



**FV SİSTEMLER İÇİN KISMİ GÖLGE
KOŞULLARINI YÖNETEBİLEN YARASA
ALGORİTMASI TABANLI MAKSİMUM GÜÇ
NOKTASI İZLEYİCİ TASARIMI VE
GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

Muammer Kadir KARAGÖZ

**2020
DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Hüseyin DEMİREL**

**FV SİSTEMLER İÇİN KISMİ GÖLGE KOŞULLARINI YÖNETEBİLEN
YARASA ALGORİTMASI TABANLI MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI
İZLEYİCİ TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

Muammer Kadir KARAGÖZ

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Doktora Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Hüseyin DEMİREL**

**KARABÜK
Aralık 2020**

Muammer Kadir KARAGÖZ tarafından hazırlanan “FV SİSTEMLER İÇİN KİSMİ GÖLGE KOŞULLARINI YÖNETEBİLEN YARASA ALGORİTMASI TABANLI MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİ TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Hüseyin DEMİREL

Tez Danışmanı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 28/12/2020

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Ziyodulla YUSUPOV (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Hüseyin DEMİREL (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Bünyamin CİYLAN (GÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Bilgehan ERKAL (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Yücel ÇETİNÇEVİZ (KÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Muammer Kadir KARAGÖZ

ÖZET

Doktora Tezi

FV SİSTEMLER İÇİN KISMİ GÖLGE KOŞULLARINI YÖNETEBİLEN YARASA ALGORİTMASI TABANLI MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİ TASARIMI VE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Muammer Kadir KARAGÖZ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Hüseyin DEMİREL

Aralık 2020, 109 sayfa

Fotovoltaik (FV) modüllerden elde edilebilecek maksimum güç iklimsel ve çevresel koşullara bağlı olarak değişir. Üstelik kısmen gölgelenen FV dizilerde çoklu maksimum güç noktasına (MGN) sahip P-V karakteristik eğrileri görülebilir. Değişken doğasına ve yerel MGN tuzaklarına rağmen bir FV diziden maksimum güç elde edebilmek maksimum güç noktası izleyiciler (MGNI) ile mümkündür. MGNI aygıtları özünde, MGNI yöntemleri ile kontrol edilen DA-DA dönüştürücülerdir. MGNI yöntemlerinin kendine has avantaj ve dezavantajları bulunduğundan daha üstün MGNI yöntemi geliştirme çalışmaları sürmektedir.

Bu çalışmada, FV sistemler için kısmi gölgelenme koşulları altında genel MGN'yi tespit edebilen ve izleyebilen, yeni bir karma MGNI yöntemi önerilmektedir. Önerilen MGNI yöntemi Yarasa algoritması (YA) ve Artımlı İletkenlik (AI) algoritması üzerine

kurulmuştur. MGNİ işlemine göre uyarlanmış standart YA'ya yasaklama yeteneği eklenerek Yasaklı YA geliştirilmiştir. Önerilen MGNİ yönteminde, önce Yasaklı YA çalıştırılarak genel MGN tepesi belirlenir. Ardından Aİ algoritması çalıştırılarak MGN daha hassas bir şekilde izlenir. Güçte nispeten büyük bir değişiklik meydana geldiğinde, Yasaklı YA yeniden çalıştırılır. Aksi takdirde, Aİ algoritması çalışmayı sürdürür.

Önerilen MGNİ yöntemi benzetimleri MATLAB/Simulink'te hazırlanan FV sistem modeli üzerinde yapılmıştır. Önerilen MGNİ yönteminin benzetim sonuçları Sars ve Gözlemle (S&G) algoritması, Aİ algoritması ve standart YA benzetim sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca önerilen MGNİ yönteminin gerçek sonuçlarını görmek için deneysel FV sistem kurulmuştur. Code Composer Studio ile TMS320F28379D mikrodenetleyicisi için MGNİ kodları yazılmıştır. 60 Wp'lik 3 adet FV modül ile seri yapılandırılmış bir FV dizi kurulmuş ve evirmeyen Alçaltıcı-Yükseltici DA-DA dönüştürücü devresi yapılmıştır. Benzetim ve deney sonuçları önerilen MGNİ yönteminin kısmi gölgelenme de dahil tüm koşullarda başarılı olduğunu ve S&G, Aİ ve standart YA MGNİ yöntemlerinden daha üstün olduğunu göstermektedir.

Anahtar Sözcükler : Fotovoltaik, Maksimum güç noktası izleme, Yarasa algoritması, Geleneksel MGNİ algoritmaları.

Bilim Kodu : 90526

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF THE BAT ALGORITHM BASED MAXIMUM POWER POINT TRACKER THAT ABLE TO MANAGE PARTIAL SHADOW CONDITIONS FOR PV SYSTEMS

Muammer Kadir KARAGÖZ

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Electrical-Electronics Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Hüseyin DEMİREL

December 2020, 109 pages

The maximum power that can be obtained from photovoltaic (PV) modules varies depending on climatic and environmental conditions. Moreover, P-V characteristic curves with multiple maximum power points (MPP) can be seen in partially shaded PV arrays. Despite its variable nature and local MPP traps, obtaining maximum power from a PV array is possible with maximum power point trackers (MPPT). MPPT devices are essentially DC-DC converters controlled by MPPT methods. Since MPPT methods have their own advantages and disadvantages, the development of superior MPPT method continues.

In this study, a new hybrid MPPT method is proposed for PV systems that able to detect and track the global MPP under partial shading conditions. The proposed MPPT method is based on the Bat algorithm (BA) and Incremental Conductance (INC)

algorithm. Banned BA has been developed by adding the baning ability to the standard BA that adapted according to the MPPT process. In the proposed MPPT method, the global MPP peak is determined by running Banned BA first. Then MPP is tracked more sensitively by running the INC algorithm. When a relatively large change in the power occurs, the Banned BA will be run again. Otherwise, the INC algorithm continues to run.

The proposed MPPT method simulations are made on the PV system model prepared in MATLAB/Simulink. The proposed MPPT method simulation results were compared with Perturb and Observe (P&O) algorithm, INC algorithm and standard BA simulation results. Also, an experimental PV system was set up to see the actual performance of the proposed MPPT method. MPPT codes were written for TMS320F28379D microcontroller with Code Composer Studio. A PV array that is series configured was installed with 3 PV modules of 60 Wp and a non-inverting Buck-Boost DC-DC converter circuit was made. Simulation and experimental results show that the proposed MPPT method is successful in all conditions including partial shading, and is superior to P&O, INC and standard BA MPPT methods.

Key Word : Photovoltaic, Maximum power point tracking, Bat algorithm, Conventional MPPT algorithms.

Science Code : 90526

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐmasını yűrűtűlmesinde bilgi ve deneyimlerinden yararlandıĐım, yűnlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıŐmamı bilimsel temeller ıŐıĐında Őekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Hűseyin DEMİREL'e teŐekkűrlerimi sunarım.

Tez izleme sűrecinde deneyimleri ile destek olan Doç. Dr. Bűnyamin CİYLAN ve Dr. ŐĐr. Ŭyesi Bilgahan ERKAL'a teŐekkűrlerimi sunarım.

Bu tez çalıŐmasını KBŬ-BAP-16/1-DR-168 numaralı Bilimsel AraŐtırma Projesi ile destekleyen Karabűk Ŭniversitesi RektűrlűĐű ve Bilimsel AraŐtırma Projeleri KoordinatűrlűĐűne teŐekkűr ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteĐini hiçbir zaman esirgemeyen annem NurŐen KARAGŐZ, babam Ali KARAGŐZ ve ablam iĐdem KARAGŐZ'e; uzun ve zorlu doktora sűrecinde sabırla hep yanımda olan deĐerli eŐim Fatma KARAGŐZ ve ocuklarım Emir KaĐan ile Alp aĐan'a tűm kalbimle teŐekkűr ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. LİTERATÜR ÖZETİ	4
1.2. TEZİN AMACI VE ÇÖZÜM YAKLAŞIMI.....	7
1.3. TEZİN ANA HATLARI	8
1.4. YAYINLAR	9
BÖLÜM 2	10
FOTOVOLTAİK	10
2.1. FV HÜCRE VE FV MODÜL MODELİ.....	12
2.2. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI.....	14
2.3. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİ	19
2.3.1. Güç Yönetimi	19
2.3.1.1. DA-DA Dönüştürücüler.....	20
2.3.2. MGNİ Yöntemleri	23
2.3.2.1. Sars ve Gözlemle Algoritması	25
2.3.2.2. Artımlı İletkenlik Algoritması	26
2.3.2.3. Standart Yarasa Algoritması.....	28

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3	32
GELİŞTİRİLEN MGNİ YÖNTEMLERİ VE BENZETİM MODELLERİ.....	32
3.1. GELİŞTİRİLEN STANDART YA TABANLI MGNİ YÖNTEMLERİ.....	33
3.1.1. Standart YA Tabanlı MGNİ Yöntemi	34
3.1.2. YA - S&G Karma MGNİ Yöntemi.....	35
3.2. GELİŞTİRİLEN YASAKLI YA TABANLI MGNİ YÖNTEMLERİ.....	36
3.2.1. Yasaklı YA - S&G Karma MGNİ Yöntemi	36
3.2.2. Yasaklı YA – Aİ Karma MGNİ Yöntemi.....	38
3.2.3. Önerilen Yasaklı YA-Aİ Karma MGNİ Yöntemi	38
3.3. BENZETİM MODELLERİ.....	40
3.3.1. Test Koşulu Benzetim Modeli	41
3.3.2. MGNİ’li FV Sistem Benzetim Modeli	44
BÖLÜM 4	46
MGNİ YÖNTEMİ DENEY DÜZENEĞİ.....	46
4.1. FV DİZİ.....	47
4.2. DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜ	48
4.3. TMDSDOCK28379D DENEYÇİ KİTİ	50
4.3.1. Code Composer Studio.....	54
4.3.2. Genel Sistem Yapılandırması.....	54
4.3.3. ADC Birimi	58
4.3.4. Geliştirilmiş PWM Birimi	64
4.3.5. Zamanlayıcı Birimi	66
4.4. AKIM-GERİLİM İZLEYİCİ	68
4.4.1. Kullanıcı Arayüzü ve Kalibrasyon.....	69
BÖLÜM 5	71
BENZETİM VE DENEY ÇALIŞMALARI	71
5.1. BENZETİM ÇALIŞMALARI	71
5.1.1. Önerilen Karma MGNİ Yöntemi Benzetim Çalışmaları.....	71
5.1.2. Diğer MGNİ Yöntemleri Benzetim Çalışmaları	79
5.1.2.1. S&G Algoritması Benzetim Çalışması.....	80

	<u>Sayfa</u>
5.1.2.2. AI Algoritması Benzetim Çalışması.....	81
5.1.2.3. Standart YA Tabanlı MGNİ Yöntemi Benzetim Çalışması	82
5.2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	84
5.3. BENZETİM VE DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	94
BÖLÜM 6	97
SONUÇLAR	97
KAYNAKLAR	99
EK AÇIKLAMALAR A. DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜ VE BASKI DEVRESİ.....	105
EK AÇIKLAMALAR B. IV-İZLEYİCİ VE BASKI DEVRESİ	107
ÖZGEÇMİŞ	109

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.	Fotovoltaik elektrik üretme.	10
Şekil 2.2.	FV hücre, FV modül ve FV dizi.....	12
Şekil 2.3.	FV hücre eşdeğer devre modeli.....	13
Şekil 2.4.	FV hücre I-V ve P-V karakteristik eğrileri [44].....	14
Şekil 2.5.	Direnil yük ile FV hücresi çalışma noktasının tespiti [44].....	15
Şekil 2.6.	Sıcaklığın FV modül karakteristik eğrileri üzerindeki etkisi.	15
Şekil 2.7.	Güneş ışınımının FV modül karakteristik eğrileri üzerindeki etkisi.	16
Şekil 2.8.	4 adet FV modül ile Paralel, Seri, SP ve TCT yapılandırma ve örnek KGK düzeni.....	17
Şekil 2.9.	Paralel ve Seri yapılandırmada kısmi gölgelenme ve atlatma diyodunun P-V karakteristik eğrisine etkisi.	17
Şekil 2.10.	SP ve TCT yapılandırmada kısmi gölgelenme ve atlatma diyodunun P-V karakteristik eğrisine etkisi.	18
Şekil 2.11.	Temel DA-DA dönüştürücü topolojileri devre şemaları.....	21
Şekil 2.12.	Sars ve Gözlemle algoritması akış diyagramı.	25
Şekil 2.13.	Artımlı İletkenlik algoritması akış diyagramı.	27
Şekil 3.1.	Test koşulu benzetim modeli.....	42
Şekil 3.2.	Tekdüze iklim benzetim test koşulları P-V eğrileri.	43
Şekil 3.3.	Kısmi gölgeli benzetim test koşulları P-V eğrileri.....	43
Şekil 3.4.	MGNİ'li FV sistem benzetim modeli.	45
Şekil 4.1.	FV deney düzeneği blok diyagramı.	46
Şekil 4.2.	FV deney düzeneği.....	47
Şekil 4.3.	FV dizi yapılandırması.	48
Şekil 4.4.	DA-DA dönüştürücü devre şeması.	49
Şekil 4.5.	TMDSDOCK28379D deneyci kiti.....	51
Şekil 4.6.	Code Composer Studio derleyicisi hata ayıklama ekranı görünümü.	55
Şekil 4.7.	IV-İzleyici devre şeması.....	68
Şekil 4.8.	IV-İzleyici kullanıcı arayüzü.....	69
Şekil 5.1.	Önerilen karma MGNİ yönteminin STK benzetim sonuçları.	72
Şekil 5.2.	Önerilen karma MGNİ yönteminin TİK1 benzetim sonuçları.	73

Sayfa

Şekil 5.3. Önerilen karma MGNİ yönteminin TİK2 benzetim sonuçları.....	74
Şekil 5.4. Önerilen karma MGNİ yönteminin TİK3 benzetim sonuçları.....	74
Şekil 5.5. Önerilen karma MGNİ yönteminin KGK1 benzetim sonuçları.....	75
Şekil 5.6. Önerilen karma MGNİ yönteminin KGK2 benzetim sonuçları.....	75
Şekil 5.7. Önerilen karma MGNİ yönteminin KGK3 benzetim sonuçları.....	76
Şekil 5.8. Önerilen karma MGNİ yönteminin TİK'te küçük değişim benzetim sonuçları.....	76
Şekil 5.9. Önerilen karma MGNİ yönteminin KGK değişimi benzetim sonuçları.	78
Şekil 5.10. Önerilen karma MGNİ yönteminin KGK2 altında yüksek yük direnci benzetim sonuçları.....	79
Şekil 5.11. S&G algoritması benzetim sonuçları.....	80
Şekil 5.12. Aİ algoritması benzetim sonuçları.....	81
Şekil 5.13. STK altında standart YA tabanlı MGNİ yöntemi benzetim sonuçları.....	82
Şekil 5.14. KGK2 altında standart YA tabanlı MGNİ yöntemi benzetim sonuçları..	83
Şekil 5.15. KGK3 altında standart YA tabanlı MGNİ yöntemi benzetim sonuçları..	83
Şekil 5.16. TİK deney düzeni.....	85
Şekil 5.17. TİK deneyi IV İzleyici I-V ve P-V eğrileri.....	85
Şekil 5.18. TİK altında yapılan deneyin osiloskop ekran görüntüsü.	86
Şekil 5.19. KGK4 deneyi gölgelenme düzeni.....	86
Şekil 5.20. KGK4 deneyi IV İzleyici I-V ve P-V eğrileri.....	87
Şekil 5.21. KGK4 altında yapılan deneyin osiloskop ekran görüntüsü.	87
Şekil 5.22. KGK5 deneyi gölgelenme düzeni.....	88
Şekil 5.23. KGK5 deneyi IV İzleyici I-V ve P-V eğrileri.....	88
Şekil 5.24. KGK5 altında yapılan deneyin osiloskop ekran görüntüsü.	89
Şekil 5.25. KGK6 deneyi gölgelenme düzeni.....	89
Şekil 5.26. KGK6 deneyi IV İzleyici I-V ve P-V eğrileri.....	90
Şekil 5.27. KGK6 altında yapılan deneyin osiloskop ekran görüntüsü.	90
Şekil 5.28. KGK7 deneyi gölgelenme düzeni.....	91
Şekil 5.29. KGK7 deneyi IV İzleyici I-V ve P-V eğrileri.....	91
Şekil 5.30. KGK7 altında yapılan deneyin osiloskop ekran görüntüsü.	92
Şekil 5.31. KGK8 deneyi gölgelenme düzeni.....	92
Şekil 5.32. KGK8 deneyi IV İzleyici I-V ve P-V eğrileri.....	93
Şekil 5.33. KGK8 altında yapılan deneyin osiloskop ekran görüntüsü.	93
Şekil Ek A.1. DA-DA dönüştürücü devresi.....	106

Sayfa

Şekil Ek A.2. DA-DA dönüştürücü baskı devre çizimi alt ve üst görünüşleri.....	106
Şekil Ek B.1. IV-İzleyici devresi.	108
Şekil Ek B.2. IV-İzleyici baskı devre çizimi alt ve üst görünüşü.	108

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. İş çevrimine bağlı statik kazanç ve minimum-maksimum eşdeğer direnil yük eğrisi eğim açısı [44].	22
Çizelge 3.1. Benzetim test koşulları.....	42
Çizelge 4.1. DA-DA dönüştürücü çalışma modları.	49
Çizelge 5.1. Önerilen karma MGNİ yöntemi benzetim sonuçları.	94
Çizelge 5.2. Önerilen karma MGNİ yönteminin diğer yöntemler ile karşılaştırılması.	95
Çizelge 5.3. Önerilen karma MNGİ yöntemi deney sonuçları.	96

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- A : ses şiddeti
A^t : ortalama ses şiddeti
D : [0-1] aralığında iş çevrim oranı
f_i : darbe frekansı
f_{min} : darbe frekansı alt sınırı
f_{max} : darbe frekansı üst sınırı
G : ışınım miktarı
I₀ : diyot ters doyum akımı
I_{FV} : fotovolttaik akım
I_L : ışınım kaynaklı akım
I_{MGN} : maksimum güç noktası akımı
I_{SC} : güneş hücresi kısa devre akımı
k : boltzman sabiti
K : dönüştürücü statik kazancı
K_I : güneş hücresi kısa devre akımı sıcaklık katsayısı
n : kalite faktörü, yarasa sayısı
N : yarasa sayısı
N_P : paralel bağlı güneş hücresi sayısı
N_S : seri bağlı güneş hücresi sayısı
P_{MGN} : maksimum güç noktası gücü
r : darbe yayma oranı
r₁⁰ : darbe yayma oranı üst sınırı
R_{eş} : eşdeğer efektif direnç
R_S : akım akışından kaynaklanan FV hücre iç kayıpları
R_{SH} : toprağa akan kaçak akımlardan meydana gelen kayıplar
R_y : yük direnci

- T : güneş hücresi sıcaklığı
 v_i : yarasa hızı
 V_F : ileri yön gerilimi
 V_{FV} : fotovoltaik gerilim
 V_{MGN} : maksimum güç noktası gerilimi
 V_O : çıkış gerilimi
 V_{OC} : güneş hücresi açık devre gerilimi
 V_{ref} : referans gerilimi
 V_S : giriş gerilimi
 q : electron yükü
 x_i : yarasa konumu/çözümü
 x^* : mevcut en iyi yarasa konumu/çözümü
 α : ses şiddeti güncelleme sabiti
 β : darbe frekans sabiti
 γ : darbe yayma oranı güncelleme sabiti
 ϵ : yakınlaştırma sabiti
 ΔV : gerilim değişimi
 ΔI : akım değişimi
 ΔP : güç değişimi, güç değişim parametresi
 θ : direnil yük eğrisi eğimi
 λ : dalgaboyu

KISALTMALAR

ADC	: Analog Digital Converter (Analog Sayısal Dönüştürücü)
AI	: Artımsal İletkenlik
BL	: Bridged-Linked (Köprü Bağlantılı)
BM	: Bulanık Mantık
CCM	: Continuous Conduction Mode (Sürekli İletim Modu)
CCS	: Code Composer Studio
DA	: Doğru Akım
DCM	: Discontinuous Conduction Mode (Süreksiz İletim Modu)
DSP	: Digital Signal Processor (Sayısal İşaret İşleyici)
FV	: Fotovoltaik
GPIO	: General Purpose Input/Output (Genel Amaçlı Giriş/Çıkış)
HC	: Honey-Comb (Bal Petegi)
ISR	: Interrupt Service Routine (Kesme Hizmet Yordamı)
I-V	: Akım-Gerilim
KGK	: Kısmi Gölge Koşulu
MGN	: Maksimum Güç Noktası
MGNİ	: Maksimum Güç Noktası İzleyici
MİB	: Merkezi İşlem Birimi
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu
PWM	: Pulse Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
P-V	: Power-Voltage (Güç-Gerilim)
SOC	: Start of Conversion (Dönüşüm Başlangıcı)
SP	: Seri-Paralel
STK	: Standart Test Koşulu
S&G	: Sars ve Gözleme
S/H	: Sample / Hold (Örnekle / Tut)
TCT	: Total Cross Tied (Toplam Çapraz Bağlı)
TİK	: Tekdüze İklimsel Koşul
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
YA	: Yarasa Algoritması
YSA	: Yapay Sinir Ağları

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Dünya, enerji gereksiniminin büyük bir kısmını petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil yakıtlardan karşılamaktadır. Ancak rezervlerinin sınırlı olması ve çevre için zararlı olması nedeniyle fosil yakıtların kullanımının azaltılması gerekmektedir. Oysaki nüfus artışına ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak dünya enerji gereksinimi artmaktadır. Bu durum, insanlığı, elde bulunan kaynakları en verimli şekilde kullanmaya ve alternatif enerji kaynağı arayışlarına yöneltmiştir. Küresel ısınma gibi yaşamakta olduğumuz çevresel sorunlar ve artan sağlık sorunları, çevre dostu yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmaların önemini artırmıştır.

Yenilenebilir enerji, sürekli ya da yinelenmeli olarak ulaşılabilen doğal kaynaklardan elde edilen enerjilerdir. Doğada kendiliğinden var olabilen güneş ışığı, rüzgâr, biyokütle, jeotermal, dalga gibi yenilenebilir enerji kaynakları, fosil enerji kaynaklarının aksine kullanıma bağlı olarak tükenmez ve çevreye zararı yok denecek kadar azdır.

Güneş doğrudan ve dolaylı olarak birçok yenilenebilir enerji kaynağının kaynağıdır. Güneş enerjisi ya da Güneş erkesi, güneş ışığından enerji elde edilmesine dayalı bir teknolojidir. Dünya atmosferinin dışında güneş ışınımının şiddeti hemen hemen sabit ve 1370 W/m^2 değerindedir. Ancak yeryüzünde $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değişim gösterir. Bu enerjinin Dünya'ya gelen küçük bir bölümü dahi, insanlığın mevcut enerji tüketiminden kat kat fazladır. Güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar özellikle 1970'lerden sonra hız kazanmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik olarak ilerleme ve maliyet bakımından düşme göstermiş, güneş enerjisi çevresel olarak temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir [1].

Türkiye coğrafi olarak yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip olması bakımından çok şanslıdır. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına göre; ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat (günlük toplam 7,5 saat) ve ortalama yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m² (günlük toplam 4,18 kWh/m²) olarak hesaplanmıştır [1]. TEİAŞ Aralık 2019 Kurulu Güç raporuna göre Türkiye 2019 yılını 5995 MW kurulu fotovoltaik (FV) güç ile tamamlamıştır. Türkiye'nin sadece Karadeniz bölgesi kadar ışınım alan Almanya'nın 2019 yılını 49200 MW FV kurulu güçle tamamlaması, Türkiye'nin güneş potansiyelini yeterince değerlendiremediğini göstermektedir [2]. 2020 yılında Avrupa ve Orta Doğunun tek entegre güneş paneli üretim fabrikasının Türkiye'de kurulması, Türkiye'nin bu alandaki yatırımlarını artıracığının bir işareti olarak değerlendirilebilir. Pandemi kaynaklı olarak tüm dünyada ve özellikle Türkiye'de baş gösteren ekonomik sorunlar, güneş paneli ile başlayan yerli üretimin FV güç üretiminde gereksinim duyulan diğer bileşenler ile devam etmesini sağlayabilir.

Ticari güneş panellerinin enerji dönüşüm verimliliklerinin düşük olması ve kurulum maliyetinin yüksek olması nedeniyle her koşulda güneş panellerinden maksimum güç elde etmek ayrıca önem kazanmaktadır. Güneş panellerinden elde edilebilecek maksimum güç, maruz kaldıkları ışınım ve sıcaklığa bağlı değişmektedir. Dahası, güneş panelinden alınabilecek güç, elektriksel olarak çalıştırıldığı noktaya bağlıdır. Diğer bir deyişle çevresel ve iklimsel koşullar maksimum güç üretmesine elverişli olmasına rağmen bir güneş paneli, elektriksel olarak maksimum güç noktasında çalıştırılmaz ise o panelden maksimum güç alınamaz. Güneş panelinin çalışma noktası yük direncine, dolayısıyla çalışma akımına ve gerilimine bağlıdır. Bu değişken doğası nedeniyle güneş panellerinden her koşulda maksimum güç elde etmek ancak maksimum güç noktası izleyicilerle (MGNI) mümkündür. MGNI, güneş panellerinin güneş ışınlarını takip etmelerini sağlamak için fiziksel olarak hareket ettiren, mekanik bir izleme sistemi (güneş-izler) değil, yazılımsal olarak MGNI yöntemi içeren, güneş panelinin elektriksel çalışma noktasını değiştirebilen tamamen elektronik bir aygıttır.

FV sistemler yerleşim alanları, taşıt ve uzay gibi farklı bir çok sabit ya da hareketli ortamda kullanılmaktadır. Her ortamın ve koşulun MGNI yöntemi açısından kendine

has kolaylık ve zorlukları vardır. Örneğin yeryüzünde, gün içerisinde meydana gelen olağan ışıınım ve sıcaklık değişimlerinde, güneş panellerinin maksimum güç noktası yavaş bir şekilde küçük bir oranda değişir. Bu durum MGNİ yöntemleri için bir zorluk oluşturmaz. Ancak bulutlu günlerde meydana gelebilen, bulut kenarı etkisi de denilen hızlı ışıınım değişimi durumunda güneş panellerinin maksimum güç noktası hızlı bir şekilde büyük oranda değişir. Benzer bir durum güneş enerjili taşıtların hareketi sırasında da meydana gelebilir. Ayrıca ağaç, bina gibi gölge kaynaklarına yakın bulunan FV dizilerde, güneş panelleri aynı oranda gölgelenmeyebilir ve bu durumda FV dizinin biri genel olmak üzere birden fazla MGN'si olabilmektedir. Hızlı ışıınım değişimi ve kısmi gölgelenme, MGNİ yöntemlerinin çözmesi gereken nispeten zor problemler oluşturur.

Kullanım ortamına bağlı olarak yaşanılabilecek sorunlar değişkenlik gösterdiğinden MGNİ yönteminden beklentiler de değişmektedir. Örneğin uzay uygulamalarında MGNİ yönteminden MGN'yi en kısa sürede, sürekli olarak izlemesi ve periyodik ayar gerektirmemesi beklenirken güneş enerjisi araçlarında çoğunlukla MGN'ye hızlı yakınsama, yerleşim alanlarında kısmi gölgelenme durumunu yönetebilme ve MGN'nin hızlı ve sürekli izleme beklenir [3].

Bugüne kadar FV sistemler için çok sayıda MGNİ yöntemi önerilmiştir. Her MGNİ yönteminin kendine has üstünlük ve kısıtlamaları bulunmaktadır. Bu yüzden farklı ortam ve koşullar için farklı MGNİ yöntemleri öne çıkmaktadır. Günümüzde, basit, düşük maliyetli, yüksek verimli ve hızlı bir MGNİ yöntemi keşfetme amacıyla MGNİ çalışmaları sürmektedir.

Bu çalışmada, özellikle kısmi gölgelenme koşulunu yönetebilen, kararlı bir şekilde yüksek verimliliği yüksek yakınsama hızı ile sunabilen, yeni bir MGNİ yöntemi geliştirilmesine yönelik olarak araştırmalar ve uygulamalar yapılmıştır. Tez çalışmaları kapsamında Yarasa algoritması tabanlı ilk MGNİ yöntemi geliştirilerek, literatüre sunulmuştur. Çalışmalar sonucunda Yasaklı Yarasa algoritması ve Artımlı İletkenlik algoritmalarının dönüşümlü kullanıldığı bir karma MGNİ yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen karma MGNİ yöntemi ile çalıştırılan FV sistemin benzetim

ve deneysel çalışmaları yapılarak başarımları gösterilmiştir. En zorlayıcı koşul olan kısmi gölgelenme durumunda da üstün başarı elde edilmiştir.

1.1. LİTERATÜR ÖZETİ

Günümüze dek FV sistemlerde MGNİ yöntemleri üzerine sayısız çalışma yayımlanmıştır. MGNİ yöntemleri genel olarak, geleneksel ve esnek hesaplama (soft computing) olarak iki gruba ayrılabilir. Özellikle uygulama kolaylığı nedeniyle Sars ve Gözlemle (S&G) [4-6], Artımlı İletkenlik (Aİ) [7-9], Kısmi Açık Devre Gerilimi [10,11], Kısmi Kısa Devre Akımı [11,12], Dalgacık İlişki Kontrolü [13,14] gibi geleneksel MGNİ algoritmaları yaygın olarak kullanılmıştır. Esnek Hesaplama yöntemleri, karmaşık ve doğrusal olmayan problemleri çözme yetenekleri nedeniyle kısmen gölgeli FV sistemler için geleneksel MGNİ algoritmalarına alternatif bir yaklaşım olarak ortaya çıkmaktadır [15]. Böylece, Bulanık Mantık (BM) [16,17], Yapay Sinir Ağları (YSA) [18,19], Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) [20,21], Karınca Koloni Optimizasyonu [22], Guguk kuşu arama algoritması [23], Gri Kurt Optimizasyon algoritması [24] gibi çeşitli algoritmalar önerilmiştir. Son yıllarda yapılan MGNİ çalışmalarında, BM ile YSA [25], PSO ile S&G [26], Yarasa algoritması ile S&G [27] ve Genetik Algoritma ile YSA [28] gibi birden fazla yöntemi birleştiren karma yöntemler de önerilmiştir.

Femia vd., kısıtlamalarını azaltmak için S&G algoritması parametrelerinin, benimsenen DA-DA dönüştürücü ve FV dizisi tarafından oluşturulan tüm sistemin dinamik davranışına göre özelleştirilmesi gerektiğini belirtmiştir [5].

Sera vd., 2006 yılında yaptıkları çalışmada; S&G ve Aİ algoritmalarının hızlı ışınlam değişimi durumunda arama yönünü karıştırmasını önleyen ve MGNİ verimliliğini önemli ölçüde artıran bir iyileştirme önermiştir. MGNİ yöntemi değişikliği, MGNİ örnekleme periyodu ortasında ölçülen güç değeri ile MGNİ örnekleme periyodu sonunda ölçülen güç değeri arasındaki farkın hızlı ışınlam değişimini işaret ettiği esasına dayanmaktadır [29].

Ishaque ve Salam, 2013 yılında yaptıkları çalışmada; tekdüze güneşlenme ve kısmi gölge koşulu için MGNİ yöntemlerini incelemiştir. Özellikle kısmi gölgeleme durumu için yöntemleri iyileştirme olanakları olduğu, tekdüze güneşlenme için geleneksel MGNİ yöntemleri ile esnek hesaplama yöntemlerini birleştirme üzerine bir eğilim olduğu belirtilmiştir. Kısmi gölge durumu için en umut verici yöntemlerin Evrimsel Algoritmalar olduğu ve bu yöntemlerin henüz MGNİ için kullanılmadığı dile getirilmiştir [30].

Kamarzaman ve Tan, 2014 yılında yaptıkları çalışmada; FV sistemler için mevcut MGNİ yöntemlerini karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Geleneksel MGNİ yöntemlerinin tekdüze güneşlenme altında iyi çalıştığı; ancak, hızla değişen atmosferik ve kısmi gölgeleme koşulları altında FV sistemi çalışma noktasını gerçek MGN'ye yönlendirmede başarısız olduğu belirtilmiştir. Ayrıca bu sorunun, genel zirveyi izlemede iyi başarımlar gösteren stokastik ve yapay zekaya dayalı yeni MGNİ yöntemleri kullanılarak aşıldığı, bu yöntemlerin izleme sürecinin daha hızlı olduğu ve gerçek MGN'ye veya genel zirveye salınım olmadan ulaşabildiği dile getirilmiştir. Günümüzde, basit, düşük maliyetli ve yüksek verimli bir MGNİ yöntemi bulma amacı ile araştırmaların devam ettiği de belirtilmiştir [31].

Kandemir vd, 2018 yılında yaptıkları çalışmada; önerilen şebekeye bağlı tek aşamalı PV sistemi ile doğrudan ve dolaylı modlar için S&G, AI ve BM tabanlı MGNİ yöntemlerini karşılaştırmaktadır. Yapılan benzetimlerle, doğrudan modlu MGNİ yöntemlerinin daha iyi izleme doğruluğuna, ancak dolaylı MGNİ yöntemlerine göre daha az yakınsama hızına sahip olduğu gösterilmiştir. Dolaylı modlu MGNİ yöntemlerinin, hızlı atmosferik değişen uygulamalar için daha iyi başarımlar sunduğu ve BM tabanlı MGNİ yönteminin, doğrudan ve dolaylı modlar için neredeyse en iyi izleme başarımlarını sergilediği belirtilmiştir [32].

Shi vd., 2015 yılında yaptıkları çalışmada; FV sistemler için Uyuyan PSO ve AI'ye dayalı çift algoritmalı bir MGNİ yöntemi önermiştir. Uyuyan PSO'da parçacıklar tekrara girmeye başlarsa ya da küçük bir alan içinde salınmaya başlarsa yakınsama süresini azaltmak ve verimliliği artırmak için parçacıklar uyku moduna alınmaktadır. En uygun parçacık sayısı analiz ve benzetim ile bulunmuştur. Ayrıca FV güç çıkışı

salınımlarını azaltacak şekilde parçacıkların arama sırası düzenlenmiştir. Önerilen MGNİ yönteminin başarımı benzetim ve deney sonuçları ile doğrulanmıştır [33].

Oshaba vd., 2015 yılında yaptıkları çalışmada; FV sistem ile beslenen Anahtarlamalı Relüktans Motoru için PI denetleyici tabanlı yeni bir MGNİ denetim tasarımı önermişlerdir. Çalışmada maksimum güç noktasını tespit etmek için PI denetleyici, PI denetleyici için en uygun parametreleri aramak için Yarasa algoritması kullanılmıştır. Benzetim sonuçları ile, Yarasa algoritması tabanlı PI denetleyicinin PSO ile karşılaştırıldığında yük torku, ışınım ve sıcaklık değişimi durumunda mükemmel bir başarımlı sunduğu gösterilmiştir [34].

Kaced vd., 2017 yılında yaptıkları çalışmada; FV sistemler için kısmi gölge koşulları altında çalışabilen Yarasa Algoritması tabanlı bir MGNİ yöntemi sunmaktadır. MATLAB/Simulink ortamında yapılan benzetim ve Alçaltıcı-Yükseltici DA-DA dönüştürücü ile Xilinx Virtex-5 FPGA üzerinde yapılan deneysel çalışma ile önerilen MGNİ yöntemin genel maksimum izleme verimliliği ve kısmi gölgeyi yönetmedeki başarısı gösterilmiştir. S&G ve PSO yöntemleri ile yapılan karşılaştırma sonucu önerilen MGNİ yönteminin daha iyi başarımlı sunduğu iddia edilmiştir [35].

Eltamaly vd., 2020 yılında yaptıkları çalışmada; kısmi gölge koşulları altında FV enerji sistemlerinde maksimum güç noktasını izleyebilen yeni bir değiştirilmiş Yarasa Algoritması stratejisi ve optimum sürü sayısını seçmek için bir ölçüt önermektedir. Önerilen MGNİ stratejisi PSO ve Gri Kurt Optimizasyon teknikleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan benzetim ve deney sonuçları ile önerilen MGNİ stratejisinin kısmi gölge altındaki üstünlüğü gösterilmiştir [36].

Pilakkat vd., 2020 yılında yaptıkları çalışmada; kısmi gölge koşulları altında FV sistemlerde genel MGN izlemek için kullanılan sürü zekası tabanlı optimizasyon kontrol algoritmalarını incelemiştir. 14 sürü zekası yöntemi üstünlükleri açısından karşılaştırılmıştır. Yarasa algoritmasının basitlik, esneklik, uygulama kolaylığı ve hızlı yakınsama üstünlükleri vurgulanmıştır [37].

1.2. TEZİN AMACI VE ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

Öncelikle, FV sistemlerde MGNİ üzerine yapılan çalışmalar incelenerek farklı ortam ve koşullar altında yaşanılabilen sorunlar ve bu sorunlar için önerilen çözümler incelenmiştir. MGNİ çalışmalarındaki süreklilik, MGNİ yöntemlerinin gelişimini tamamlamadığına bir işaret olarak görülmüştür.

Bu çalışmada, mevcut MGNİ yöntemlerine seçenek oluşturacak, yeni ve başarımı yüksek bir MGNİ yöntemi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla öncelikle mevcut MGNİ yöntemlerini tanımak ve MGNİ için ümit vaadeden yeni esnek hesaplama yöntemlerini tespit etmek amacıyla literatür taraması yapılmıştır. Geleneksel MGNİ algoritmalarını karşılaştıran çalışmalarda özellikle S&G ve Aİ algoritmalarının öne çıktığı görülmüştür. Bu nedenle çalışmalarda bu iki geleneksel MGNİ algoritmasından yararlanılmıştır. Esnek hesaplama yöntemleri üzerine yapılan çalışmalarda, PSO tabanlı MGNİ yöntemlerinin iyi sonuçlar verdiği [33,38,39], Yarasa algoritmasının yapısı gereği PSO'dan üstün olduğu [40] ve daha önce MGNİ amacıyla kullanılmadığı görülmüştür. Bu nedenle, yeni MGNİ yöntemi geliştirme aşamasında esnek hesaplama yöntemlerinden Yarasa algoritması ve geleneksel MGNİ yöntemlerinden S&G ve Aİ üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Benzetimler ve deneysel çalışmalarda, geliştirilecek MGNİ yönteminin kısmi gölgelenme durumundaki başarımını görebilmek amacıyla seri yapılandırılmış, 3 adet güneş panelinden oluşan bir FV dizi, MGNİ yöntemi ile FV dizinin çalışma noktasını değiştirebilmek için 3 farklı modda çalışabilen, evirmeyen çıkışlı Alçaltıcı-Yükseltici DA-DA dönüştürücü tercih edilmiştir. MGNİ yöntemi üzerine yapılacak benzetim çalışmaları için MATLAB/Simulink'te FV dizi ve DA-DA dönüştürücüden oluşan FV sistemin modeli çıkarılmıştır. Ayrıca, kısmi gölgelenme de dahil olmak üzere tüm iklimsel ve çevresel test koşulları için referans oluşturmak amacıyla FV dizinin maksimum güç noktasını, güç-gerilim ve akım-gerilim karakteristik eğrilerini tespit etmeye yarayan yardımcı bir FV sistem modellenmiştir.

Deneysel çalışmalar için, 60 Wp'lik 3 adet güneş panelinin seri bağlanması ile bir FV dizisi oluşturulmuş, benzetimler için kullanılan DA-DA dönüştürücünün devresi

yapılmış, DSP çekirdeğe sahip TMS320F28379D mikrodenetleyicisi için Code Composer Studio derleyicisinde uygulama kodları yazılmış ve FV dizinin akım-gerilim, güç-gerilim karakteristik eğrilerini çıkarmak için I-V İzleyici aygıtı yapılmıştır.

1.3. TEZİN ANA HATLARI

Bu tezi oluşturan 6 bölümün içeriği aşağıda kısaca belirtilmiştir.

Birinci bölümde tezin çıkış noktası, çalışmanın önemi, problemin tanımı, literatür özeti ve tezin amaçları açıklanmıştır.

İkinci bölümde literatür taraması ile desteklenerek FV hücre modeli, FV diziler ve yapılandırmalar, çevresel ve iklimsel değişimlerin I-V ve P-V karakteristik eğrileri ve MGN üzerindeki etkisi, FV çalışma noktası, donanımsal ve yazılımsal olarak MGNİ sistemleri ve bu tezde yararlanılan MGNİ yöntemleri açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde Yarasa Algoritması tabanlı geliştirilen ve önerilen karma MGNİ yöntemlerinin tasarım aşamaları, parametreleri ve çalışma ilkesi açıklanmıştır. Ayrıca benzetim çalışmaları için MATLAB/Simulink'te hazırlanan MGNİ'li FV sistem benzetim modeli, test koşulu benzetim modeli ve benzetimlerde kullanılacak test koşulları tanıtılmıştır.

Dördüncü bölümde, önerilen karma MGNİ yönteminin deneysel çalışmaları için oluşturulan deneysel FV sistem tanıtılmıştır. FV dizi yapılandırması ve özellikleri, DA-DA dönüştürücü devresi, TMS320F28379D mikrodenetleyicisi donanımsal özellikleri, programlama ve hata izleme araçları, çevresel birim yapılandırma/kullanım kodları ve IV İzleyici sistemi açıklanmıştır.

Beşinci bölümde, önerilen MGNİ yönteminin, üçüncü bölümde tanıtılan test koşulları altındaki benzetim sonuçları ve kurulan deneysel FV sistem üzerinde yapılan deney sonuçları değerlendirilmiştir. Ayrıca aynı benzetim test koşulları altında karşılaştırma

amaçlı olarak yapılan S&G algoritması, AI algoritması ve standart Yarasa algoritması tabanlı MGNİ yöntemleri benzetim sonuçları değerlendirilmektedir.

Altıncı bölümde, yapılan çalışmalar özetlenerek, yapılan katkılar ve geliştirilebilir yönler sıralanmaktadır.

1.4. YAYINLAR

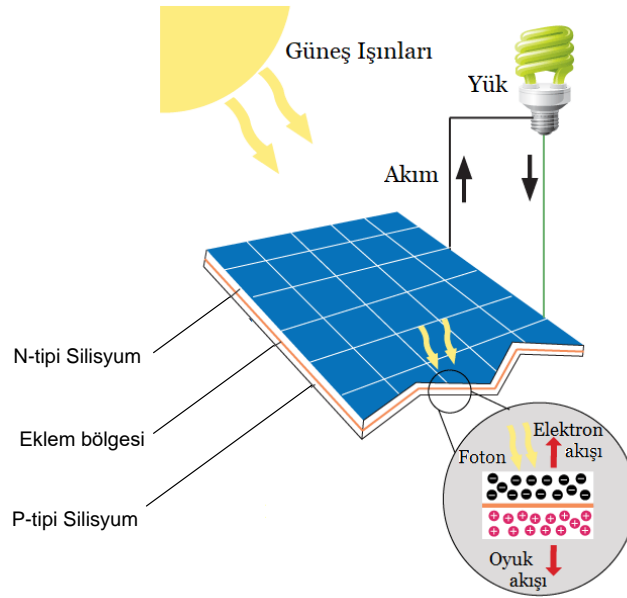
Tez aşamasında yapılan yayınlar aşağıda sunulmuştur:

- I. Demirel, H., Karagöz, M. K. and Erkal, B., “A Novel MPPT Method for PV Arrays Based on Modified Bat Algorithm and Incremental Conductance Algorithm with Partial Shading Capability”, *First International Conference on Energy Systems Engineering*, Karabük, 71-76 (2017).
- II. Karagöz, M.K. and Demirel, H., “A Novel MPPT Method for PV Arrays Based on Modified Bat Algorithm with Partial Shading Capability”, *International Journal of Computer Science and Network Security*, 17 (2): 61-66 (2017).
- III. Demirel, H., Karagöz, M. K. and B. Erkal, “MPPT for PV Arrays Based on Bat Algorithm with Partial Shading Capability”, *International Conference on Engineering And Natural Science*, Saraybosna, ch.10: 2622-2628 (2016).

BÖLÜM 2

FOTOVOLTAİK

Fotovoltaik, güneş hücreleri kullanılarak ışık enerjisinin doğrudan elektrik enerjisine çevirilmesi işlemidir. En müemmel enerji kaynaklarından biri olan güneşin, ışığından yararlanır. Yakıt olarak kullanılan güneş ışığı ücretsizdir, boldur, yaygındır ve herkes için ulaşılabilir. Enerji dönüşümünde hareketli bir parça yoktur. Sadece güneş ışığının güneş hücreleri üzerine düşmesi sağlanır ve doğrudan elektrik üretilir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Fotovoltaik elektrik üretme.

Güneş hücresi, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren elektronik bir cihazdır. Güneş hücresi üzerine düşen ışık, elektrik enerjisi üretmek için hem akım hem de gerilim üretir. Bu işlem, ilk olarak, ışığı soğurarak bir elektronu daha yüksek bir enerji durumuna yükselten bir malzemeyi ve ikinci olarak, bu yüksek enerjili elektrunun güneş hücresinden dışarıdaki bir devreye ya da yüke hareketini gerektirir.

Elektron daha sonra enerjisini dış devrede dağıtır ve güneş hücresine geri döner. Çeşitli malzemeler ve süreçler potansiyel olarak fotovoltaik enerji dönüşümü gereksinimlerini karşılayabilir, ancak pratikte neredeyse tüm fotovoltaik enerji dönüşümlerinde P-N eklemi şeklinde yarı iletken malzemeler kullanılır [41].

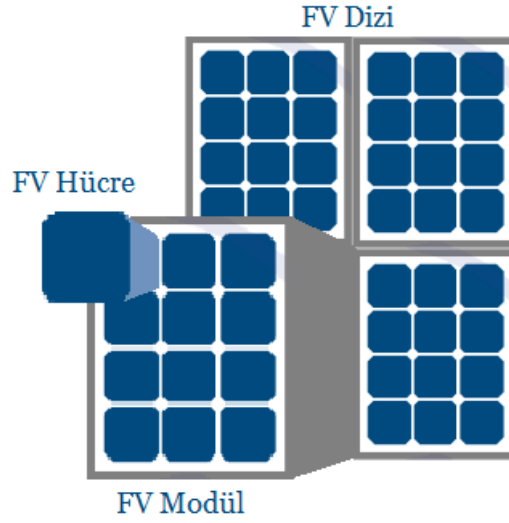
Birinci nesil güneş hücreleri yüksek verimlilikleri nedeniyle en yaygın kullanılan ve en eski teknolojilerdir. Bu hücreler silisyum devre levhaları üzerinde üretilir. İki çeşit birinci nesil güneş hücresi teknolojisi vardır: Tek kristalli (sc-Si) çok kristalli (mc-Si). Tek kristalli güneş hücresinde tüm levha bir kristalden oluşurken çok kristalli güneş hücresinde levha kristal zerrelere oluşur. Çok kristalli güneş hücrelerinin verimliliği tek kristalli olanlardan daha düşük olmasına rağmen üretimi daha ucuz ve kolaydır [42].

İkinci nesil güneş hücreleri ince film olarak gruplandırılan amorf silisyum (a-Si) tabanlı ince film güneş hücreleri, kadmiyum tellür/kadmiyum sülfür (CdTe/CdS) güneş hücreleri ve bakır indiyum galyum selenid (CIGS) güneş hücrelerini kapsar. Verimlilikleri birinci nesle nazaran daha az olmasına karşın maliyetleri birinci nesilden düşüktür [42].

Üçüncü nesil güneş hücreleri henüz ticari olarak kendini kanıtlamamış ancak umut verici yeni teknolojilerdir. Üçüncü nesil güneş hücreleri olarak nanokristal tabanlı, polimer tabanlı, boya duyarlı ve yoğunlaştırılmış güneş hücreleri sayılabilir. Boya duyarlı güneş hücrelerinin verimliliklerinin düşük olmasına rağmen üretimi daha kolay, maliyetleri çok düşüktür. Yoğunlaştırılmış sistemde, büyük miktarda güneş ışınımı küçük bir güneş hücresi üzerine yoğunlaştırılır ve geleneksel sistemlerden daha düşük maliyetlidir [42].

FV hücreler, daha yüksek gerilim, akım ve güç üretmek için elektriksel olarak seri veya paralel devreler halinde bağlanır. FV modüller, çevresel etkilere karşı koruyucu bir tabaka ile mühürlenmiş FV hücre devrelerinden oluşur ve FV sistemlerinin temel yapı taşlarıdır. Bir FV dizi, herhangi bir sayıda FV modülünden oluşan eksiksiz bir güç üretim birimidir [43].

FV modüller ve diziler, genellikle Standart Test Koşulları (STK) altında üretebilecekleri maksimum DA güç çıkışına (Watt-peak, Wp) göre derecelendirilirler. STK, Hava Kütlesi 1,5 spektral dağılımı altında 25 °C'lik FV hücre çalışma sıcaklığı ve 1000 W/m²'lik güneş ışınım seviyesi ile tanımlanır. Sahada çalışma şeklinin her zaman tipik olmaması nedeniyle FV modül ve dizilerin gerçek başarımı, genellikle STK derecelendirmesinin % 85-90'ı arasındadır [43].



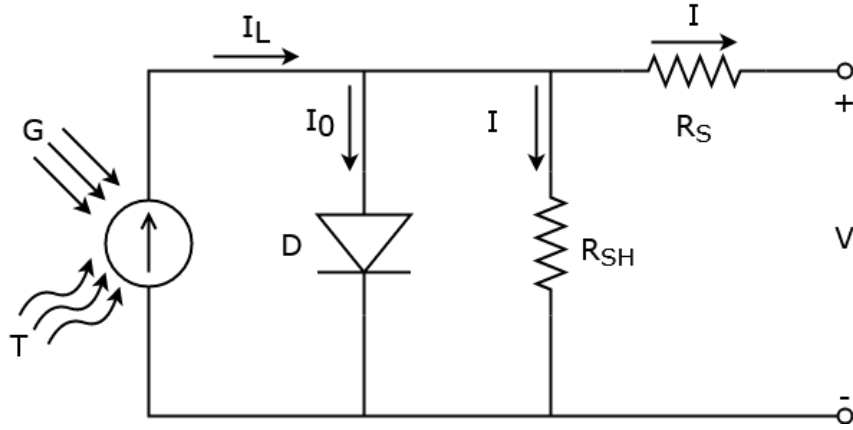
Şekil 2.2. FV hücre, FV modül ve FV dizi.

2.1. FV HÜCRE VE FV MODÜL MODELİ

FV hücre eşdeğer devre modeli bir akım kaynağı ve buna bağlı paralel bir diyottan oluşmaktadır. Burada seri direnç (R_S), akım akışından kaynaklanan FV hücrenin iç kayıplarını ifade etmektedir ve maksimum güç üretimi için küçük olması istenir. Diyota paralel bağlı (R_{SH}) direnç ise toprağa akan kaçak akımlardan meydana gelen kayıpları ifade eder ve çok büyük olduğu için genelde ihmal edilir. FV hücrenin eşdeğer devre modeli Şekil 2.3'de gösterilmiştir.

Bir FV hücrenin Akım-Gerilim (I-V) karakteristiği Eşitlik 2.1'e dayanmaktadır.

$$I = I_L - I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V + I.R_S)}{n.k.T} \right) - 1 \right] - \frac{V + I.R_S}{R_{SH}} \quad (2.1)$$



Şekil 2.3. FV hücre eşdeğer devre modeli.

Eşitlik 2.1 ve Şekil 2.3'te, n kalite faktörünü, R_S seri direnci, R_{SH} paralel direnci, k boltzman sabitini, q elektron yükünü, T güneş hücresi sıcaklığını, V FV hücre üzerine düşen gerilimi, I FV hücresinden çekilen akımı, I_L ışık kaynaklı akımı, I_0 diyot ters doyum akımını göstermektedir. R_{SH} değeri yüksek olduğu için ihmal edilirse eşitlik daha da sadeleşir.

FV hücre akımının, hücresel çalışma sıcaklığı ve güneş ışınımına bağlı ifadesi Eşitlik 2.2'deki gibi gösterilebilir. K_I kısa devre akımına bağlı sıcaklık katsayısıdır. I_{SC} kısa devre akımıdır.

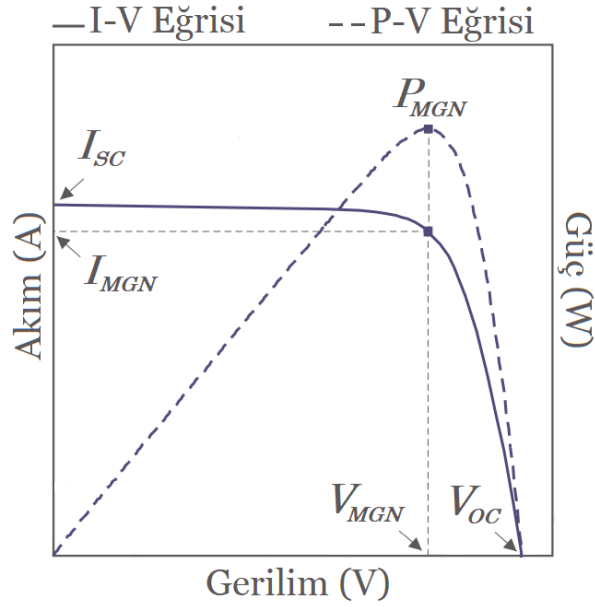
$$I_L = [I_{SC} + K_I(T - T_{ref})].G \quad (2.2)$$

Çok sayıda FV hücreden oluşan FV modüllerde, seri hücre sayısı gerilimi artırırken paralel hücre sayısı akımı artırır. Eşdeğer devre modelinde seri hücre sayıları N_S , paralel hücre sayıları N_P olarak alınıp güneş hücresi eşitliği güncellenirse Eşitlik 2.3 elde edilir.

$$I = N_P \cdot I_L - N_P \cdot I_0 \left[\exp \left(\frac{q \left(\frac{V}{N_S} + \frac{I \cdot R_S}{N_P} \right)}{n \cdot k \cdot T} \right) - 1 \right] - \frac{N_P \cdot V}{N_S} + I \cdot R_S \quad (2.3)$$

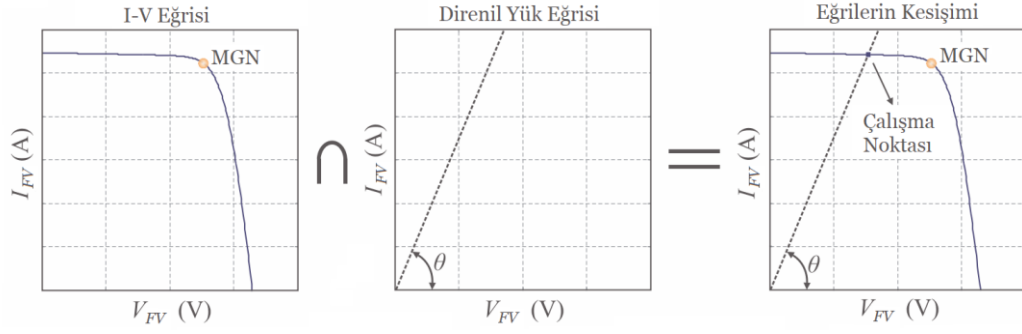
2.2. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI

FV hücre, sadece bir elektriksel çalışma noktasında maksimum güç üretebilmektedir. Bu nokta maksimum güç noktası (MGN) olarak adlandırılır. Maksimum güç elde etmek için FV hücresi, MGN'ye karşılık gelen akım ve gerilim değerlerinde çalıştırılmalıdır. Şekil 2.4'te bir FV hücrenin akım-gerilim (I-V) eğrisi ve Güç-Gerilim (P-V) eğrisi gösterilmiştir. Burada I_{SC} kısa devre akımını, V_{OC} açık devre gerilimini, I_{MGN} maksimum güç noktası akımı, V_{MGN} maksimum güç noktası gerilimini, P_{MGN} maksimum gücü göstermektedir.



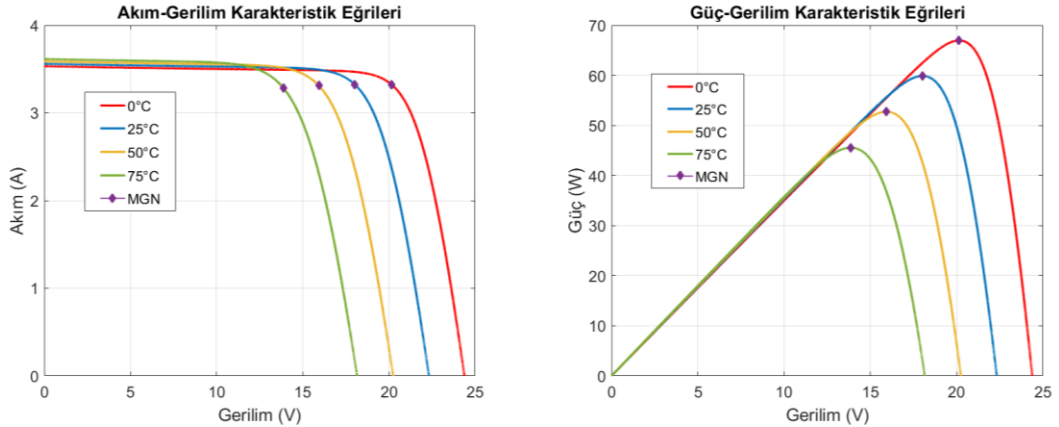
Şekil 2.4. FV hücre I-V ve P-V karakteristik eğrileri [44].

FV hücresinin elektriksel çalışma noktası, I-V eğrisi ve yük eğrisinin kesiştirilmesi yoluyla bulunabilir. Şekil 2.5'te, dirençli yük altında FV hücresinin elektriksel çalışma noktasının bulunması gösterilmektedir. Yükün doğrudan bağlanması durumunda, FV hücresinden maksimum güç alınabilmesi sadece tek bir yük direnci değerinde mümkün olmaktadır. Bu direnç değeri dışındaki yükler ile FV hücresinden maksimum güç alınamamaktadır.

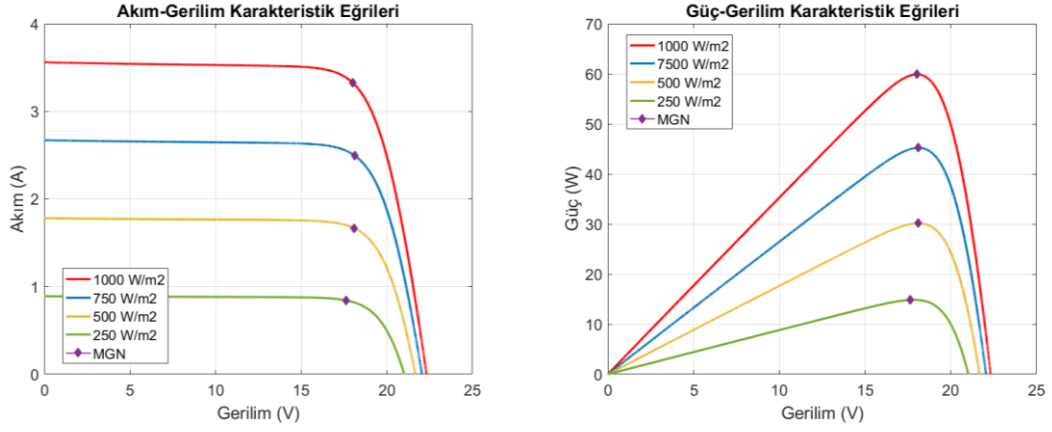


Şekil 2.5. Direnil yük ile FV hücresi çalışma noktasının tespiti [44].

FV hücresinin maksimum güç noktası, sıcaklık ve güneş ışınımı gibi iklimsel koşullara bağlı olarak değişir. Güneş ışınımı, FV hücre akımını pozitif yönde etkilerken; sıcaklık, FV hücre gerilimini negatif yönde etkilemektedir. FV hücre sıcaklığındaki artış, MGN gerilimini, MGN gücünü ve açık devre gerilimini daha büyük oranda, MGN akımını daha küçük oranda azaltırken, kısa devre akımını küçük bir oranda artırmaktadır. Güneş ışınımındaki artış ise MGN akımını, MGN gücünü ve kısa devre akımını daha büyük oranda artırırken, MGN gerilimi ve açık devre gerilimini daha küçük bir oranda artırmaktadır. Gün içerisinde güneş ışınımı sıcaklığa göre daha hızlı ve büyük oranda değişebilmektedir. Bu nedenle maksimum güç noktası üzerindeki etkisi daha büyük olmaktadır. Şekil 2.6'da ve Şekil 2.7'de sırasıyla FV modül sıcaklık değişiminin ve güneş ışınımı değişiminin 60 Wp'lik bir FV modülün I-V ve P-V karakteristik eğrileri üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Şekil 2.6'da güneş ışınımı 1000 W/m², Şekil 2.7'de FV modül sıcaklığı 25 °C olarak alınmıştır.



Şekil 2.6. Sıcaklığın FV modül karakteristik eğrileri üzerindeki etkisi.



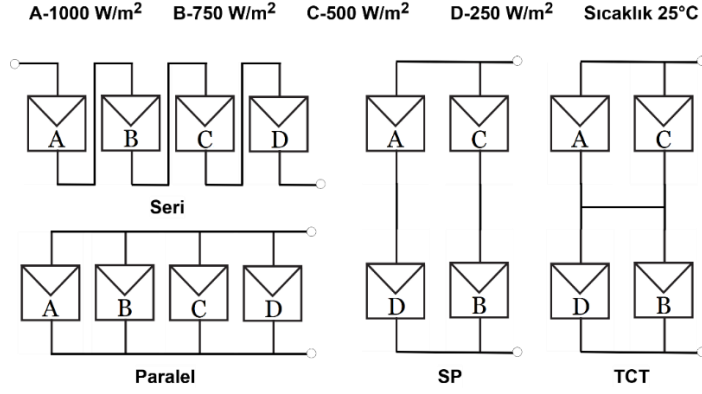
Şekil 2.7. Güneş ışınımının FV modül karakteristik eğrileri üzerindeki etkisi.

FV modülün maksimum gücü, iklimsel koşullar dışında çevresel koşullardan da etkilenmektedir. Kısmi gölgelenme bulut, bina, ağaç gibi çeşitli çevresel etkenler sebebiyle oluşur. Kısmi gölgelenme koşullarında (KGK), FV diziyi oluşturan FV modüller farklı güneş ışınımına maruz kalır. Bu durumda FV dizide çok büyük güç kayıpları yaşanabilmektedir. KGK altında yaşanan bu güç kaybını azaltmak için her bir FV modüle paralel ve ters kutuplu olarak atlatma (bypass) diyodu bağlanmaktadır. Gölgelenen FV hücrelerin sıcak nokta etkisinden zarar görmesini önlemek için bir FV modüle birden fazla atlatma diyodu da bağlanabilmektedir. KGK'nın FV dizi I-V ve P-V karakteristik eğrilerine olan etkisi FV dizinin yapılandırmasına bağlıdır. Literatürde, Seri, Paralel, Seri-Paralel (SP), Toplam Çapraz Bağlı (TCT, Total-Cross-Tied), Köprü Bağlantılı (BL, Bridged-Linked) ve Bal Peteği (HC, Honey-Comb) gibi FV dizi yapılandırmaları önerilmiştir [45-47].

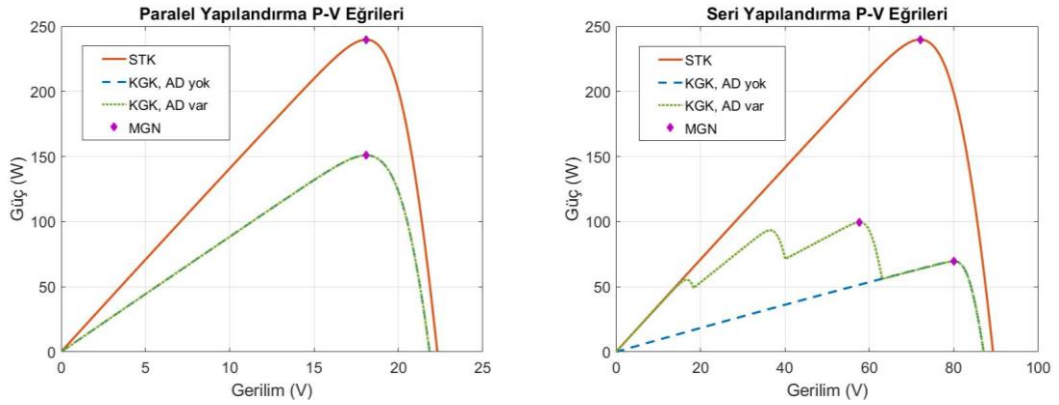
Şekil 2.8'de, 4 adet 60 Wp'lik FV modül ile Paralel, Seri, SP ve TCT yapılandırılmış FV diziler için örnek kısmi gölgelenme düzeni gösterilmiştir. Şekil 2.9 ve 2.10'da, KGK'nın ve atlatma diyodunun (AD) Paralel, Seri, SP ve TCT yapılandırılmış FV dizilerin, P-V karakteristik eğrileri ve MGN üzerindeki etkisi gösterilmiştir.

Şekil 2.9-sol grafikte Paralel yapılandırılmış bir FV dizinin, sağ grafikte Seri yapılandırılmış bir FV dizinin P-V karakteristik eğrileri görülmektedir. Paralel yapılandırmada, FV modüller kısmi gölgelendiğinde ya da STK altında tek tepeli bir P-V karakteristik eğri ortaya çıkmaktadır. Grafikte mavi ve yeşil eğrilerin

örtüşmesi, atlatma diyotlarının varlığının P-V karakteristik eğrisi ve MGN üzerinde bir etkisinin olmadığını göstermektedir.

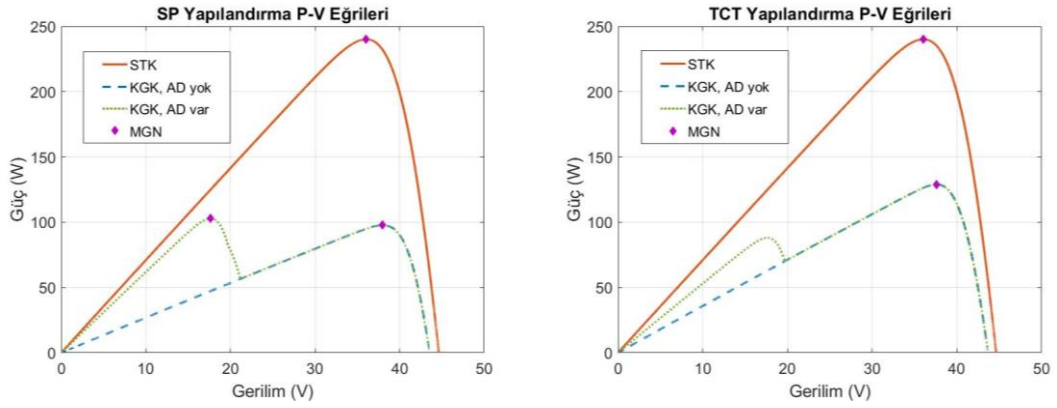


Şekil 2.8. 4 adet FV modül ile Paralel, Seri, SP ve TCT yapılandırma ve örnek KGK düzeni.



Şekil 2.9. Paralel ve Seri yapılandırmada kısmi gölgelenme ve atlatma diyodunun P-V karakteristik eğrisine etkisi.

Seri yapılandırmada, atlatma diyotları kullanılmış ise KGK altında (yeşil eğri), FV dizi P-V karakteristik eğrisi çok sayıda tepeye sahip olacaktır. P-V karakteristik eğrisindeki bu tepelerden sadece bir tanesi genel MGN'ye, diğerleri yerel MGN'ye sahiptir. Bu yapılandırmada, atlatma diyodu kullanılmadan aynı KGK altında (mavi eğri), yaklaşık % 30 oranında güç kaybı olduğu görülmektedir. Seçilen kısmi gölgelenme düzeninde, Paralel yapılandırma Seri yapılandırmadan yaklaşık % 50 daha yüksek güç üretmektedir. Paralel yapılandırmanın başlıca eksikliği gerilim seviyesinin düşük olmasıdır. Seri yapılandırmanın akım seviyesinin düşük olmasıdır.



Şekil 2.10. SP ve TCT yapılandırma kısmi gölgelenme ve atlatma diyodunun P-V karakteristik eğrisine etkisi.

Şekil 2.10-sol grafikte, SP yapılandırılmış bir FV dizinin, sağ grafikte ise TCT yapılandırılmış bir FV dizinin P-V karakteristik eğrileri görülmektedir. Bağlantısal olarak SP ve TCT yapılandırma benzerlik göstermektedir. Seçilen kısmi gölgelenme düzeninde, TCT yapılandırmanın SP yapılandırmadan daha yüksek güç ürettiği görülmektedir.

Seri, Paralel, SP ve TCT yapılandırmaların hepsi STK altında aynı güç değerini üretmektedir. Seçilen KGK altında, atlatma diyodu ile ya da onsuz en yüksek güç Paralel yapılandırmada alınmıştır. Paralel yapılandırmadan sonra sırayla en çok TCT, Seri ve SP yapılandırmada güç alınmıştır. Literatürde, çok sayıda kısmi gölgelenme düzeni ile yapılan, FV dizi yapılandırmalarının karşılaştırıldığı çalışmalarda [45-47] her durumda olmasa da çoğu durumda en yüksek gücün TCT yapılandırmada alındığı belirtilmiştir.

Daha yüksek FV hat gerilimine gereksinim duyulan uygulamalarda Paralel yapılandırma yerine diğer yapılandırmalar tercih edilmektedir. Paralel hariç diğer yapılandırmalarda atlatma diyotlarının varlığı, FV dizi P-V karakteristik eğrisini çok tepeli hale getirmektedir. FV dizinin P-V karakteristik eğrisindeki tepe sayısı FV modül sayısına, yapılandırmaya ve kısmi gölgelenme düzenine bağlıdır.

2.3. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİ

FV dizilerinin P-V karakteristik eğrileri ve dolayısıyla MGN'leri, yapısal, çevresel ve iklimsel birçok etkene bağlı olarak değişmektedir. FV enerjinin bu değişken doğasına rağmen her koşulda FV diziden maksimum güç elde etmek için maksimum güç noktası izleyiciler (MGNİ) kullanılmaktadır. MGNİ, mekanik bir sistem değil yazılım ve donanım içeren elektronik bir aygıttır. MGNİ donanımsal olarak FV dizinin elektriksel çalışma noktasını değiştirmeye yarayan DA-DA dönüştürücüye, yazılımsal olarak maksimum güç noktasını bulmaya ve izlemeye yarayan MGNİ yöntemine sahiptir. MGNİ yöntemlerinin çözmesi gereken problem, çevresel koşullara göre değişebilen maksimum güç noktası akım ve gerilim değerlerini özişler şekilde bulmaktır.

2.3.1. Güç Yönetimi

Karasal FV uygulamaları, elektrik şebekesi ile etkileşimine göre şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı olarak sınıflandırılabilir. Şebekeden bağımsız FV sistemlerin elektrik şebekesi ile bir bağlantısı yoktur ve genellikle bir depolama birimi ile birlikte kullanılır. Bu sistemlerde, güneş ışınımı alınırken depolama birimi şarj edilir ve ihtiyaç halinde doğrudan ya da dönüştürülerek kullanılabilirken; güneş ışınımının alınmadığı durumlarda depolama birimi üzerinden enerji gereksinimi karşılanabilmektedir. Depolama birimine sahip olmayan, sadece güneş ışınımı alınabildiği süreçte doğrudan ya da dönüştürülerek enerji kullanımına dayalı şebekeden bağımsız sistemler de mevcuttur. Şebekeye bağlı sistemlerde depolama birimine gereksinim yoktur ve güneş ışınımı aldıkları süreçte ürettikleri enerji dönüştürülerek elektrik şebekesine aktarılır. Şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız FV uygulamalarında, FV dizisinden maksimum güç elde etmek için FV dizisi MGNİ yöntemi ile kontrol edilen bir DA-DA dönüştürücüye bağlanır. Alternatif akıma ihtiyaç duyulan uygulamalarda MGNİ için kullanılan DA-DA dönüştürücü çıkışı bir DA-AA eviriciye uygulanır. Alternatif akıma gereksinim duyulmayan, depolama birimine sahip şebekeden bağımsız FV uygulamalarında MGNİ için kullanılan DA-DA dönüştürücü çıkışı, depolama biriminin şarj denetimini de üstlenen ayrı bir DA-DA dönüştürücüye uygulanır. Bu çalışmada, MGNİ üzerine odaklanıldığı için eviriciler ya da şarj denetleyiciler üzerine değil ilk evre DA-DA dönüştürücüler üzerinde durulacaktır.

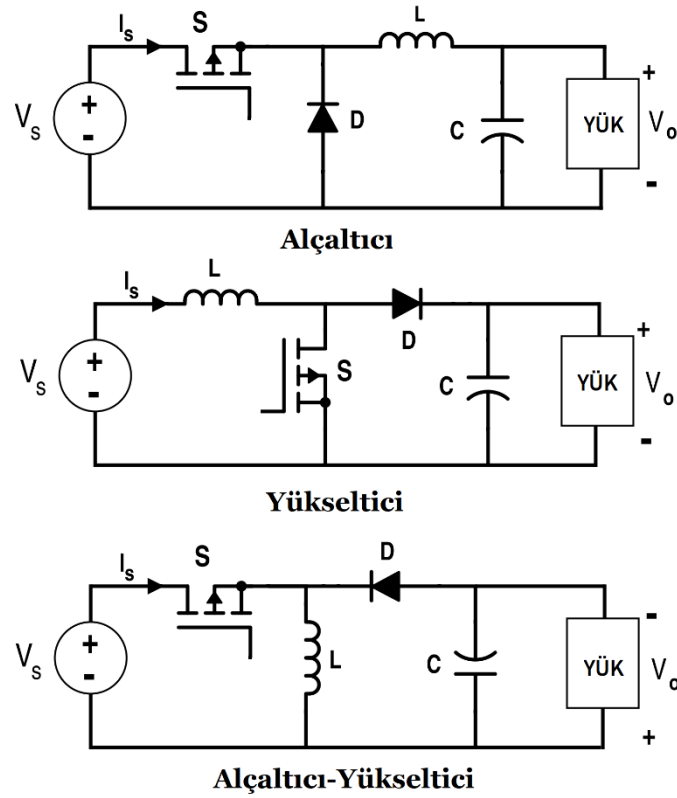
2.3.1.1. DA-DA Dönüştürücüler

Belirli DA yük taleplerini karşılamak için birçok DA-DA dönüştürücü topolojisi tasarlanmıştır. Doğrudan FV dizisine bağlanan DA-DA dönüştürücüler, regüle edilmemiş bir DA giriş gerilimini, gereksinim duyulan DA çıkış gerilimi seviyesine yükseltebilen ya da düşürebilen anahtarlama mod regülatörler olarak işlev görür. DA-DA dönüştürücülerde, uygulamalara ve devre tasarım parametrelerine bağlı olarak MOSFET, IGBT, BJT ve Tristör gibi güç anahtarlama elemanları kullanılır. Güç anahtarlama elemanlarını tetiklemek için uygun sürücü devreleri kullanılır. FV dizi çalışma noktasını kontrol etmek için DA-DA dönüştürücüler Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) anahtarlama ile çalıştırılır [48].

MGNİ sistemi, DA-DA dönüştürücü topolojisine bağlı olarak farklı davranışlar gösterecektir. DA-DA dönüştürücüler, yalıtılmış ve yalıtılmamış olarak sınıflandırılabilir. Yalıtılmış DA-DA dönüştürücüler, gerekli kazanca göre tasarlanabilen bir transformatör kullanırken, yalıtılmamış DA-DA dönüştürücüler transformatör gerektirmez ve pasif devre elemanları kullanımıyla yüksek kazanç ile tasarlanabilir. Yalıtılmamış DA-DA dönüştürücüler küçük yapıdadır, daha verimlidir ve FV uygulamalar için en iyi adaylardır [49]. Yalıtılmamış DA-DA dönüştürücülere örnek olarak Alçaltıcı (Buck), Yükseltici (Boost), Alçaltıcı-Yükseltici (Buck-Boost), CUK ve SEPIC; yalıtılmış DA-DA dönüştürücülere örnek olarak ise Flyback, İleri, Rezonans, Köprü ve İtme-Çekme topolojileri verilebilir. Bu çalışmada, sadece temel topolojiler olan Alçaltıcı, Yükseltici ve Alçaltıcı-Yükseltici DA-DA dönüştürücüler, direnç yük tipi için analiz edilecektir.

Şekil 2.11'de temel DA-DA dönüştürücü topolojileri olan Alçaltıcı, Yükseltici ve Alçaltıcı-Yükselticinin tek güç anahtarlama elemanı içeren basit devre şemaları gösterilmiştir. DA-DA dönüştürücü çıkış gerilimi, güç anahtarlama elemanının (S MOSFET'i) açık-kapalı kalma süresine bağlıdır. S MOSFET'i kapı ucuna PWM işareti uygulanırsa, PWM işaretinin iş çevrim oranı (duty) değiştirilerek çıkış gerilimi değiştirilebilir. Alçaltıcı topolojide çıkış gerilimi (V_o) her zaman giriş geriliminden (V_s) daha düşüktür. Bu nedenle yüksek FV modül/dizi gerilimini daha düşük batarya gerilimine çevirmek için kullanılabilir. Yükseltici topolojide çıkış gerilimi her zaman

giriş geriliminden yüksektir. Bu nedenle nispeten düşük FV modül/dizi çıkış gerilimini evirici için gerekli seviyeye çıkarmak için kullanılabilir. Tek anahtarlı geleneksel Alçaltıcı-Yükseltici topolojide çıkış gerilimi evrilmiştir ve iş çevrim oranı % 50'nin altında iken giriş geriliminin altında, % 50'nin üstünde iken giriş geriliminin üstündedir. Bu topoloji, Alçaltıcı ya da Yükseltici topolojilerin kullanıldığı uygulamalarda kullanılabilir.



Şekil 2.11. Temel DA-DA dönüştürücü topolojileri devre şemaları.

DA-DA dönüştürücüler CCM (Continuous Conduction Mode, Sürekli İletim Modu) ve DCM (Discontinuous Conduction Mode, Süreksiz İletim Modu) olarak adlandırılan iki farklı modda çalışır. CCM'de dönüştürücünün bobin akımı sıfırlanmazken DCM'de sıfırlanır. Dönüştürücünün hangi modda çalışacağı iş çevrim oranı, anahtarlama frekansı, bobin endüktansı ve yük direnci parametrelerine bağlıdır. Dönüştürücü topolojisi seçilirken ve tasarlanırken istenen çalışma modu ve belirtilen parametrelere dikkat edilir.

DA-DA dönüştürücü ve çıkışına bağlı direnil yük, tek bir ayarlı direnç gibi düşünülerek analiz edilirse eşdeğer direnil yük Eşitlik 2.4 gibi olacaktır. Eşdeğer direnil yük eğrisinin eğim açısı ise Eşitlik 2.5 ile hesaplanabilir [44].

$$R_{eş} = \frac{R_y}{K^2} \quad (2.4)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{K^2}{R_y}\right) \quad (2.5)$$

Burada, K, DA-DA dönüştürücünün statik kazancını, R_y , yük direncini ve θ , direnil yük eğrisi eğimini göstermektedir.

DA-DA dönüştürücülerin statik kazancı ve dolayısıyla eşdeğer direnil yük direnci, güç anahtarlama elemanlarına uygulanan PWM işaretinin iş çevrim oranına bağlı olarak hesaplanabilir. Çizelge 2.1’de sürekli iletim modunda (CCM) çalıştırılan temel DA-DA dönüştürücü topolojileri için iş çevrim oranı (D) bağlı statik kazanç ve minimum-maksimum eşdeğer direnil yük eğrisi eğim açıları verilmiştir. Burada iş çevrim oranı yüzdelik olarak değil, ondalık olarak [0-1] arasında kullanılmıştır.

Çizelge 2.1. İş çevrimine bağlı statik kazanç ve minimum-maksimum eşdeğer direnil yük eğrisi eğim açısı [44].

DA-DA Dönüştürücü Topolojisi	Statik Kazanç (K)	Eşdeğer Direnil Yük Eğrisi Eğim Açısı	
		Minimum	Maksimum
Alçaltıcı	D	0°	$\arctan\left(\frac{1}{R_y}\right)$
Yükseltici	$\frac{1}{1-D}$	$\arctan\left(\frac{1}{R_y}\right)$	90°
Alçaltıcı-Yükseltici	$\frac{D}{1-D}$	0°	90°

Eşdeğer direnil yük eğrisi eğim açısı aynı zamanda FV I-V eğrisi üzerinde maksimum gücün izlenebileceği alanı tanımlamaktadır. Çizelge 2.1 incelendiğinde; Alçaltıcı ve

Yükseltici DA-DA dönüştürücülerin, I-V eğrisi üzerinde bazı bölgelerde maksimum gücü izleyemediği, ancak Alçaltıcı-Yükseltici DA-DA dönüştürücünün, I-V eğrisinin tüm bölgelerinde maksimum gücü izleyebildiği görülmektedir. FV dizi MGN'sinin iklimsel ve çevresel koşullara bağlı olarak büyük oranda değişebildiği düşünülürse, MGN'yi I-V eğrisi üzerindeki konumundan bağımsız olarak izleyebildikleri için Alçaltıcı-Yükseltici tipteki tüm DA-DA dönüştürücülerin (Cuk, SEPIC, Zeta gibi) MGNİ uygulamaları için en uygun dönüştürücüler olduğu görülebilir [44, 48].

FV modül karakteristikleri, sistemin MGNİ yeteneğini etkileyebilir. FV modüllerin MGN'deki eşdeğer dirençleri, FV modül malzeme teknolojisine göre farklı seviyelerde olabilir. Bazı ticari FV modüller üzerinde yapılan bir çalışmada, tek kristalli ve çok kristalli FV modüllerin MGN'deki eşdeğer dirençleri 2,84 Ω ile 5,1 Ω arasında çıkarken, ince film FV modüllerin 19,1 Ω ile 49,3 Ω arasında çıkmıştır. İnce film FV modüllerinin MGN'deki eşdeğer direncinin yüksek olması nedeniyle bu tip FV modüllerle kullanılan Alçaltıcı DA-DA dönüştürücünün MGNİ yeteneği, diğer FV modüllerde olduğundan daha iyidir. Öte yandan, tek kristalli ve çok kristalli tipte FV modüllerinin kullanılması, düşük eşdeğer direnç karakteristiği nedeniyle, Alçaltıcı DA-DA dönüştürücü için MGNİ işlemini bozmaktadır. Yükseltici DA-DA dönüştürücülerde tek kristalli ve çok kristalli FV modüllerin kullanılması MGNİ yeteneği bakımından avantaj sağlar. MGNİ amacıyla Alçaltıcı-Yükseltici tipte DA-DA dönüştürücü topolojilerinden herhangi biri kullanılıyorsa, FV modül tipini seçmeye gerek yoktur. FV modülünün eşdeğer direnci sıfırdan sonsuza değiştiğinden, MGNİ için herhangi bir sınırlama yoktur. Bu nedenle, bu topolojiler için FV modül tipi önemli değildir [50].

2.3.2. MGNİ Yöntemleri

Bugüne dek yapılan çalışmalar sonucu karmaşıklık, algılayıcı gereksinimi, yakınsama hızı, maliyet, etkinlik aralığı, donanım, popülerlik vs açılardan farklılık gösteren çok sayıda MGNİ yöntemi geliştirilmiştir.

Sars ve Gözlemler (S&G), Artımlı İletkenlik (AI), Tepe Tırmanışı, Kısmi Kısa Devre Akımı, Kısmi Açık Devre Gerilimi, Dalgacık İlişki Denetimi gibi algoritmalar

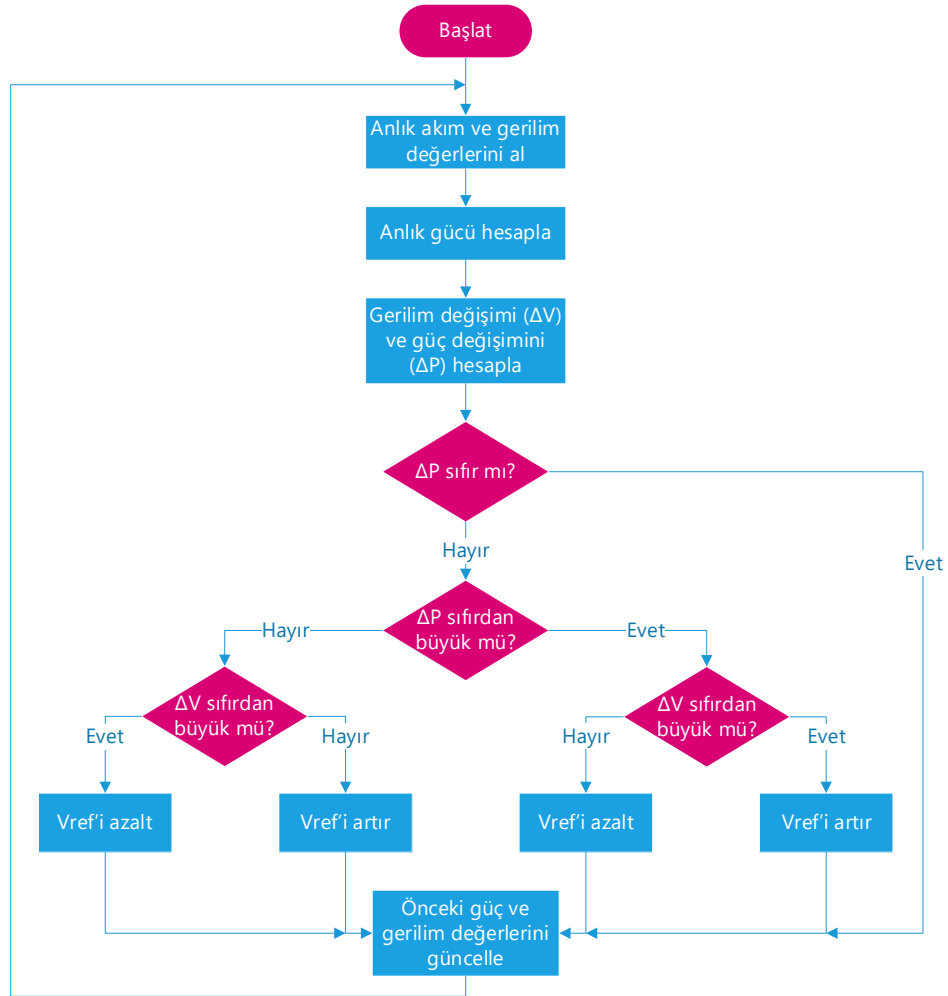
geleneksel MGNİ yöntemleri olarak anılmaktadır. Geleneksel MGNİ yöntemleri arasında en yaygın kullanılanlar S&G ve Aİ algoritmalarıdır. Bu MGNİ yöntemleri tekdüze ışınım gibi normal koşullar altında oldukça verimli bir şekilde MGN izleyebilir ve çok iyi yakınsama hızı sergileyebilirler. Bu üstünlüklerine rağmen bu yöntemlerin her biri MGN çevresinde meydana gelen kalıcı hal hatası gibi çok ciddi kusurlara sahiptir. MGN çevresindeki salınım davranışı kalıcı durumda dikkate değer miktarda güç kaybı ile sonuçlanır. Çok sayıda akademik çalışma, salınımı minimize etmeyi başarmıştır. Ancak bu durumda MGN izleme hızı azalmıştır. Ek olarak bu yöntemlerin hiçbiri, FV dizisinin tamamının ya da bir kısmının düzensiz ışınım alması durumunu (kısmi gölge koşullarını) yönetemez [23].

Geleneksel MGNİ yöntemlerinde, FV sistemin çalışma noktası yerel maksimum güç noktasına yakınsama eğilimindedir. Genel MGN yerine yerel MGN'ye yakınsama nedeniyle yöntemin verimliliği ve FV sistemlerden elde edilen güç önemli derecede azalır. Bu sorunların üstesinden gelmek için literatürde çok sayıda yöntemden bahsedilmiştir. Bu sorunların bazılarını hafifletmek için esnek hesaplama yöntemleri üzerine kurulu MGNİ yöntemleri önerilir. Esnek hesaplama yöntemlerine örnek olarak Yapay Sinir Ağları, Bulanık Mantık, Genetik Algoritma, Diferansiyel Evrim, Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Karınca Kolonisi, Guguk Kuşu Arayışı, Yarasa algoritması ve Ateşböceği algoritması verilebilir. Esnekliklerine rağmen esnek hesaplama yöntemleri genellikle daha karmaşıktır ve geleneksel yöntemlere göre daha yavaştır. Örneğin, Yapay Sinir Ağlarının doğru sonuçlar üretmesi için çok spesifik ve uzun eğitim süreci gereklidir. Üstelik aşırı hesaplamalar nedeniyle pahalı mikrodenetleyicilerin kullanılmasını gerektirir. Diğer taraftan Bulanık Mantık, mükemmel yakınsama hızı gösterir. Ancak performansı, programlayıcının deneyimine, belirli bir FV modülün ve sistemin içinde bulunduğu çevresel koşulların anlaşılmasına bağlıdır. Genetik Algoritma ve Karınca Kolonisi gibi diğer algoritmalar çoğunlukla geleneksel MGNİ yöntemlerini optimize etmek için kullanılmaktadır. Bu yaklaşım karma MGNİ olarak da bilinmektedir [23].

Bu bölümde, sadece yeni MGNİ yöntemi geliştirme aşamasında yararlanılan yöntemler olan S&G, Aİ ve Yarasa algoritması açıklanacaktır.

2.3.2.1. Sars ve Gözlemle Algoritması

Sars ve Gözlemle (Perturb and Observe) algoritması MGN'ye ulaşmak için FV dizisinin çalışma gerilimini değiştirir. FV dizisinin DA-DA dönüştürücüye bağlanması halinde güç anahtarlama elemanlarına uygulanan PWM işareti iş çevrim oranının değiştirilmesi FV dizisi akımı ve dolayısıyla FV dizisi gerilimini değiştirir. S&G algoritması akış diyagramı Şekil 2.12'de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Sars ve Gözlemle algoritması akış diyagramı.

S&G algoritması, FV dizisi gerilimini düzenli aralıklarla değiştirir ve FV çıkış gücünü önceki değeri ile karşılaştırır. Önceki duruma göre FV dizisi gerilimi ve gücü artmış veya FV dizisi gerilimi ve gücü azalmış ise referans gerilimi sarsma adım değeri kadar artırılır. FV dizisi gücü artmış ancak gerilimi azalmış veya FV dizisi gücü azalmış

ancak gerilimi artmış ise bu kez referans gerilimi sarsma adım değeri kadar azaltılır. Bu işlem MGN'ye ulaşılan dek sürekli gerçekleştirilir.

S&G algoritması işleyişi boyunca MGN çevresinde salınım üretir. Bu da güç kaybı ile sonuçlanır. Bu salınımları en aza indirmek için sarsma adım değeri azaltılabilir. Ancak bu durumda, MGN'ye yakınsama süresi artar.

S&G algoritması üstünlükleri basitlik ve uygulama kolaylığıdır. Bununla birlikte MGNİ verimliliğini azaltan bazı kısıtlamalara da sahiptir. Kısıtlamalardan biri, parçalı bulutlu günlerde meydana gelebilen hızlı ışınım değişimi durumunda S&G algoritmasının yanlış yönde MGN aramasıdır. Diğer bir önemli kısıtlama, MGN çevresinde salınımlara neden olan gerçek MGN'ye ulaşıldığının tespit edilememesidir. Kısıtlamalarına rağmen S&G algoritması hala popülerliğini korumaktadır [7].

2.3.2.2. Artımlı İletkenlik Algoritması

Artımlı İletkenlik (Incremental Conductance) algoritması, FV dizisi güç eğrisi eğiminin (dP/dV) MGN'de sıfıra eşit, MGN'nin solunda pozitif, MGN'nin sağında negatif olması üzerine kuruludur [51]. MGN'ye ulaşıldığında akımda bir değişiklik olana dek MGN izleyici bu noktada çalışmayı sürdürür. Akımdaki bu değişiklik ışınımında bir değişiklik ile ilişkilendirilir. Güç eğrisinin eğiminde (dP/dV) güç yerine $I*V$ yazılırsa Eşitlik 2.6 elde edilir.

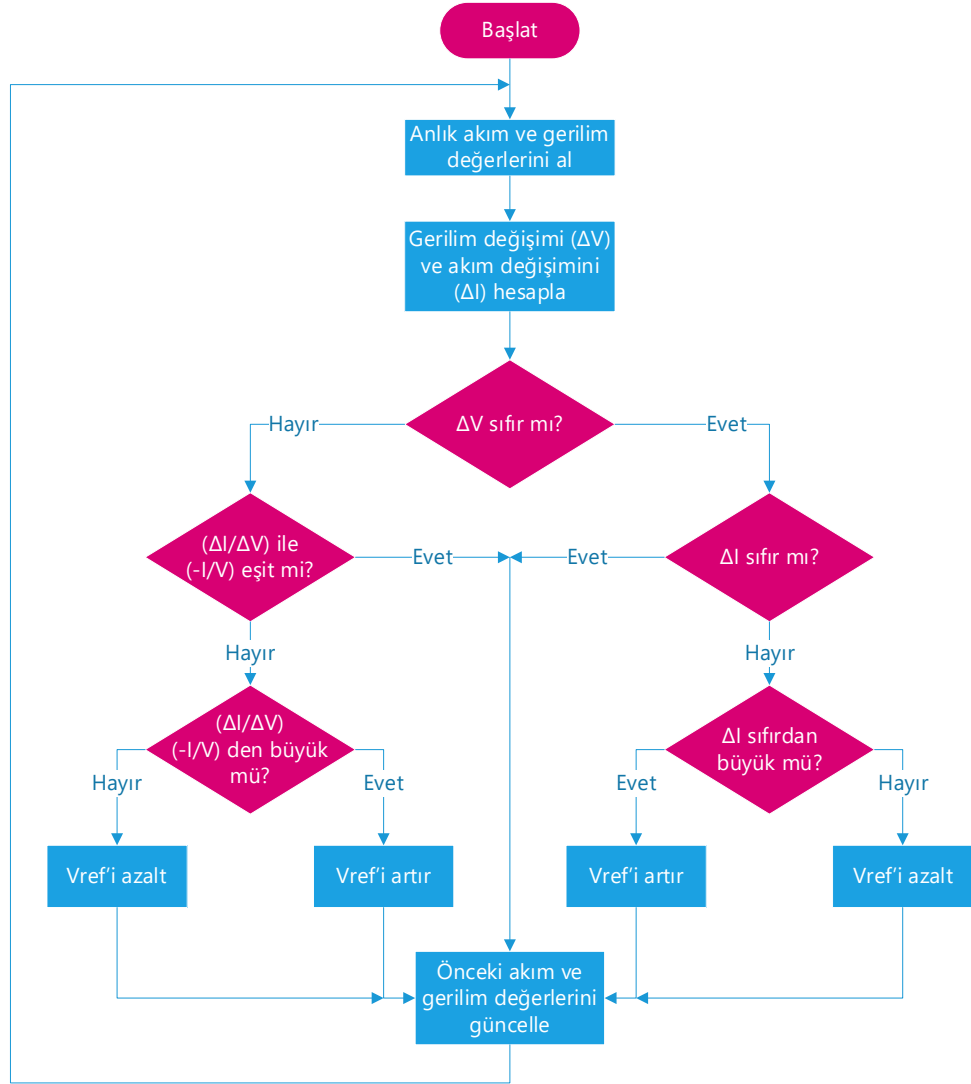
$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(I * V)}{dV} = I * \frac{dV}{dV} + V * \frac{dI}{dV} = I + V * \frac{dI}{dV} \quad (2.6)$$

dI/dV artımlı iletkenlik, I/V ise anlık iletkenliktir. AI algoritmasında yapılmaya çalışılan, mutlak anlık iletkenlik değerinin artımlı iletkenlik değerine eşit olduğu çalışma gerilimini yakalamaktır. Bu durum Eşitlik 2.7'te gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dV} = 0, \text{ eğer } \frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} & \quad \text{Çalışma noktası MGN'de} \\ \frac{dP}{dV} > 0, \text{ eğer } \frac{dI}{dV} > -\frac{I}{V} & \quad \text{Çalışma noktası MGN'nin solunda} \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$\frac{dP}{dV} < 0, \text{ eğer } \frac{dI}{dV} < -\frac{I}{V} \quad \text{Çalışma noktası MGN'nin sağında}$$

Aİ algoritması akış diyagramı Şekil 2.13'de gösterilmiştir. FV dizi akım ve geriliminin mevcut ve önceki değerleri dI ve dV değerlerinin hesaplanması için kullanılır. $dV=0$ ve $dI=0$ ise atmosferik koşullar değişmemiş ve FV dizisi MGN'de çalışıyordur. $dV=0$ ve $dI>0$ ise ışınım miktarı artmış, MGN gerilimi yükselmiş ve MGNİ'nin, MGN'yi izleyebilmesi için FV dizi çalışma gerilimini artırması gerekir. Tersine $dI<0$ ise ışınım miktarı azalmış, MGN gerilimi düşmüştür ve MGNİ'nin FV dizi çalışma gerilimini azaltması gerekir.



Şekil 2.13. Artımlı İletkenlik algoritması akış diyagramı.

Referans gerilimini değiştirme adım değeri ne kadar hızlı MGN izleneceğini belirler. Daha büyük adım değerleri ile hızlı MGN izleme başarılıdır. Ancak sistem tam olarak MGN’de çalışmayabilir ve kararlı halde salınım olabilir.

Aİ algoritmasının S&G algoritmasına göre en önemli üstünlüğü, MGN’ye ulaşılabilmesi için çalışma noktasının kaydırılması gereken yönün doğru hesaplanabilmesi ve MGN’ye ulaşıldığının tespit edilebilmesidir. S&G algoritmasının aksine hızlı ışıınım değişimlerinde yanlış yönde sarsma nedeniyle MGN izleyememe sorunu yoktur [52].

Aİ ve S&G algoritmaları FV dizi gerilim ve akımının ölçülmesi için iki algılayıcı, hesaplamaların kolayca yapılabilmesi için DSP veya mikrodenetleyicili denetim gerektirir [52].

2.3.2.3. Standart Yarasa Algoritması

Yarasa algoritması (YA) 2010 yılında Xin-She Yang tarafından geliştirilmiş yeni popülasyon tabanlı meta-sezgisel yaklaşımdır. YA için idealleştirilmiş üç kural tanımlanmıştır [40].

- Tüm yarasalar mesafe algılamak için ekolokasyon (yankılı yer belirleme) kullanır. Ayrıca yarasalar yemek/av ve engeller arasındaki farkı bilir.
- Yarasalar av aramak için sabit bir f_{min} frekansı, değişen λ dalgaboyu ve A_0 ses şiddeti ile x_i konumunda v_i hızıyla rastgele uçar. Yarasalar hedeflerinin yakınlığına göre yaydıkları darbelerin dalgaboyunu (ya da frekansını) ve darbe yayma oranını $r \in [0,1]$ otomatik olarak ayarlayabilir.
- Ses şiddetinin birçok şekilde değiştirilebilmesine rağmen büyük bir A_0 değerinden minimum A_{min} sabit değerine değiştiği varsayılacaktır.

Uygulama kolaylığı için problem uygun herhangi bir dalgaboyu kullanılabilir. Dalgaboyu kullanım zorunluluğu yoktur. Onun yerine frekans da değiştirilebilir. Kolaylık olması açısından frekans $[0, f_{max}]$ aralığında alınabilir. Yüksek frekans kısa dalgaboyuna sahiptir ve bu da kısa mesafe bir seyahate neden olur. Darbe oranı basitçe

[0-1] arasında belirlenebilir. Darbe oranının sıfır olması hiç darbe yayılmaması, bir olması maksimum oranda darbe yayılması anlamına gelir [40].

Standart YA'nın sözde (pseudo) kodu [40] aşağıda verilmiştir.

*Yarasa popülasyonunu başlat, x_i ve v_i ($i=1,2,\dots,n$)
 x_i deki darbe frekansını belirle
Ses şiddetini (A_i) ve darbe oranını (r_i) başlat
while ($t < \text{Maksimum iterasyon sayısı}$)
 Frekansını ayarlayarak yeni çözümler üret,
 Hızları ve konumları/çözümleri güncelle [Eşitlik (2.8), (2.9) ve (2.10)]
 if ($\text{rand} > r_i$)
 En iyi çözümler arasından bir çözüm seç
 Seçilen en iyi çözüm çevresinde yerel bir çözüm üret [Eşitlik (2.11) ve (2.12)]
 end if
 Rastgele yürümek suretiyle yeni bir çözüm üret
 if ($\text{rand} < A_i \ \& \ f(x_i) < f(x_*)$)
 Yeni çözümleri kabul et
 r_i artır, A_i azalt [Eşitlik (2.13) ve (2.14)]
 end if
 *Yarasaları sırala ve mevcut en iyiyi bul, x_**
end while
*Sonuçları işle ve görüntüle**

YA'da başlangıçta x_i yarasa konumları, r_i darbe oranı, A_i ses şiddeti, f_i darbe frekansı, ve V_i hız parametreleri rastgele olarak belirlenir. Ana döngü içinde yarasaların x_i^t konumu ve V_i^t hızı her t zaman adımında güncellenir (Eşitlik 2.8 - 2.10) [40].

$$f_i = f_{\min} + (f_{\max} - f_{\min}) \cdot \beta \quad (2.8)$$

$$v_i^t = v_i^{t-1} + (x_i^{t-1} - x_*) \cdot f_i \quad (2.9)$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t \quad (2.10)$$

Burada β , [0-1] aralığında tekdüze dağılım gösteren bir rastgele vektördür. x_* , tüm yarasaların çözümleri arasındaki mevcut genel en iyi çözümdür.

[0-1] aralığında rastgele olarak üretilen bir sayı yarasanın darbe yayma oranından büyük ise yerel arama süreci yürütülür. Yerel arama sürecinde kullanılan eşitlikler Eşitlik 2.11 ve 2.12’da verilmiştir.

$$x_{new} = x_* + \epsilon A^t \quad (2.11)$$

$$A^t = \langle A_i^t \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_i^t \quad (2.12)$$

Burada $\epsilon \in [-1,1]$ rastgele bir sayı, A^t tüm yarasaların bu zaman adımıdaki ortalama ses şiddeti ve N yarasa sayısıdır.

Yerel aramada, her yarasa mevcut en iyi çözüm çevresinde rastgele yürüyerek çözümünü günceller. Yarasalar avına yaklaştıkça ses şiddeti azalır ve darbe yayma oranı artar (Eşitlik 2.13 ve 2.14). Darbe yayma oranının artması yerel arama olasılığını azaltır ve yarasaların kendi çözümleri çevresinde yeni çözüm üretmelerini sağlar. Ses şiddetinin azalması yerel arama sürecindeki rastgele yürüme adımı küçültür. Bu işlem, en iyi çözüm bölgesini yakınlaştırma olarak adlandırılabilir. Ses şiddetinin 0 olması ise bir yarasanın avını yeni bulduğunu ve geçici olarak ses yaymayı durdurduğunu gösterir.

$$A_i^{t+1} = \alpha A_i^t \quad (2.13)$$

$$r_i^{t+1} = r_i^0 [1 - \exp(-\gamma t)] \quad (2.14)$$

Burada α ve γ sabittir. Basitlik için $\alpha = \gamma$ kullanılabilir. Parametrelerin seçimi biraz deneyim gerektirir. Başlangıçta her bir yarasa farklı ses şiddeti ve darbe yayma oranına sahip olmalıdır.

YA, Genetik Algoritma ve PSO gibi diğer sezgisel algoritmalara karşı test edilmiştir. Benzetim sonucunda doğruluk ve verimlilik açısından YA’nın diğer iki yöntemden üstün olduğu belirtilmiştir [40].

Yarasaların konumları ve hızlarının güncellenmesi standart PSO'daki yordama benzerlik göstermektedir. f_i frekansı değişimi yerine rastgele bir parametre koyup, $A_i = 0$ ve $r_i = 1$ olarak ayarlarsanız YA, standart PSO'ya dönüşmektedir. Benzer şekilde hızları kullanmayıp, sabit ses şiddeti ve darbe oranı (örneğin $A_i = r_i = 0.7$) kullanırsanız YA basit bir Uyum Arayışı (Harmony Search) algoritmasına indirgenir [40].

YA potansiyel olarak PSO, Genetik Algoritma ve Uyum Arayışı yöntemlerinden daha güçlüdür. Bunun birinci nedeni YA'nın belirtilen yöntemlerin başlıca üstünlüklerinin iyi bir birleşimini kullanmasıdır. Dahası PSO ve Uyum Arayışı, uygun sadeleştirmeler altında YA'nın özel durumlarıdır [40].

BÖLÜM 3

GELİŞTİRİLEN MGNİ YÖNTEMLERİ VE BENZETİM MODELLERİ

MGNİ yönteminden, iklimsel ve çevresel koşulların tekdüze değişimi, hızlı ışıınım değişimi, kısmi gölgelenme ve yük empedansı değişimi gibi durumlarda FV sistemin maksimum güç noktasını bulması ve izlemesi, durum değişimlerine hızla uyum sağlaması beklenmektedir. Geleneksel MGNİ algoritmaları günlük olağan, tekdüze ışıınım ve sıcaklık değişimi durumlarında başarılı olmakta iken hızlı ışıınım değişimi ve özellikle kısmi gölgelenme durumunda başarısız olabilmektedir. Hızlı ışıınım değişimi durumunda bir süre ters yönde arama ve kısmi gölge koşulunda (KGK) genel MGN yerine yerel MGN'ye takılma sorunu meydana gelmektedir. Bu sorunlar FV güç kayıplarına neden olmaktadır. Esnek hesaplama yöntemleri ise genellikle KGK altında başarılı olabilmektedir. Ancak MGN arama süreçleri nispeten daha çok güç kaybına neden olduğundan, gün içerisinde yavaş ve küçük ışıınım ve sıcaklık değişimlerine uyum konusunda geleneksel MGNİ yöntemleri kadar başarılı değildir.

Bu çalışmada, KGK altında genel MGN'yi ve/veya bölgesini tespit etmek için Yasaklı Yarasa algoritması ve küçük ışıınım ve sıcaklık değişimleri durumlarında hızlı bir şekilde MGN izlemek için Aİ algoritmasının kullanıldığı karma bir MGNİ yöntemi tercih edilmiştir.

MGNİ yöntemi başarımını görmek için MATLAB/Simulink'te bir FV sistemin benzetim modeli hazırlanmıştır. Ayrıca, literatürde sözü edilen kısmi gölgelenme sorununu değerlendirmek, çok tepeli P-V karakteristik eğrileri incelemek ve MGNİ yöntemi başarımı için referans oluşturmak için ikincil bir FV sistem modellenmiştir. İkincil FV sistem üzerinde yapılan benzetimler ile MGNİ yöntemi benzetimlerinde kullanılacak test koşulları tanımlanmıştır.

S&G ve Aİ algoritmaları MATLAB işlevleri yazılmış ve MGNİ'li FV sistem üzerinde, tanımlanan test koşulları altında benzetimleri yapılmıştır. S&G ve Aİ algoritmalarının benzetim sonuçları, geliştirilen MGNİ yöntemi için karşılaştırma amaçlı olarak kullanılmıştır.

Standart Yarasa algoritması (YA), MGNİ için uygun hale getirilerek, MATLAB işlevi yazılmış ve aynı FV sistem üzerinde aynı test koşulları altında benzetimleri yapılmıştır. S&G ve YA algoritmaları benzetim sonuçları karşılaştırılarak üstünlük ve kısıtlamaları görülmüştür. S&G ve YA algoritmalarının üstünlüklerine sahip karma MGNİ yöntemi geliştirilerek aynı FV sistem üzerinde aynı test koşulları altında benzetimleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar ve sonuçları, uluslararası bir konferansta sunulmuştur [53].

Genel MGN'ye yakınsama oranını artırmak ve yerel MGN tuzaklarına takılma olasılığını azaltmak için Yarasa algoritması, yasaklama özelliği eklenerek değiştirilmiştir. Yasaklı YA ve S&G algoritması ile karma MGNİ yöntemi geliştirilerek, artırılan test koşulları altında benzetimleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar ve sonuçları, uluslararası bir makale ile yayımlanmıştır [27].

Yasaklı YA ve Aİ algoritması ile karma MGNİ yöntemi geliştirilerek, aynı test koşulları altında benzetimleri yapılmıştır. Yapılan çalışmalar ve sonuçları, uluslararası bir konferansta sunulmuştur [54].

Son olarak Yasaklı YA daha da geliştirilerek, Aİ algoritması ile oluşturulan karma MGNİ yönteminin benzetimleri, geliştirilmiş FV sistem modeli üzerinde ve deneyleri, kurulan deneysel FV sistem üzerinde yapılmıştır. Geliştirilen karma MGNİ yönteminin son sürümü ile önceki türevlerinden, standart YA'dan, S&G ve Aİ algoritmalarından daha üstün başarımlar elde edilmiştir.

3.1. GELİŞTİRİLEN STANDART YA TABANLI MGNİ YÖNTEMLERİ

Yerel MGN'lere yakınsamayı artırdığı için yarasa başlangıç çözümleri/konumları rastgele olarak belirlenmemiştir. Yarasaların başlangıç çözümleri eşit aralıklarla

daraltılmış çözüm uzayına yayılmıştır. Yarasa başlangıç çözümleri (iş çevrim oranları) tüm çalışmalarda % 15, % 30, % 45, % 60 ve % 75 olarak kullanılmıştır. Bu iş çevrim oranları FV sisteme uygun olarak belirlenmiştir.

Geliştirilen MGNİ yöntemlerinde YA tek başına kullanılmadığı için yineleme sürecinin, tüm yarasaların genel MGN'ye yakınsamasına kadar sürdürülmesine gerek görülmemiştir. Ayrıca yineleme süreci, güç kayıplarını artırdığı için nispeten az sayıda yapılmıştır. Yineleme sürecinde rastgele üretilen yarasa çözümleri yuvarlanarak, % 1'lik hassasiyet ile güncellenmiştir. % 1'in altındaki hassas tarama ikincil algoritmaya bırakılmıştır.

Tüm çalışmalarda yarasa sayısı 5 olarak alınmıştır ve darbe frekans sabiti β , darbe frekansı f_i , ve hız V_i rastgele olarak belirlenmiştir. Çalışmalarda örnekleme periyotları YA için 20 ms ve S&G için 1 ms olarak alınmıştır. S&G algoritmasının sadece genel MGN bölgesine MGN izleyecek olması nedeniyle ve MGN çevresindeki salınımları azaltmak için iş çevrim oranı sarsma adımı oldukça küçük, 0,001 olarak seçilmiştir.

3.1.1. Standart YA Tabanlı MGNİ Yöntemi

Standart YA tabanlı MGNİ yöntemi sözde kodu Bölüm 2'de verilen standart YA ile aynıdır. Standart YA'nın bazı parametrelerine, önerilen değerler [40] yerine MGNİ işlemine uygun değerler verilmiştir. Dört kez yürütülen yineleme sürecinde yarasa çözümleri % 1 duyarlılıkla güncellenmiştir. Bu yöntemde kullanılan YA parametre değerleri şu şekildedir:

- ses şiddeti güncelleme sabiti $\alpha = 0.9$,
- darbe yayma oranı güncelleme sabiti $\gamma = 0.85$,
- ses frekansı alt ve üst sınırları $f_{min} = 0$, $f_{max} = 1/6$,
- her yarasanın başlangıç ses şiddeti, A_i^0 [1, 2] aralığında rastgele,
- darbe yayma oranı üst sınırı, r_i^0 [0, 1] aralığında rastgele,
- yerel arama süreci ϵ parametresi [-0,11, 0,11] aralığında rastgele belirlenmiştir.

3.1.2. YA - S&G Karma MGNİ Yöntemi

Sonuçları uluslararası bir konferansta sunulan çalışmada [53] önerilen, YA ve S&G algoritmalarının dönüşümlü kullanıldığı, karma MGNİ yönteminde YA parametreleri şu şekilde seçilmiştir:

- tüm yarasaların başlangıç ses şiddeti $A_i^0 = 0.9$,
- ses şiddeti güncelleme sabiti $\alpha = 0.9$,
- darbe yayma oranı üst sınırı $r_i^0 = 0.95$,
- darbe yayma oranı güncelleme sabiti $\gamma = 0.8$,
- ses frekansı alt ve üst sınırları $f_{min} = 0$, $f_{max} = 1/5$,
- ortalama ses şiddeti, $A_i^t = 1$,
- yerel arama süreci ϵ parametresi $[-0,05, 0,05]$ aralığında rastgele,

Geliştirilen YA-S&G karma MGNİ yönteminin sözde kodu aşağıda verilmiştir.

*Yarasa popülasyonunu başlat, x_i ve v_i ($i=1,2,\dots,n$)
 x_i deki darbe frekansını belirle*

while (1)

Ses şiddetini (A_i) ve darbe oranını (r_i) başlat

while ($t < \text{Maksimum YA yineleme sayısı}$)

Frekansını ayarlayarak yeni çözümler üret,
Hızları ve konumları/çözümleri güncelle [Eşitlik (2.8), (2.9) ve (2.10)]

if ($\text{rand} > r_i$)

En iyi çözümler arasından bir çözüm seç,
Seçilen en iyi çözüm çevresinde yerel bir çözüm üret, [Eşitlik (2.11) ve (2.12)]

end if

Gelişigüzel uçmak suretiyle yeni bir çözüm üret,

if ($\text{rand} < A_i \ \& \ f(x_i) > f(x^*)$)

Yeni çözümleri kabul et
 r_i artır, A_i azalt [Eşitlik (2.13) ve (2.14)]

end if

*Yarasaları sırala ve mevcut en iyiyi bul, x^**

end while

do

S&G algoritması ile MGN izle

while ($\text{Güç değişimi} < \text{Sınırlı güç değişim parametresi}$)

end while

YA-S&G karma MGNİ yöntemi şu şekilde çalışmaktadır: Öncelikle başlangıç çözümleri ve iki yineleme süreci boyunca YA yürütülerek genel MGN tespit edilir, ardından S&G algoritması tespit edilen genel MGN'den çalışmaya başlar ve kısmi gölgelenme olana dek MGN izlemeyi sürdürür. FV dizi gücünde ani, büyük bir değişim kısmi gölgelenme olarak değerlendirilir ve MGNİ yöntemi baştan yürütülür. MGNİ yönteminin yeniden başlatılması için kullanılan ölçüt [21] Eşitlik 3.1'de verilmiştir.

$$\Delta P < \frac{|P_{(k)} - P_{(k-1)}|}{P_{(k-1)}} \quad (3.1)$$

Burada, ΔP sınırlı güç değişim parametresini, $P_{(k)}$ o anki FV gücü ve $P_{(k-1)}$ önceki FV gücü göstermektedir. Bu çalışmada $\Delta P=0,15$ olarak alınmıştır. Bu durumda FV diziden alınan güç 600 W iken aniden 510 W altına düşerse MGN yöntemi sıfırlanacaktır.

3.2. GELİŞTİRİLEN YASAKLI YA TABANLI MGNİ YÖNTEMLERİ

Yerel MGN tuzaklarına takılma olasılığını azaltmak ve genel MGN'ye yakınsama oranını artırmak için Yarasa algoritmasına, Tabu Arama algoritmasının tabu listesine benzer bir yasaklama özelliği eklenmiştir. Her yinelemede, üretilen yarasa çözümlerinin tamamı ya da bir kısmı yasak listesine kaydedilmiştir. Yarasa çözümleri güncellenirken yarasaların, yasak listesinde yer alan çözümlerden alması engellenmiştir.

3.2.1. Yasaklı YA - S&G Karma MGNİ Yöntemi

Sonuçları uluslararası bir dergide yayımlanan çalışmada [27] önerilen, Yasaklı YA ve S&G algoritmalarının dönüşümlü kullanıldığı, karma MGNİ yönteminde Yasaklı YA parametreleri şu şekilde seçilmiştir:

- tüm yarasaların başlangıç ses şiddeti $A_i^0 = 0.9$,
- ses şiddeti güncelleme sabiti $\alpha = 0.9$,

- darbe yayma oranı üst sınırı $r_i^0 = 0.98$,
- darbe yayma oranı güncelleme sabiti $\gamma = 0.85$,
- ses frekansı alt ve üst sınırları $f_{min=0}$, $f_{max} = 1/4$,
- ortalama ses şiddeti, $A_i^t = 1$,
- yerel arama süreci ϵ parametresi $[-0,05, 0,05]$ aralığında rastgele belirlenmiştir.

Önceki çalışmalardan farklı olarak, çözüm uzayının daha iyi taranması ve dolayısıyla yerel MGN'lere takılma olasılığı azaltılırken genel MGN'ye yakınsama oranının artırılması için Yasaklı YA yineleme süreci 5'e çıkarılmıştır. Kendi çözümünü geliştiren yarasaların mevcut en iyi çözüm çevresinde çözüm üretmeye yönelmemesi ve dolayısıyla kendi bölgesinde çözüm üretmeye devam etmesi için r_i^0 ve γ parametrelerinin değerleri artırılmıştır. Yarasaların ses frekansı üst sınırı % 25 artırılarak yarasaların çözüm uzayındaki hareket hızı artırılmıştır.

Yasaklı YA - S&G karma MGNİ yönteminin sözde kodu aşağıda verilmiştir.

Yarasa popülasyonunu başlat, x_i ve v_i ($i=1,2,\dots,n$)

x_i deki darbe frekansını belirle

while (1)

Ses şiddetini (A_i) ve darbe oranını (r_i) başlat

Yasak listesini temizle

Yeniden çözüm üretmeye zorlama (YÇÜZ) sayısını sıfırla

while ($t < \text{Maksimum YA yineleme sayısı}$)

do

Frekans ayarlayarak yeni çözümler üret,

Hızları ve konumları/çözümleri güncelle [Eşitlik (2.8), (2.9) ve (2.10)]

YÇÜZ sayısını artır

if ($\text{rand} > r_i$)

En iyi çözümler arasından bir çözüm seç,

Seçilen en iyi çözüm çevresinde yerel bir çözüm üret, [Eşitlik (2.11) ve (2.12)]

end if

Gelişigüzel uçmak suretiyle yeni bir çözüm üret

while ($\text{Yeni çözümler yasak listesinde var mı?} \ \&\& \ \text{YÇÜZ sayısı} < \text{YÇÜZSP}$)

if ($\text{Hala yasak listesinde olan çözümler var mı?}$)

Yasak listesinde yer alan çözümleri en iyi çözümle değiştir

endif

if ($\text{rand} < A_i \ \& \ f(x_i) > f(x^*)$)

Yeni çözümleri kabul et

r_i artır, A_i azalt [Eşitlik (2.13) ve (2.14)]

end if


```
Yarasaları sırala ve mevcut en iyiyi bul, x*
En iyi çözüm dışındakileri yasak listesine ekle
end while
do
  S&G algoritması ile MGN izle
  while (Güç değişimi < Sınırlı güç değişim parametresi)
end while
```

Yasaklı YA-S&G karma MGNİ yöntemi genel olarak YA-S&G karma MGNİ yöntemi ile aynı şekilde çalışmaktadır. Aradaki fark, yarasaların yeni çözüm üretme sürecinde en iyi çözüm hariç, kendisinin ya da diğer yarasaların ürettiği önceki çözümleri üretememesinde yatmaktadır. Yarasaların yasak listesinde olmayan çözüm üretememesi durumunda, yöntemin kilitlenmemesi için yeni çözüm üretmeye zorlama sayısı 3 (YÇÜZSP) ile sınırlandırılmıştır. Yarasa 3 kez yeni çözüm üretmeye zorlanmasına rağmen yasak olmayan çözüm üretemez ise en iyi çözümü alması sağlanmıştır.

3.2.2. Yasaklı YA – Aİ Karma MGNİ Yöntemi

Sonuçları uluslararası bir konferansta sunulan çalışmada [54] önerilen, Yasaklı YA ve Aİ algoritmalarının dönüşümlü kullanıldığı, karma MGNİ yöntemi Yasaklı YA parametreleri önceki çalışmadaki gibi seçilmiştir. Yasaklı YA-Aİ MGNİ yöntemi sözde kodu, S&G algoritması yerine Aİ algoritması kullanılması dışında aynıdır. Bu çalışmada Yasaklı YA çalışma sürecinin güç kayıplarını artırması dolayısıyla nispeten küçük güç değişimlerinde MGNİ yönteminin sıfırlanmaması için sınırlı güç değişim parametresi 0,3 olarak değiştirilmiştir. Aİ algoritması iş çevrim oranı sarsma adımı S&G algoritmasında olduğu gibi 0,001 olarak seçilmiştir.

3.2.3. Önerilen Yasaklı YA-Aİ Karma MGNİ Yöntemi

Önerilen karma MGNİ yönteminde Yasaklı YA'dan sonra Aİ algoritması yürütüldüğü için çözüm yineleme sürecinde tüm yarasaların genel MGN'ye yakınsamasından ziyade çözüm uzayının daha iyi taranması esas alınmıştır. Bu nedenle yarasaların çözüm uzayında daha fazla farklı çözüm üretebilmelerini sağlayan bazı geliştirmeler yapılmıştır. Yapılan değişikliklerle yarasaların, çözüm güncelleme sürecinde daha

önce kendisi ya da diğer yarasalar tarafından hiç üretilmeyen bir çözüm üretmesi sağlanmaktadır.

Önerilen karma MGNİ yönteminde sınırlı güç değişim parametresi 0,2 ve yeni çözüm üretmeye zorlama sayısı sınırlama parametresi (YÇÜZSP) 3 olarak kullanılmıştır. Aİ algoritması iş çevrim oranı sarsma adımı, önceki çalışmalar ile aynı biçimde, 0,001 olarak seçilmiştir. Önerilen karma MGNİ yöntemi Yasaklı YA parametreleri aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

- tüm yarasaların başlangıç ses şiddeti (A_i^0) [0,85, 1] aralığında rastgele,
- ses şiddeti güncelleme sabiti $\alpha = 0.9$,
- darbe yayma oranı üst sınırı $r_i^0 = 0.98$,
- darbe yayma oranı güncelleme sabiti $\gamma = 0.85$,
- ses frekansı alt ve üst sınırları $f_{min=0}$, $f_{max} = 1/6$,
- yerel arama süreci ϵ parametresi [-0,11, 0,11] aralığında rastgele belirlenmiştir.

Aşağıda, tüm çalışmalar sonucunda önerilen, Yasaklı YA-Aİ karma MGNİ yönteminin sözde kodu verilmiştir.

while (1)

Yarasa popülasyonunu başlat, x_i ve v_i ($i=1,2,\dots,n$)

Ses şiddetini (A_i) ve darbe oranını (r_i) başlat

Yasak listesini temizle

Yeniden çözüm üretmeye zorlama (YÇÜZ) sayısını sıfırla

Yarasaları başlangıç konum/çözümlerinde uçur, $f(x_i)$ ($i=1,2,\dots,n$)

*Yarasa çözümlerini ürettikleri güce göre sırala ve mevcut en iyi çözümü bul, x^**

Tüm çözümleri yasak listesine ekle

while ($t < \text{Maksimum YA yineleme sayısı}$)

for $i = 1$ to N

do

Frekans (f_i) ayarlayarak yeni çözümler üret,

Hızları ve konumları/çözümleri güncelle [Eşitlik (2.8), (2.9) ve (2.10)]

YÇÜZ sayısını artır

if ($\text{rand} > r_i \parallel \text{YÇÜZ sayısı} > \text{YÇÜZSP} \parallel \text{Çözüm en iyi çözüm ile aynı mı?}$)

En iyi çözüm çevresinde yerel bir çözüm üret, [Eşitlik (2.11) ve (2.12)]

end if

while (*Yeni çözümler yasak listesinde var mı? && YÇÜZ sayısı < YÇÜZSP*)

YÇÜZ sayısını sıfırla

```

Yarasayı yeni konum/çözümünde uçur,  $f(x_i)$ 
if ( $\text{rand} < A_i \ \&\& \ f(x_i) > f(x^*)$ )
    Yeni çözümü kabul et
     $r_i$  artır,  $A_i$  azalt [Eşitlik (2.13) ve (2.14)]
end if
if ( $f(x_i) > f(x^*)$ )
    En iyi çözümü güncelle
end if
    Yeni çözümü yasak listesine ekle
end
end while
do
    Aİ algoritması ile MGN izle
    while ( $\text{Güç değişimi} < \text{Sınırlı güç değişim parametresi}$ )
end while

```

Önerilen Yasaklı YA-Aİ karma MGNİ yöntemi genel olarak önceki karma MGNİ yöntemi ile aynı şekilde çalışmaktadır. Aradaki fark, belirlenen sayıda yeni çözüm üretmeye zorlama işlemi sonunda yarasaların yasak listesinde bulunmayan çözüm üretememeleri durumunda, mevcut çözümlerinin en iyi çözüm yerine en iyi çözüm çevresindeki yeni bir çözüm ile değiştirilmesinde yatmaktadır. Ayrıca en iyi çözüm yasak listesine eklenerek, yarasaların yineleme sürecinde en iyi çözümü tekrar tekrar üretmesi engellenmiştir.

3.3. BENZETİM MODELLERİ

Referans olarak kullanılacak, MGNİ yöntemi benzetimlerinde kullanılacak test koşullarının karakteristiklerini elde etmek amacıyla test koşulu benzetim modeli ve belirlenen test koşulları altında MGNİ yöntemlerinin başarımlarını görebilmek amacıyla MGNİ’li FV sistem benzