölgelemenin çıkış gücüne etkilerini görmek için seri bağlı 3 modülden oluşan dizi oluşturulup benzetim için Şekil 5.8. devresi üzerinde çalışılmıştır. Tablo 5.3.'deki kısmi gölgelemeli güneş ışımaları modüllere uygulanarak Şekil 5.9. ila Şekil 5.14.'deki gibi dizi çıkışındaki I-V ve P-V eğrileri elde edilmiştir.

KGD-1'de modüller eşit güneş ışması aldıklarında P-V eğrisinde yalnızca bir tepe noktası oluşmakta ve bu nokta hem yerel hem de global MGN olmaktadır. Ancak diğer durumlarda modüller gölgelemeden dolayı farklı güneş ışmalarına maruz kaldıklarından P-V eğrisinde birden fazla tepe noktası oluşturmakta ve bunlardan en büyüğü global MGN ve diğerleri lokal MGN olmaktadır.

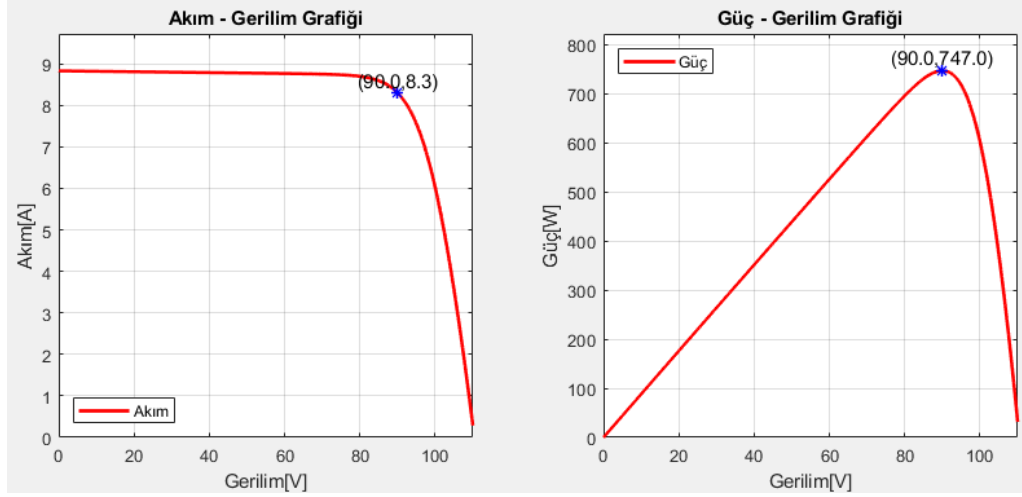
Tablo 5.3. Kısmi gölgeleme koşulları

KGD	Modül 1 [W/m ²]	Modül 2 [W/m ²]	Modül 3 [W/m ²]	Maksimum Güç [W]
KGD-1	1000	1000	1000	747
KGD-2	760	888	401	391,4
KGD-3	994	977	598	496
KGD-4	943	426	984	472,1
KGD-5	553	278	436	229,4
KGD-6	329	864	540	286,4

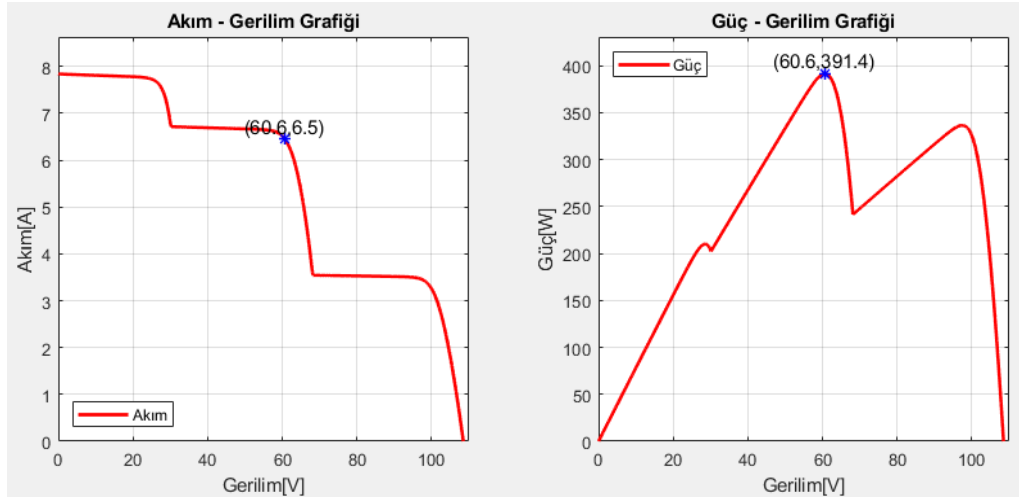
KGD: Kısmi Gölgeleme Durumu



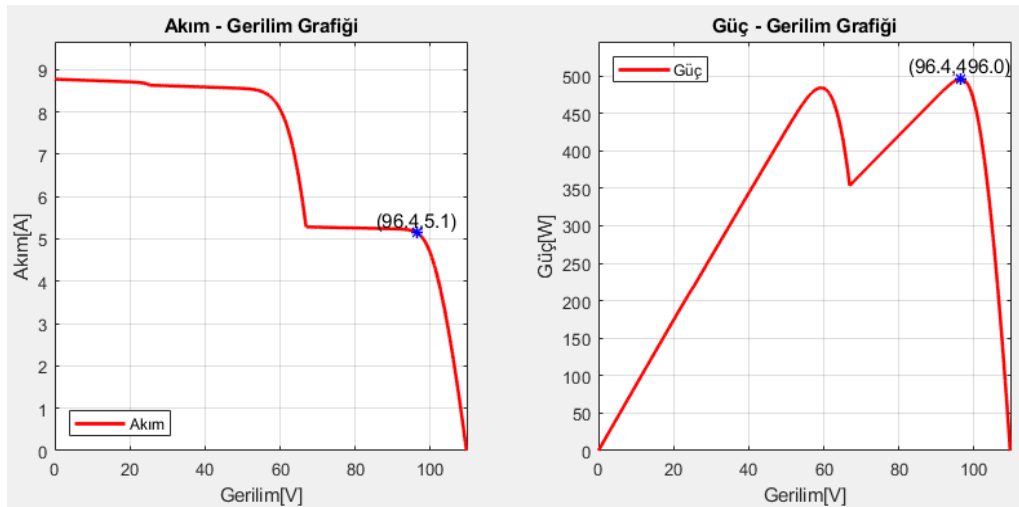
Şekil 5.8. Kısmi gölgeleme testi için oluşturulan devre



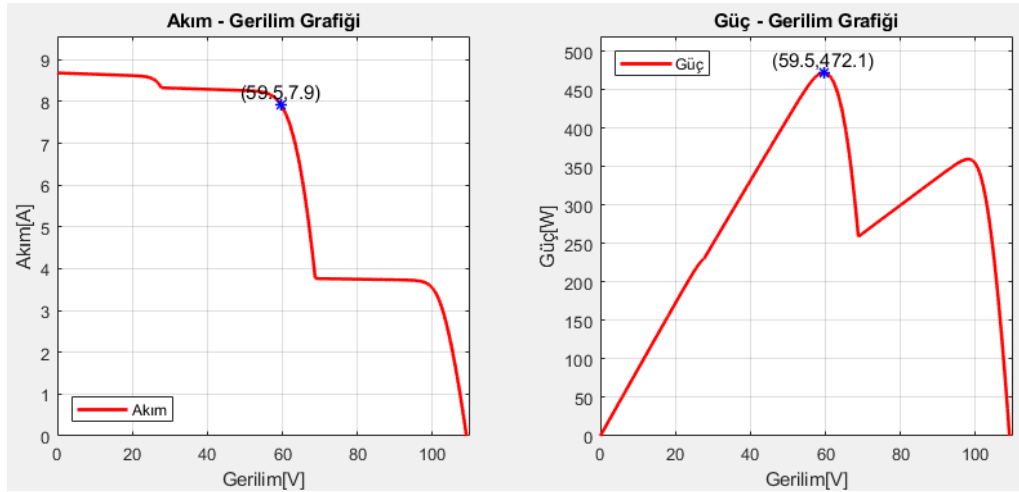
Şekil 5.9. KGD-1 durumunda FV dizinin I-V ve P-V eğrileri



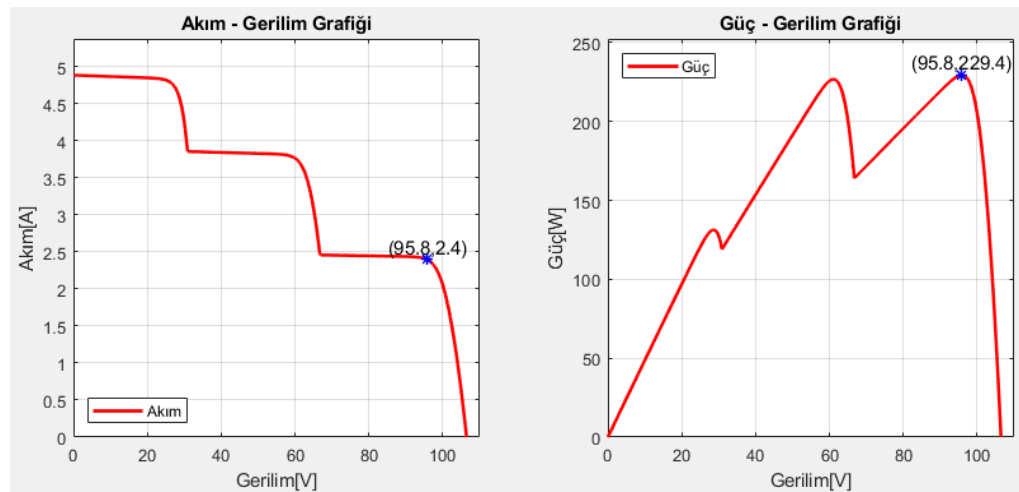
Şekil 5.10. KGD-2 durumunda FV dizinin I-V ve P-V eğrileri



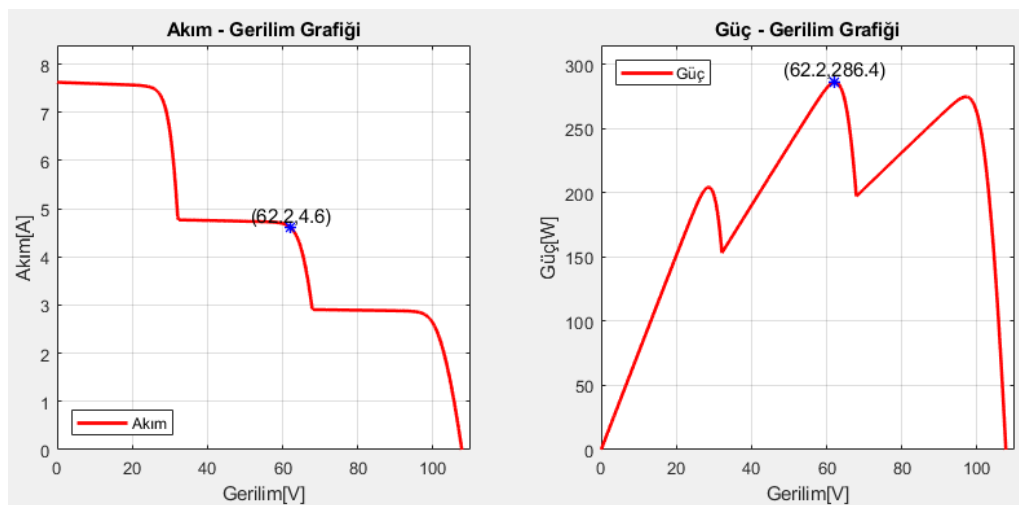
Şekil 5.11. KGD-3 durumunda FV dizinin I-V ve P-V eğrileri



Şekil 5.12. KGD-4 durumunda FV dizinin I-V ve P-V eğrileri



Şekil 5.13. KGD-5 durumunda FV dizinin I-V ve P-V eğrileri

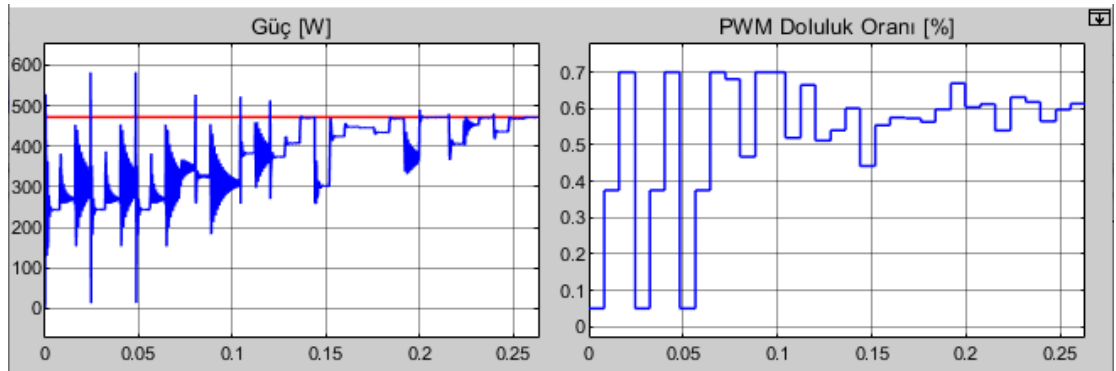


Şekil 5.14. KGD-6 durumunda FV dizinin I-V ve P-V eğrileri

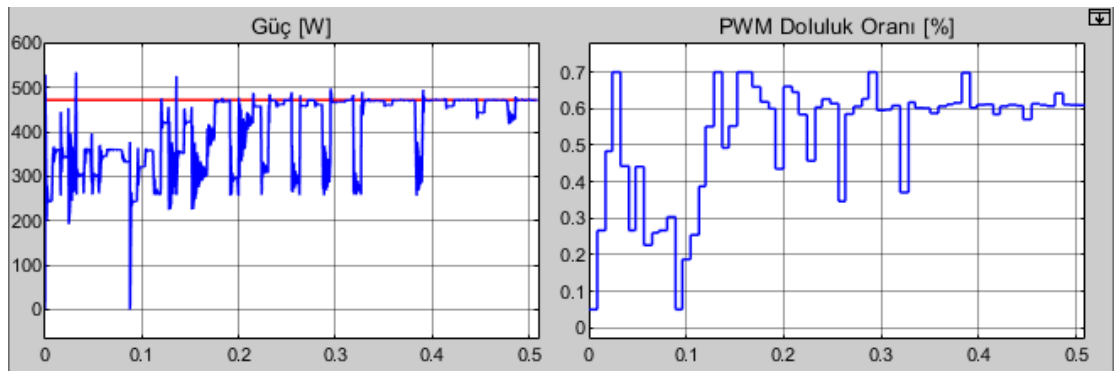
5.4. Sezgisel Optimizasyon Algoritmaları için Birey Sayılarının Seçimi

Optimizasyon algoritmalarının performansı algortmada kullanılan birey sayısına (n) göre değişiklik gösterebilmektedir. Algoritmanın sürekli hal değeri yani tepe noktasını bulmasındaki hata oranı ve yerleşme süresinde farklılıklar oluşturabilmektedir. Tez çalışmasında kullandığımız PSO, GKO, YAO ve ABO algoritmaları için birey sayısının 3 ve 4 olduğu durumlarda elde edilen maksimum güç ve yerleşme süreleri Şekil 5.15. ile Şekil 5.30.'deki gibi elde edilmiş ve bu grafiklerdeki veriler Tablo 5.4.'e işlenmiştir.

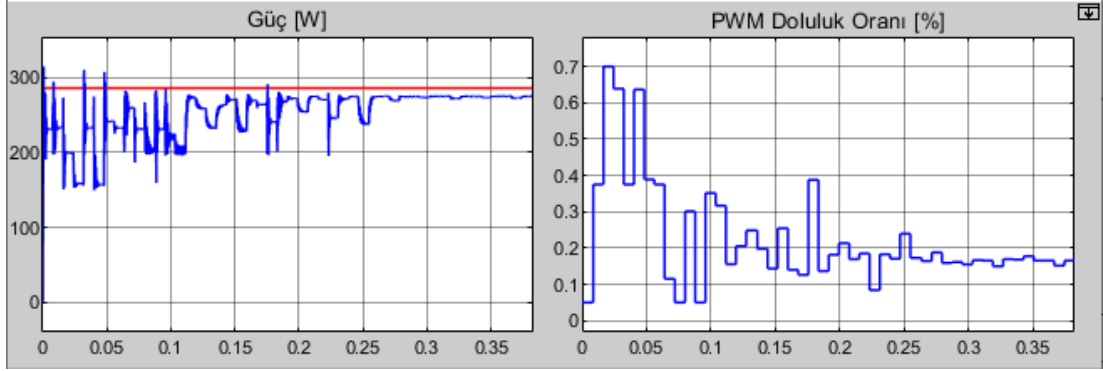
Tablodaki veriler ve grafikler değerlendirildiğinde; PSO algoritmasında her iki gölgelenme durumu için $n=3$ iken algoritmanın MGN'yi bulması $n=4$ olduğu durumdakine göre daha kısa sürmektedir. Ancak KGD-6 ve $n=3$ iken algoritma GMGN yerine LMGN'yi bulmaktadır. Bu yüzden PSO için $n=4$ olarak seçilmiştir.



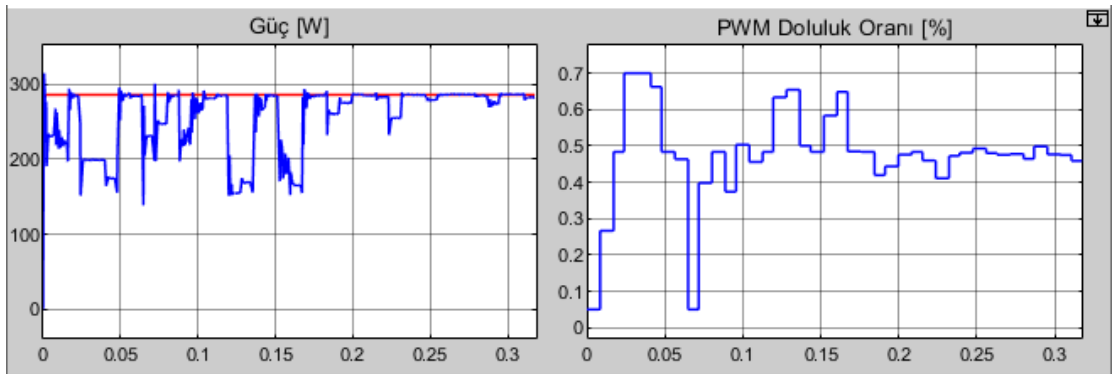
Şekil 5.15. PSO için KGD-4 ve $n=3$ iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi



Şekil 5.16. PSO için KGD-4 ve $n=4$ iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi

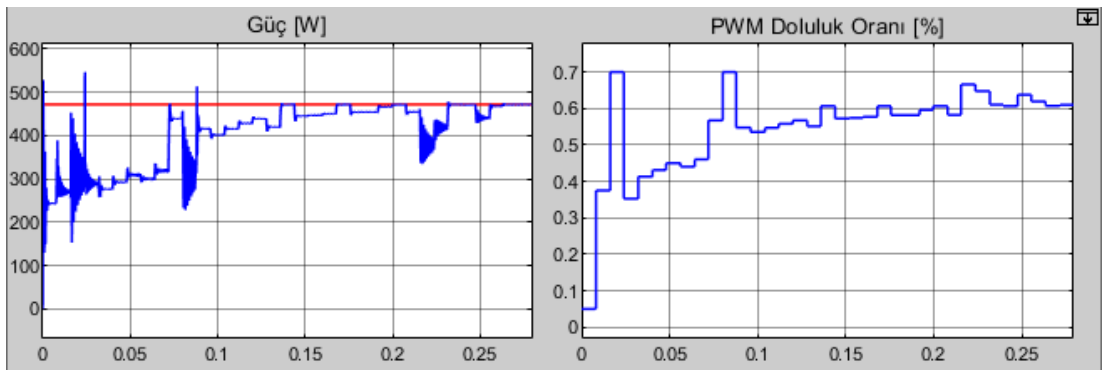


Şekil 5.17. PSO için KGD-6 ve $n=3$ iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi

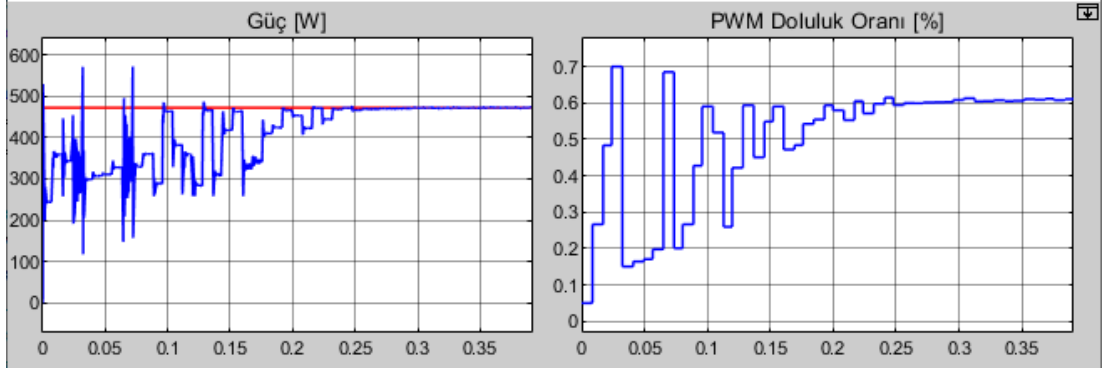


Şekil 5.18. PSO için KGD-6 ve $n=4$ iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi

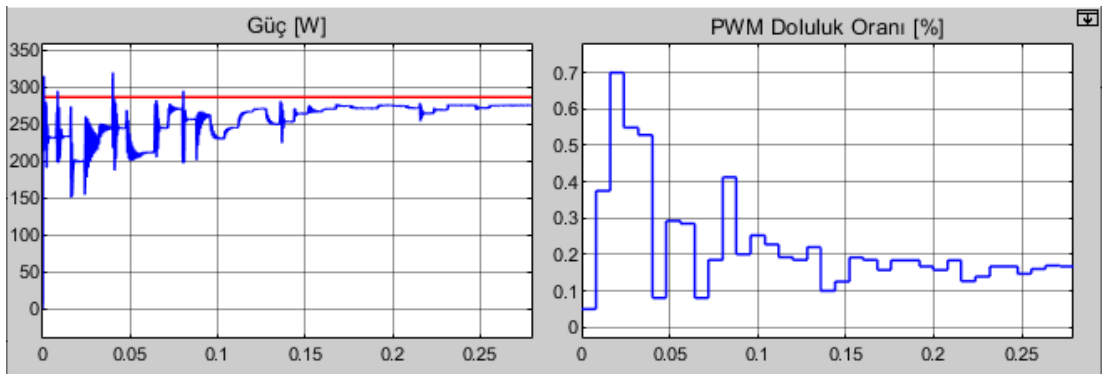
GKO'da KGD-4 iken her iki n değeri için algoritma GMGN'ye ulaşmakta ancak $n=3$ iken bu süre daha kısa olmaktadır. KGD-6 iken ise $n=3$ olduğunda algoritma LMGN'ye ulaşmakta ve hatalı sonuç elde edilmektedir. Bu yüzden daha düzgün sonuç verecek şekilde birey sayısı 4 olarak seçilmiştir.



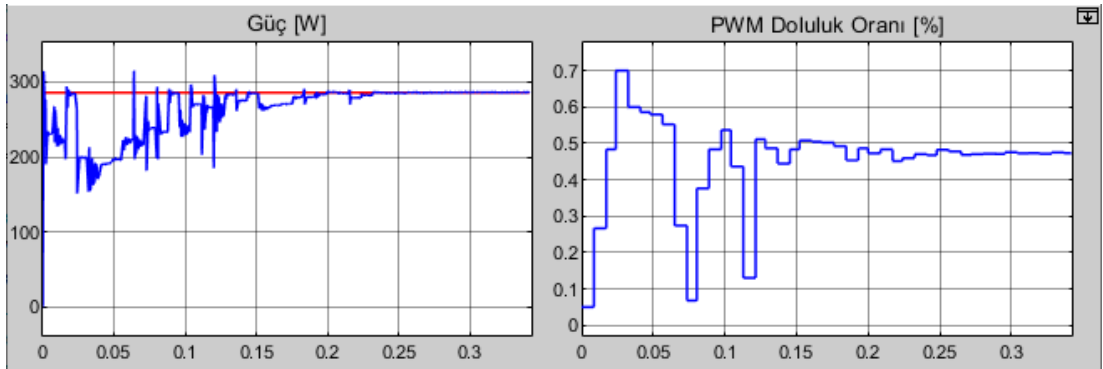
Şekil 5.19. GKO için KGD-4 ve $n=3$ iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi



Şekil 5.20. GKO için KGD-4 ve $n=4$ iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi

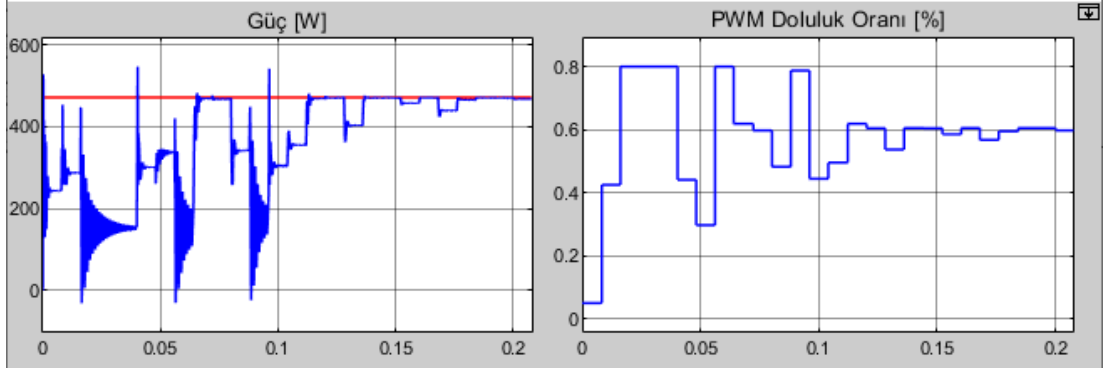


Şekil 5.21. GKO için KGD-6 ve $n=3$ iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi

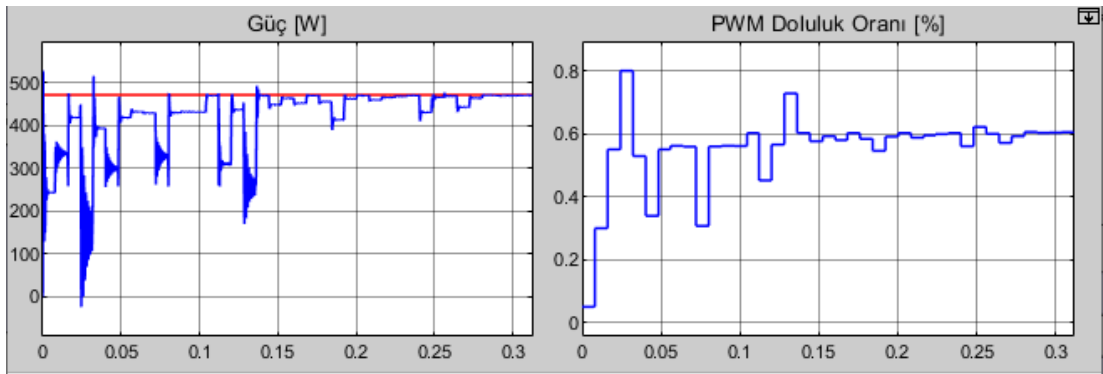


Şekil 5.22. GKO için KGD-6 ve $n=4$ iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi

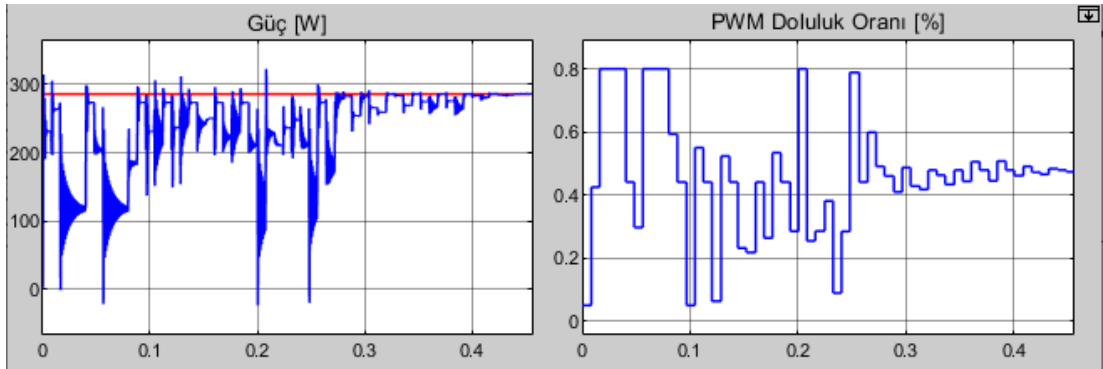
YAO algoritması KGD-6 ve $n=4$ durumunda LMGN'ye, $n=3$ olduğunda GMGN'ye ulaşmaktadır. KGD-4 karşılaştırmasında da $n=3$ durumu daha iyi sonuçlar verdiği için YAO algoritması için birey sayısı 3 olarak belirlenmiştir.



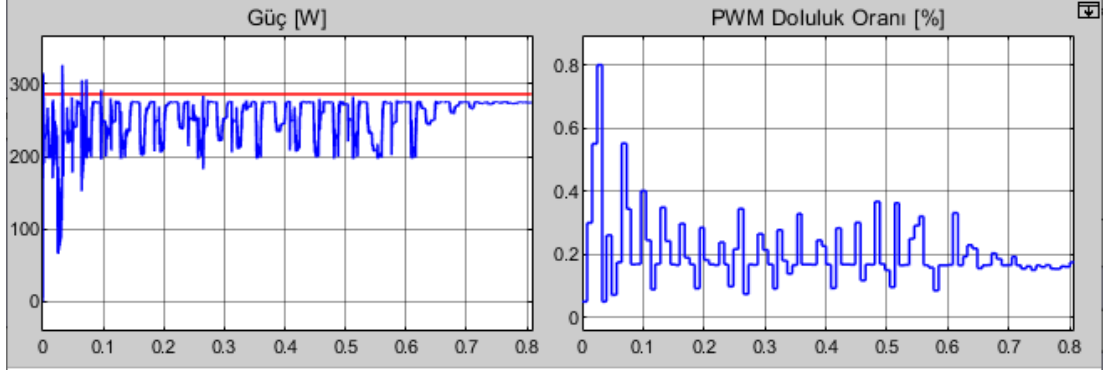
Şekil 5.23. YAO için KGD-4 ve $n=3$ iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi



Şekil 5.24. YAO için KGD-4 ve $n=4$ iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi

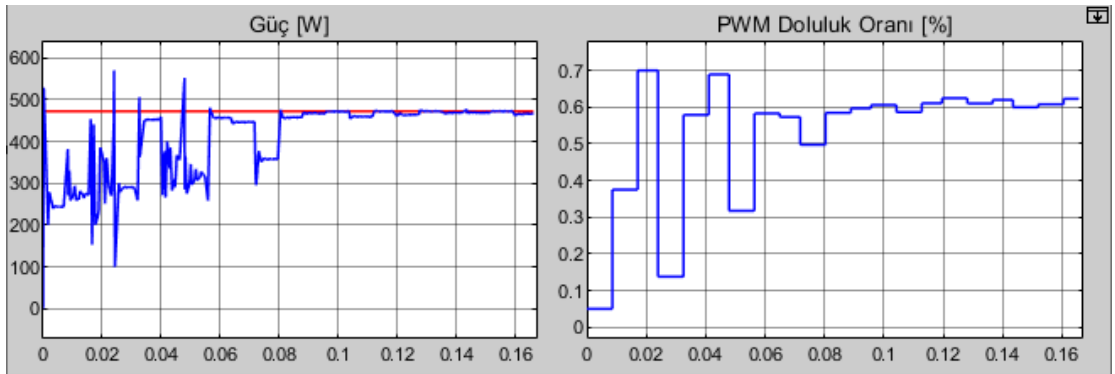


Şekil 5.25. YAO için KGD-6 ve $n=3$ iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi

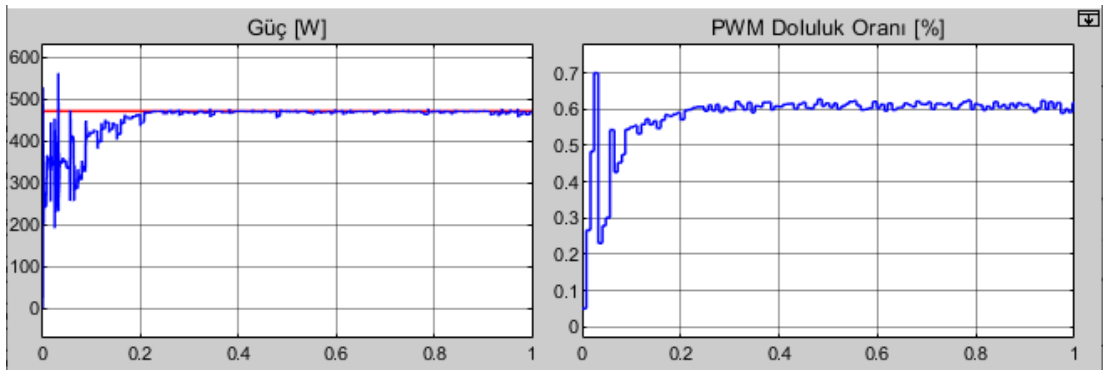


Şekil 5.26. YAO için KGD-6 ve $n=4$ iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi

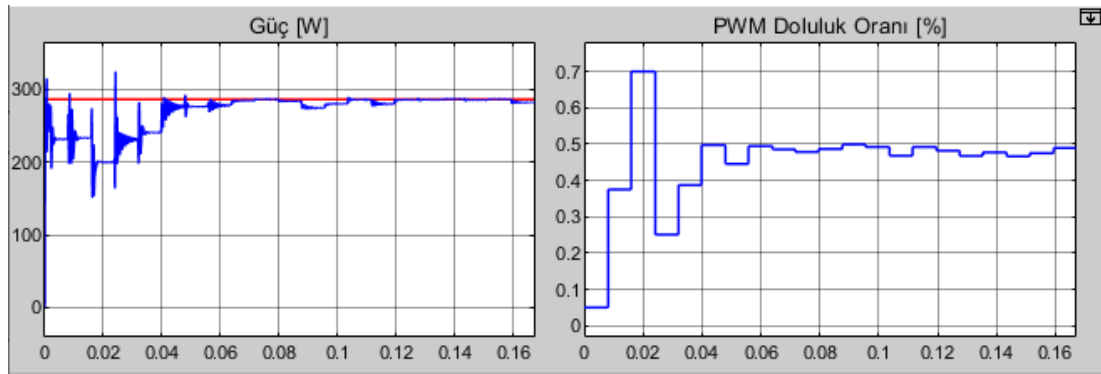
ABO için $n=4$ durumunda MGN'ye yaklaşılsa da simülasyon süresince güçteki salınımlar devam etmektedir. Her iki gölgelenme durumu için $n=3$ durumunda daha verimli bir sonuç elde edildiğinden algoritmada kullanılan birey sayısı 3 olarak seçilmiştir.



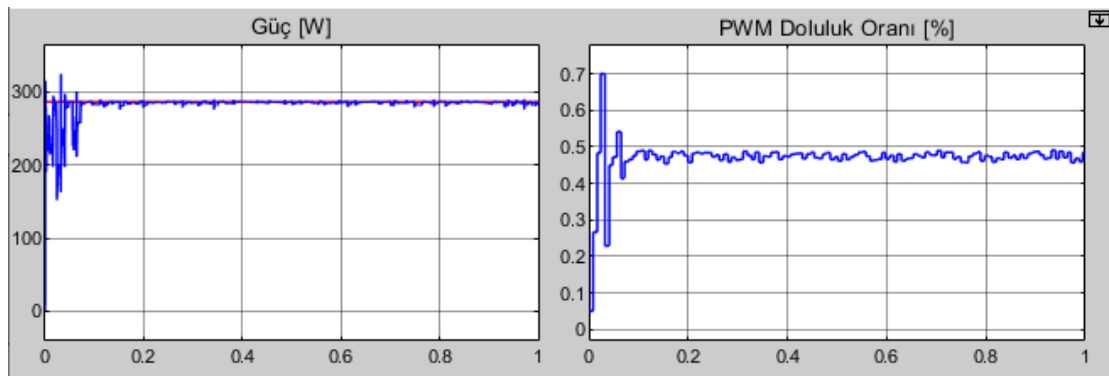
Şekil 5.27. ABO için KGD-4 ve $n=3$ iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi



Şekil 5.28. ABO için KGD-4 ve $n=4$ iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi



Şekil 5.29. ABO için KGD-6 ve n=3 iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi



Şekil 5.30. ABO için KGD-6 ve n=4 iken güç ve PWM doluluk oranı eğrisi

Tablo 5.4. Farklı gölgelenme ve birey sayılarına göre güç ve yerleşme süresi

Yöntem	KGD	Birey Sayısı	Teorik Güç [W]	Benzetim Gücü [W]	Yerleşme Süresi [s]	İterasyon Sayısı	Seçilen Birey Sayısı
PSO	4	3	472,1	471,5	0,263	33	4
		4		472	0,509	64	
	6	3	286,4	275	0,382	48	
		4		286,4	0,318	40	
GKO	4	3	472,1	471,9	0,279	35	4
		4		471,4	0,391	49	
	6	3	286,4	275	0,279	35	
		4		286,2	0,343	43	
YAO	4	3	472,1	467,9	0,208	26	3
		4		471,1	0,312	39	
	6	3	286,4	286,3	0,456	57	
		4		274,7	0,808	101	
ABO	4	3	472,1	471,8	0,167	21	3
		4		469,5	>1	>125	
	6	3	286,4	286,4	0,167	21	
		4		285	>1	>125	

5.5. MGNT için Benzetim Senaryoları

Tablo 5.3.'de verilen kısmi gölgelenme durumları kullanılarak iki farklı senaryoda optimizasyon algoritmaları test edilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Her bir senaryo için 1.5 s'lik benzetim süresi 3 eşit parçaya bölünerek her 0.5 s'lik süre sonunda farklı bir kısmi gölgelenme durumlarına geçiş yapılmıştır. Optimizasyon algoritmaları için Tablo 5.5., senaryolar için Tablo 5.6.'deki durumlar, yükseltici dönüştürücü için Tablo 5.7. ve Şekil 5.31.'deki benzetim devresi kullanılmıştır.

Tablo 5.5. Optimizasyon algoritmaları için algoritma sabitleri

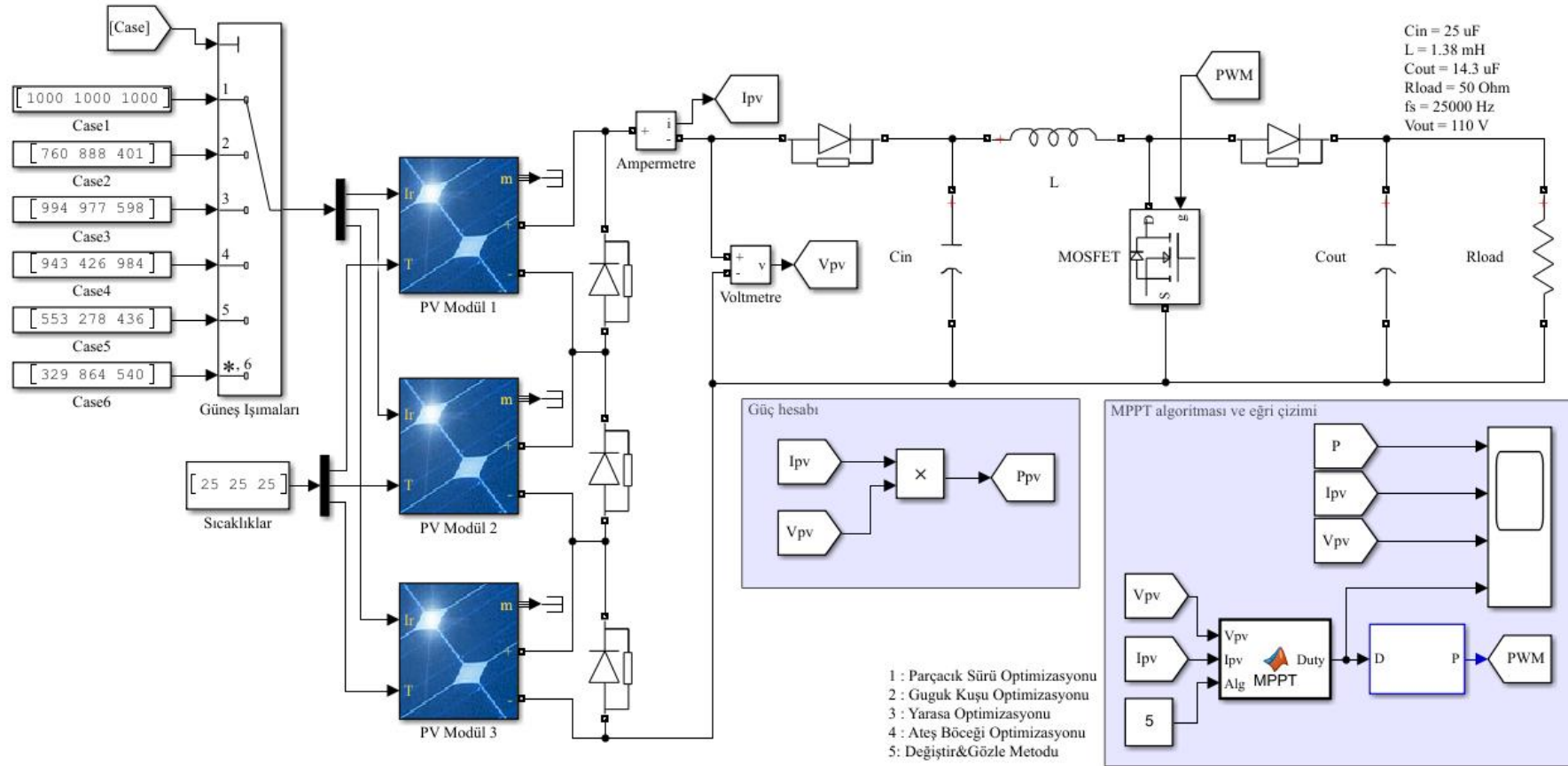
PSO		GKO		YAO		ABO	
Parametre	Değer	Parametre	Değer	Parametre	Değer	Parametre	Değer
n	4	n	4	n	3	n	3
ω	0,4	β	1,5	r_0	0,5	α	0,03
c_1	1,2	k	0,9	A_0	0,5	β_0	1
c_2	2			γ	0,5	γ	5

Tablo 5.6. Test edilen senaryolar

Senaryo	0 – 0.5 sn arası	0.5 – 1.0 sn arası	1.0 – 1.5 sn arası
Senaryo 1	KGD-1	KGD-5	KGD-3
Senaryo 2	KGD-2	KGD-6	KGD-4

Tablo 5.7. Yükseltici dönüştürücü parametreleri

Parametre	Değeri
C_{in}	25 uF
L	1.38 mH
C_{out}	14,3 uF
$R_{yük}$	50 Ohm
f_s	25000 Hz
V_{out}	110 VDC



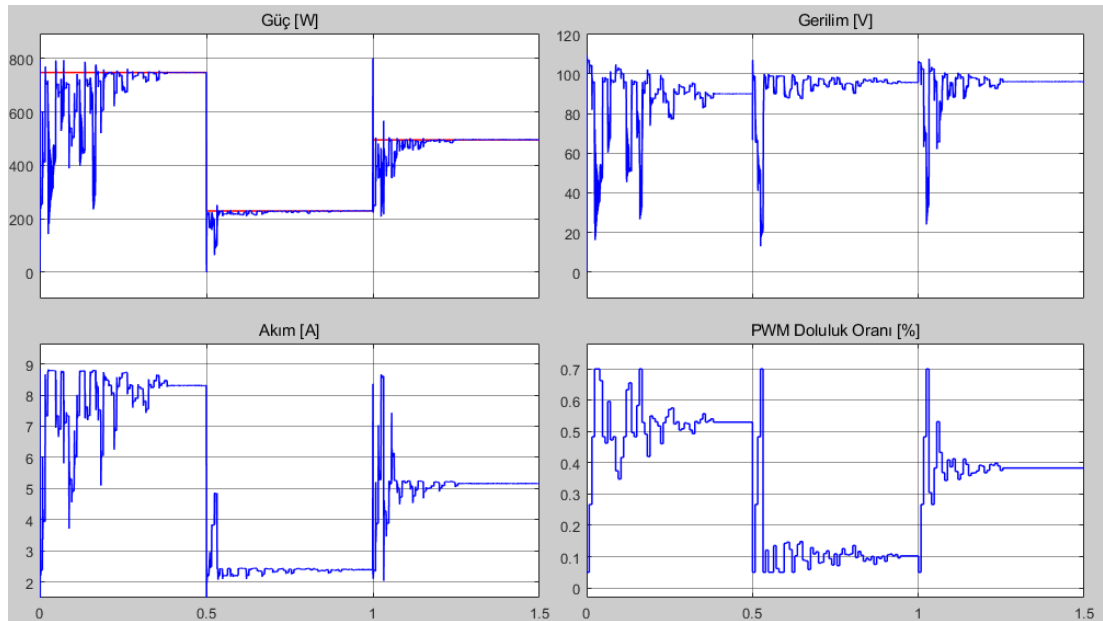
Şekil 5.31. Benzetim devresi

5.5.1. Senaryo-1 çıktıları

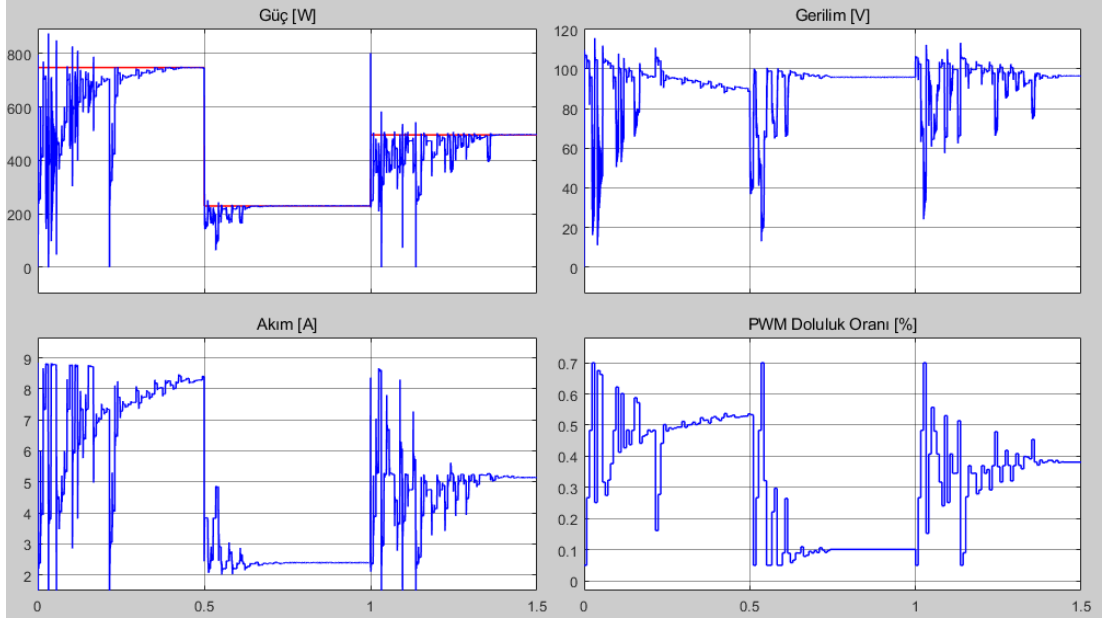
KGD-1, KGD-5 ve KGD-3 sırasıyla oluşturulan senaryoda sezgisel algoritmalar GMGN'ye ulaşmış (Şekil 5.32., Şekil 5.33., Şekil 5.34. ve Şekil 5.35.) ancak D&G metodu KGD-5'te LMGN'ye ulaşmıştır (Şekil 5.36). ABO algoritmasında GMGN'ye ulaşma süresi kısa olduğundan benzetim süresi boyunca ortalama olarak en yüksek güç elde edilen algoritma ABO olmuştur. Çıkış gücündeki değişimleri daha detaylı görebilmek için 0,5 ile 0,8 s arasındaki güç değerleri yakınlaştırılmış olarak Şekil 5.37.'de gösterilmektedir. Senaryo-1 için elde edilen maksimum güçler Tablo 5.8.'de verilmiştir. Tablo 5.8.'de P1, P2 ve P3 algoritmaların MGN'ye yerleştikten sonra elde edilen güç değerleridir. P_{ort} ise benzetim süresi boyunca elde edilen ortalama gücü ifade etmektedir.

Tablo 5.8. Senaryo-1'e göre elde edilen güç değerleri

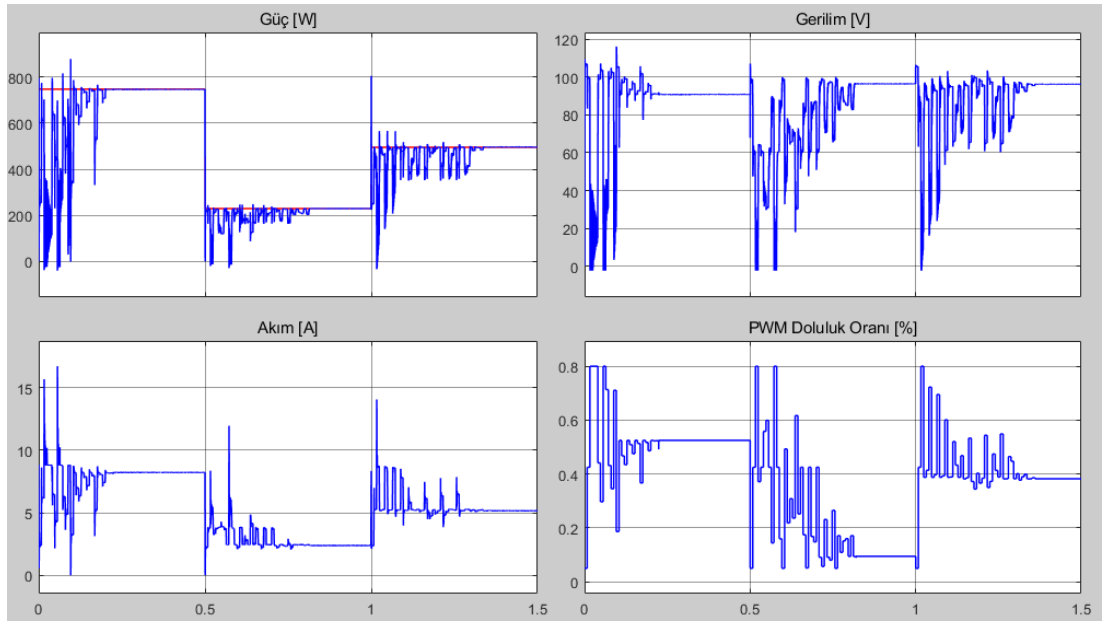
Algoritma	P1	P2	P3	P_{ort}
Teorik	747,00	229,4	496,00	-
PSO	746,78	228,58	495,93	500,99
GKO	744,16	229,43	496,05	482,09
YAO	746,07	229,05	496,08	491,47
ABO	746,77	229,03	495,93	531,46
D&G	746,71	226,85	496,00	508,30



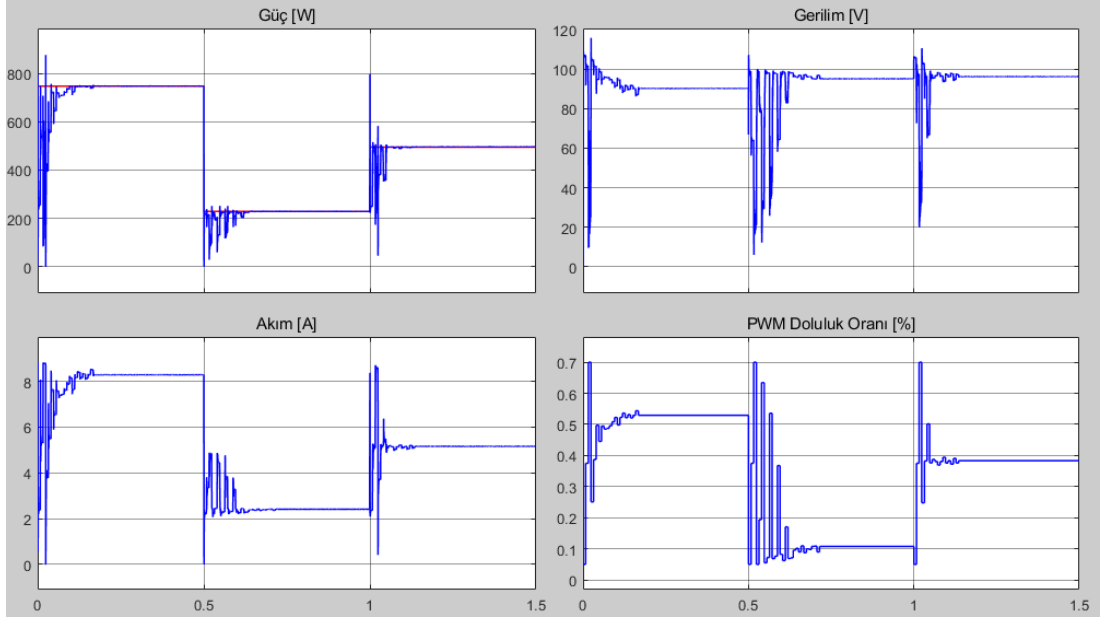
Şekil 5.32. Senaryo-1 ve PSO için benzetim çıktıları



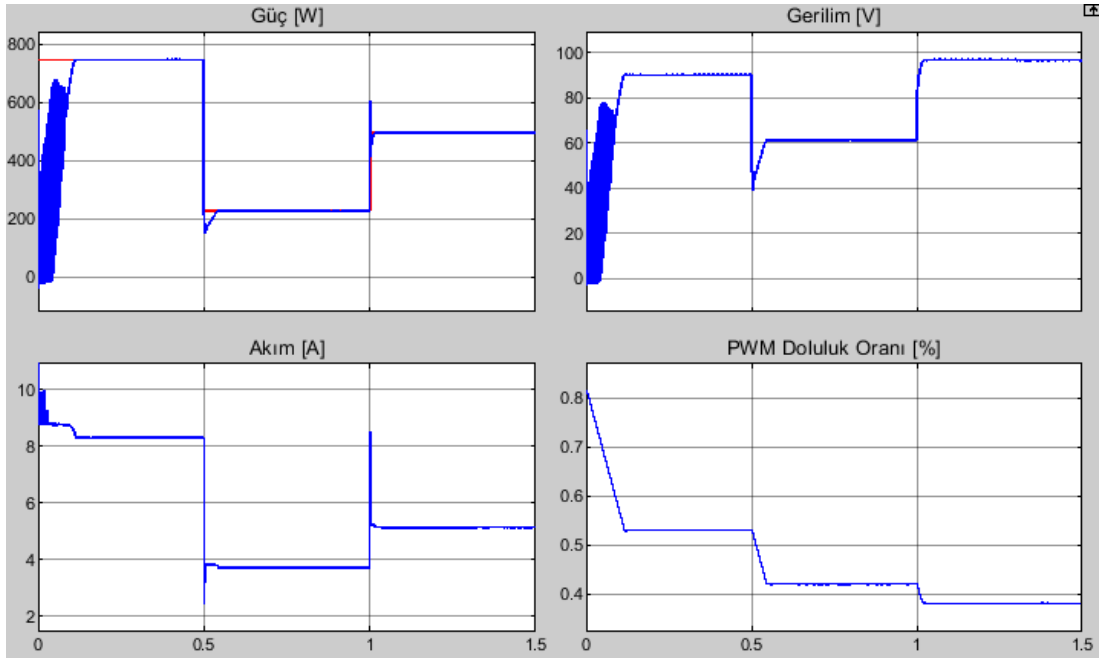
Şekil 5.33. Senaryo-1 ve GKO için benzetim çıktıları



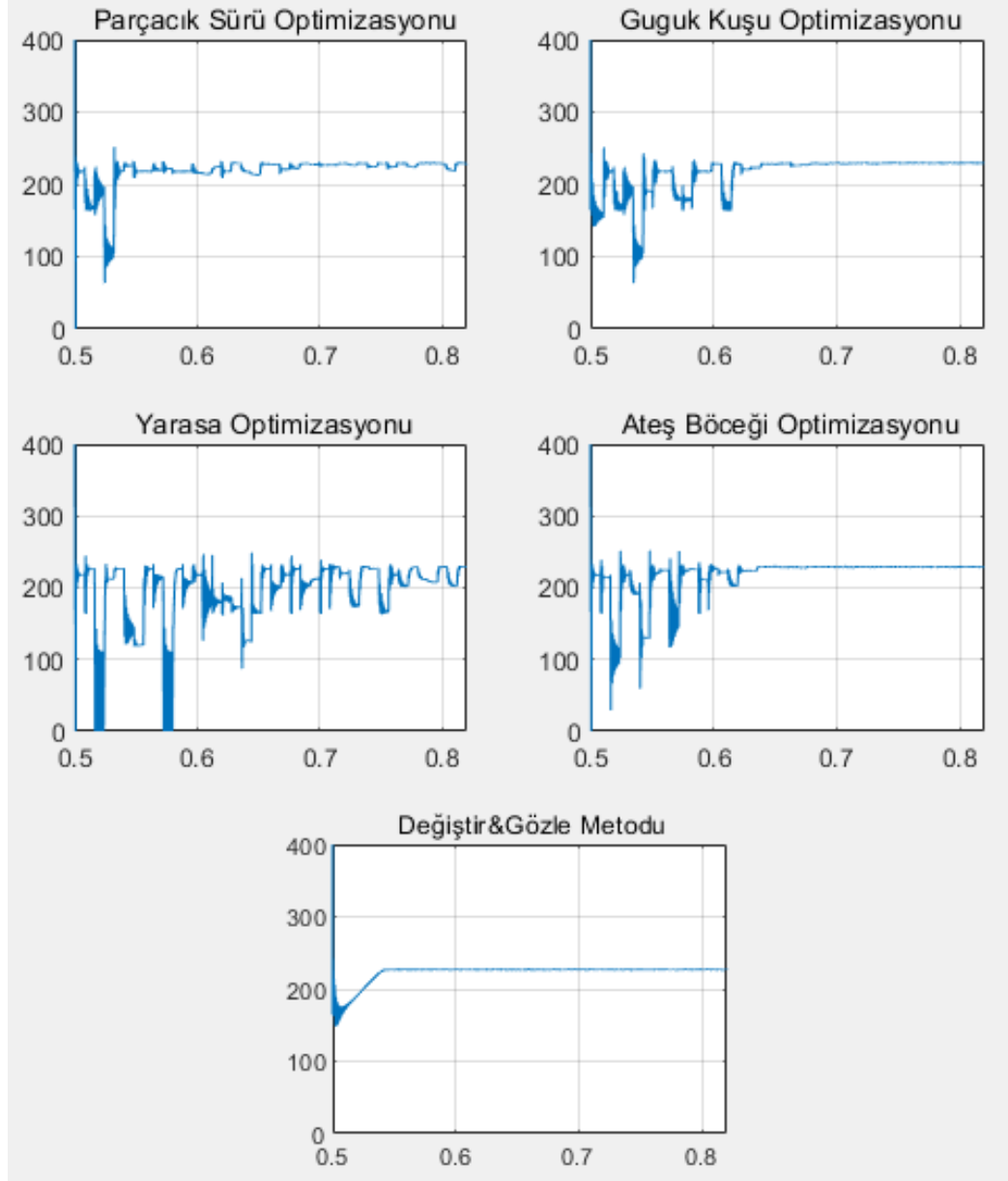
Şekil 5.34. Senaryo-1 ve YAO için benzetim çıktıları



Şekil 5.35. Senaryo-1 ve ABO için benzetim çıktıları



Şekil 5.36. Senaryo-1 ve D&G metodu için benzetim çıktıları



Şekil 5.37. Senaryo-1 için 0,5 – 0,8 s arası FV sistem çıkış gücü

5.5.2. Senaryo-2 çıktıları

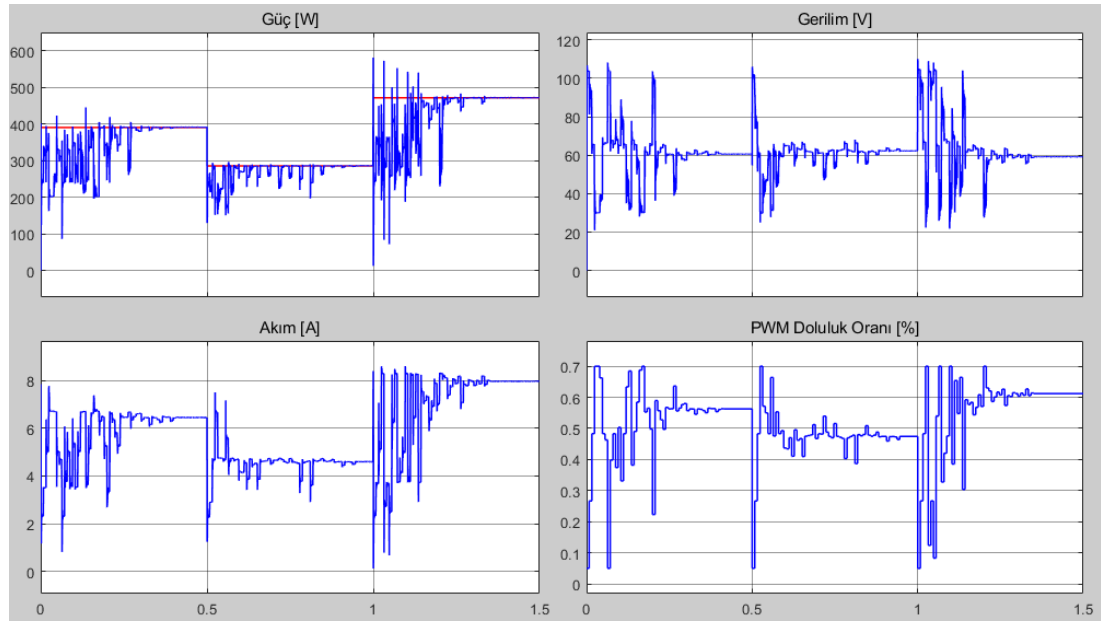
KGD-2, KGD-6 ve KGD-4 sırasıyla oluşturulan senaryoda da sezgisel algoritmalar GMGN'ye ulaşmış (Şekil 5.38., Şekil 5.39., Şekil 5.40., Şekil 5.41.), D&G metodu KGD-2 ve KGD-6 için LMGN'ye ulaştıktan sonra GMGN'ye ulaşamamıştır (Şekil 5.42.). GKO algoritması 1,5 s sonunda güçteki salınımlara devam etmiştir. Senaryo-2 için de ABO algoritmasında GMGN'ye ulaşma süresi kısa olduğundan benzetim süresi boyunca ortalama olarak en yüksek güç elde edilen algoritma ABO olmuştur.

Algoritmalar MGN'ye ulaştığında hata oranı en düşük olan PSO algoritması olmuştur. Senaryo-1 için elde edilen maksimum güçler Tablo 5.9.'da verilmiştir.

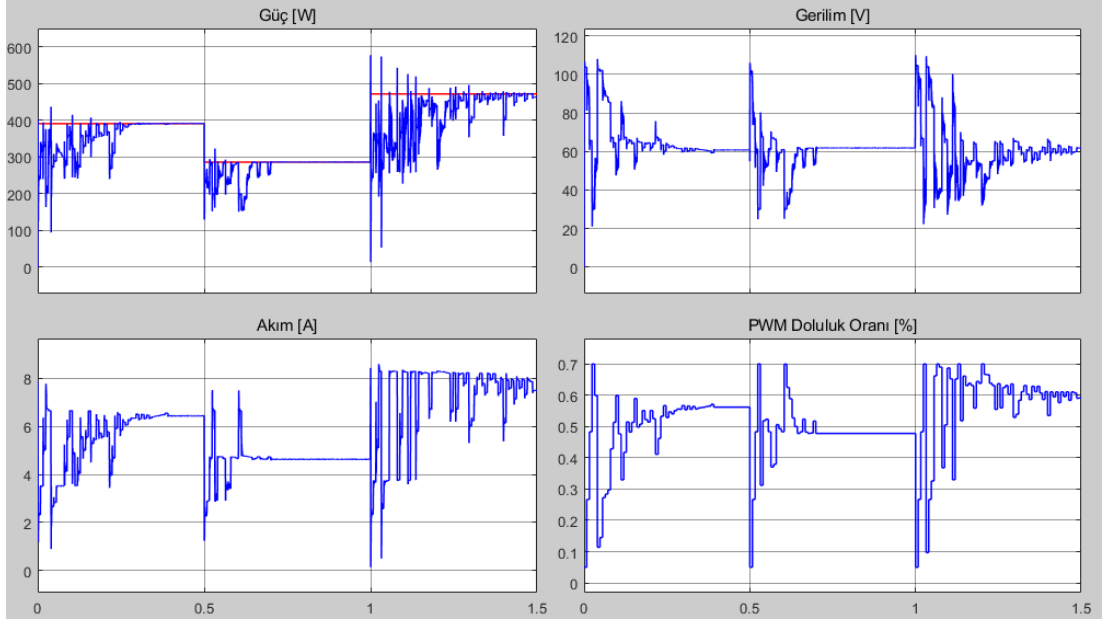
Tablo 5.9.'da P1, P2 ve P3 algoritmaların MGN'ye yerleştikten sonra elde edilen güç değerleridir. P_{ort} ise benzetim süresi boyunca elde edilen ortalama gücü ifade etmektedir.

Tablo 5.9. Senaryo-2'ye göre elde edilen güç değerleri

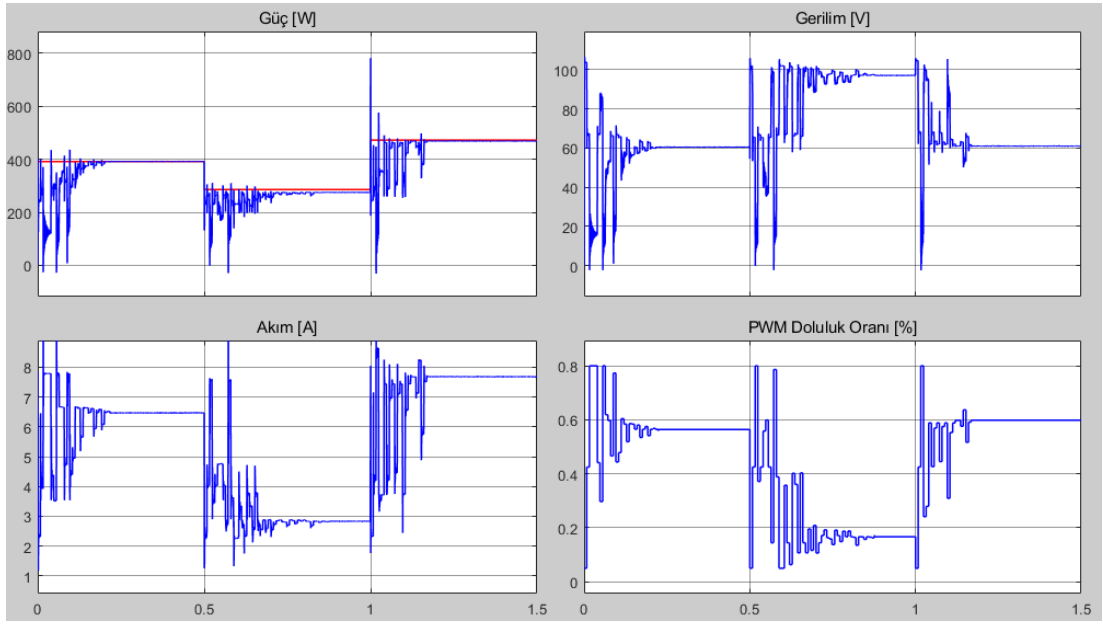
Algoritma	P1	P2	P3	Port
Teorik	391,4	286,4	472,1	-
PSO	391,22	286,40	471,63	362,19
GKO	391,18	286,26	467,57	364,35
YAO	391,18	275,05	468,28	365,21
ABO	387,64	286,23	468,96	377,63
D&G	210,20	204,70	471,80	210,40



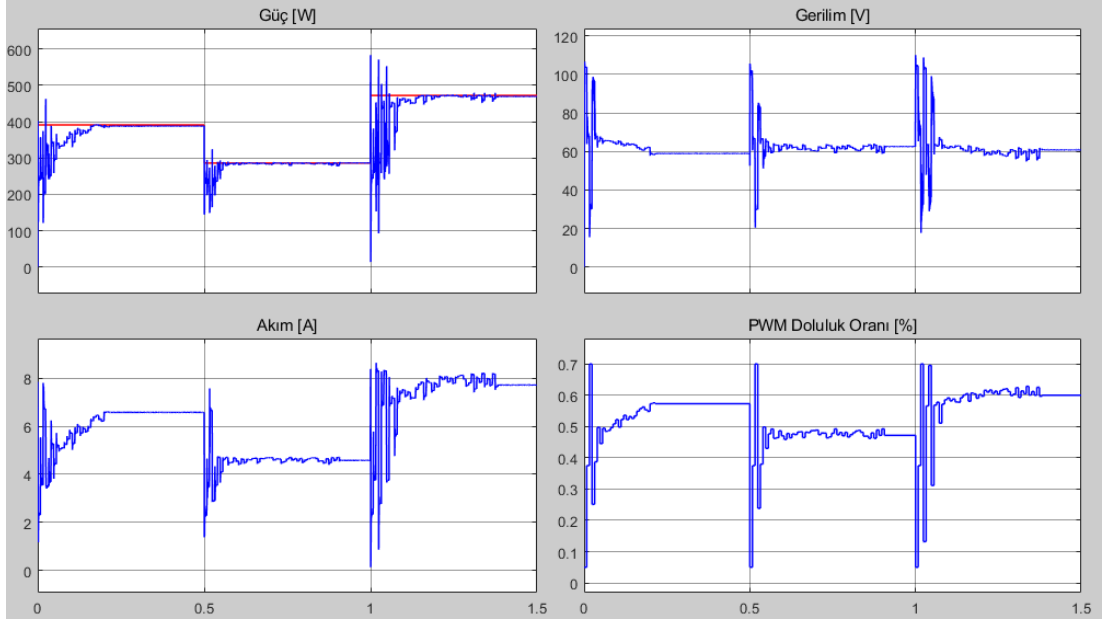
Şekil 5.38. Senaryo-2 ve PSO için benzetim çıktıları



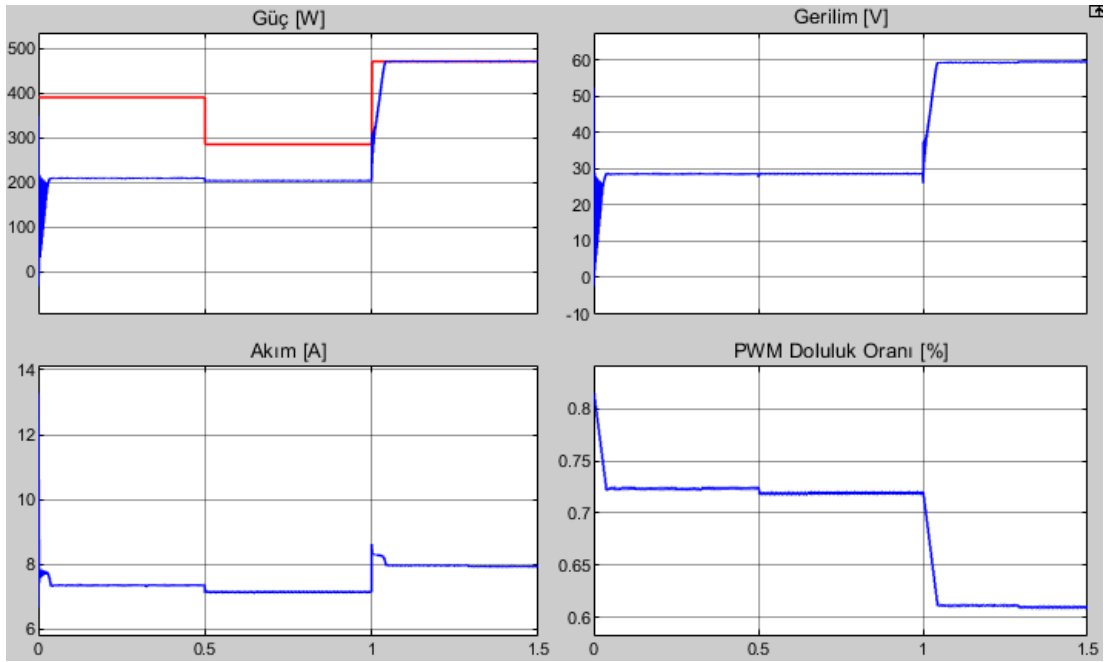
Şekil 5.39. Senaryo-2 ve GKO için benzetim çıktıları



Şekil 5.40. Senaryo-2 ve YAO için benzetim çıktıları



Şekil 5.41. Senaryo-2 ve ABO için benzetim çıktıları



Şekil 5.42. Senaryo-2 ve D&G metodu için benzetim çıktıları

5.6. Sonuçlar ve Öneriler

FV sistemlerde verim düşük ve kurulum maliyetleri yüksek olduğundan sistemin maksimum güç eğrisinde bulunan global MGN'nin izlenmesi önemlidir. Sistemde tüm modüller eşit güneş ışınımına maruz kaldığında klasik optimizasyon yöntemleriyle

GMGN bulunabilmektedir. Ancak modüller çevresel koşullardan dolayı farklı güneş ışınımlarına maruz kaldığında birden fazla MGN olduğundan bu gibi durumlarda klasik optimizasyon yöntemleri efektif sonuçlar vermemekte ve hatalı olarak LMGN'yi bulabilmektedir. Bu problemi gidermek için sezgisel optimizasyon yöntemlerine başvurulmaktadır. MGNT için bir çok sezgisel optimizasyon tekniği kullanılabilir. Bu çalışmada PSO, GKO, BAO ve ABO algoritmaları tercih edilmiştir.

Tez çalışması için literatürde konu ile ilgili yapılmış çalışmaların incelenmesi, sistem modelinin oluşturulması, DA-DA dönüştürücü parametrelerinin belirlenmesi, MGNT algoritmalarının oluşturulması ve son adımda benzetim çalışmalarının yapılması sırası izlenmiştir.

Yapılan benzetim çalışmaları sonucunda Şekil 5.36. ve Şekil 5.42.'den görüldüğü gibi D&G metodunda güç eğrisinde salınımlar çok az olmasına rağmen bu metot bazı KGD'lerde GMGN'yi bulamamıştır. D&G metodunun dezavantajı olduğu gibi sezgisel optimizasyon algoritmalarının PWM doluluk oranında ani değişimlere sebep olduğundan FV sisteme doğru akım akışına sebep olması gibi dezavantajı vardır. Bu durumu gidermek için FV sistem çıkışına Şekil 5.31.'daki gibi block diyotu yerleştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Sezgisel optimizasyon algoritmaları arasında MGN'ye ulaşma süresi bakımından ABO'nun en verimli algoritma olduğu görülmüştür. Bu çalışmada kullanılan FV sistem için kısmi gölgelenmenin 0,5 s'den daha kısa sürelerde değişim gösterdiği uygulamalarında ABO algoritmasının kullanılması önerilmektedir.

GMGN'ye ulaştıktan sonra teorik çıkış gücünden sapma değerlerine bakıldığında ise hata oranı en düşük PSO algoritması olmuştur. Yine bu çalışmada kullanılan FV sistem için kısmi gölgelenmenin 0,5 s'den daha uzun sürelerde değiştiği uygulamalarda ise PSO uygulamasının kullanılması önerilmektedir.

Bu çalışmadaki sonuçlara kıyasla daha iyi bir takip süresi ve MGN'ye ulaştıktan sonraki hatayı azaltmak için DA-DA dönüştürücü tarafında ya da MGNT algoritması tarafında değişiklik yapılabilir. Bunun için farklı bir DA-DA dönüştürücü kullanılabilir, seçilen optimizasyon algoritmalarının modifiye edilmiş versiyonları kullanılabilir ya da algoritmalar birbirleriyle sentezlenerek kullanılabilir.

KAYNAKÇA

- Ahmed, J., Salam, Z. 2014. A Maximum Power Point Tracking (MPPT) for PV system using Cuckoo Search with partial shading capability. *Applied Energy*, 119: 118-130.
- Anand, R., D, S., Kumar, B. 2020. Global Maximum Power Point Tracking for PV Array under Partial Shading using Cuckoo Search. 2020 IEEE 9th Power India International Conference (PIICON), Sonapat, 1-6.
- Arifoğlu, U. 2012. MATLAB 7.14 Simulink ve Mühendislik Uygulamaları, Alfa, 1-965
- Babaa, S. E., Armstrong, M., Pickert, V. 2014. Overview of maximum power point tracking control methods for PV systems. *Journal of Power and Energy Engineering*, 2(8): 59-72.
- Bozorg-Haddad, O., Solgi, M., Loáiciga, H. A. 2017. *Meta-Heuristic and Evolutionary Algorithms for Engineering Optimization*, John Wiley & Sons, 1-280.
- Brabazon, A., McGarraghy, S. 2018. *Foraging-inspired Optimisation Algorithms*, Springer, 1-434.
- Chaieb, H., Sakly, A. 2018. Review and comparison of BAT and PSO MPPT's based algorithms for photovoltaic system. *WSEAS Transactions on Power Systems*, 13: 108-117.
- Dilep, G., Singh, S. 2017. An improved particle swarm optimization based maximum power point tracking algorithm for PV system operating under partial shading conditions. *Solar Energy*, 158: 1006-1015.
- Erickson, R. W., Maksimović, D. 2020. *Fundamentals of Power Electronics*, Springer, 1-1050.
- Ezinwannea, O., Zhongwena, F., Zhijunb, L. 2016. Energy Performance and Cost Comparison of MPPT Techniques for Photovoltaics and other Applications. 3rd International Conference on Energy and Environment Research, Barcelona, 297-303.
- Faranda, R., Leva, S. 2008. Energy comparison of MPPT techniques for PV Systems. *WSEAS Transactions on Power Systems*, 6(3): 446-455.
- Femia, N., Petrone, G., Spagnuolo, G., Vitelli, M. 2013. *Power Electronics and Control Techniques for Maximum Energy Harvesting in Photovoltaic Systems*. CRC Press 1-310.

- Hsiao, Y.-T., Chen, C.-H. 2002. Maximum power tracking for photovoltaic power system. Conference Record of the 2002 IEEE Industry Applications Conference. 37th IAS Annual Meeting (Cat. No.02CH37344), Pittsburgh. 1035-1040.
- Işık, R. 2015. Fotovoltaik Dizilerin Kısmi Gölgeleme Durumunda Maksimum Güç Noktası Takibi Yapabilen Bir Algoritmanın Geliştirilmesi. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi.
- Ji, Y.-H., Kim, J.-G., Park, S.-H., Kim, J.-H., Won, C.-Y. 2009. C-language based PV array simulation technique considering effects of partial shading. IEEE International Conference on Industrial Technology, Churchill, 1-6.
- Kaya, K., Koç, E. 2015. Enerji Üretim Santralleri Maliyet Analizi. Mühendis ve Makina, 56(660): 61-68.
- Khaligh, A., Onar, O. C. 2010. Energy Harvesting Solar, Wind, and Ocean Energy Conversion Systems. CRC Press, 1-339.
- Kumar, K., Zindani, D., Davim, J. P. 2020. Optimizing Engineering Problems through Heuristic Techniques. CRC Press, 3-120.
- Lin Luo, F., Ye, H. 2017. Advanced DC/DC Converters. CRC Press, 1-867.
- Luque, A., Hegedus, S. 2003. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. Wiley, 1-1116.
- Madhanmohan, V. P., Nandakumar, M. 2018. Effects of partial shading in different PV module configurations with minimum interconnections. 2018 International Conference on Power, Instrumentation, Control and Computing (PICCC), Thrissur, 1-6.
- Magdaleno, R. S., S´anchez-P´erez, P. A., Cruz, J. L., Escobar, D. M., S´anchez-Ju´arez, A. 2018. Influence of partial shading on the power output of a solar cell and a PV module. 2018 IEEE 7th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion (WCPEC) (A Joint Conference of 45th IEEE PVSC, 28th PVSEC & 34th EU PVSEC), Hawaii, 1324-1327.
- McEvoy, A., Markvart, T., Castaner, L. 2012. Practical Handbook of Photovoltaics Fundamentals and Applications. Elsevier, 1-1172.
- Messenger, R. A., Ventre, J. 2005. Photovoltaic Systems Engineering. CRC Press, 1-414.
- Miyatake, M., Veerachary, M., Toriumi, F., Fujii, N., Ko, H. 2011. Maximum Power Point Tracking of Multiple Photovoltaic Arrays: A PSO Approach. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 47(1): 367-380.
- Mohanty, M., Selvakumar, S., Koodalsamy, C., Simon, S. 2019. Global maximum operating point tracking for PV system using fast convergence firefly algorithm. Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 27: 4640-4658.
- Mohanty, S., Subudhi, B., Ray, P. K. 2016. A New MPPT Design Using Grey Wolf Optimization Technique for Photovoltaic System Under Partial Shading Conditions. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 7(1): 181-188.

- Mosaad, M. I., el-Raouf, M. O., Al-Ahmar, M. A., Banakher, F. A. 2019. Maximum Power Point Tracking of PV system Based Cuckoo Search Algorithm; review and comparison. *Energy Procedia*, 162: 117-126.
- Pearsall, N. 2017. *The Performance of Photovoltaic (PV) Systems Modelling, Measurement and Assessment*. Woodhead Publishing, 1-337.
- Petreus, D., Farcas, C., Ciocan, I. 2008. Modelling And Simulation Of Photovoltaic Cells. *Acta Technica Napocensis- Electronica-Telecomunicatii (Electronics and Telecommunications)*, 49(1): 42-47.
- Precup, R.-E., Kamal, T., Hassan, S. Z. 2019. *Solar Photovoltaic Power Plants - Advanced Control and Optimization*. Springer, 1-250.
- Radosavljević, J. 2018. *Metaheuristic Optimization in Power Engineering*. The Institution of Engineering and Technology, 1-504.
- Rashid, M. H. 2018. *Power Electronics Handbook*. Butterworth-Heinemann, 1-1450.
- Rekioua, D., Matagne, E. 2012. *Optimization of Photovoltaic Power Systems Modelization, Simulation and Control*. Springer, 1-274.
- Singh, V., Tiwari, A. N. 2018. Study and Comparison of various types of Converters used for Solar PV: A Review. 2018 International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control (PEEIC), Greater Noida, 658-664.
- Subha, R., Himavathi, S. 2017. MPPT of PV systems under partial shaded conditions using flower pollination algorithm. 2017 International Conference on Innovations in Electrical, Electronics, Instrumentation and Media Technology (ICEEIMT), Coimbatore, 206-210.
- Vilathgamuwa, M., Nayanassiri, D., Gamini, S. 2015. *Power Electronics for Photovoltaic Power Systems*. Morgan & Claypool, 1-116.
- Xiao, W. 2017. *Photovoltaic Power System Modeling, Design, and Control*. Wiley, 1-366.
- Yağan, Y. E., Vardar, K., Ebeoğlu, M. A. 2018. Modeling and Simulation of PV Systems. *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)*, 13(2): 1-11.
- Yang, X.-S. 2010. *Engineering Optimization An Introduction with Metaheuristic Applications*. Wiley, 1-282.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Necati BİLGİN

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Elektrik Elektronik Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Sakarya Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi / Elektrik Elektronik Mühendisliği	2014
Lise	Yatağan Lisesi	2009

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2018-Halen	Türk Hava Yolları Teknik A.Ş.	Mühendis
2015-2018	İSBAK İstanbul Bilişim ve Akıllı Kent Teknolojileri A.Ş.	Ar-Ge Mühendisi
2014-2015	Kontrolmatik Enerji ve Mühendislik A.Ş.	Kontrol Sistemleri Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce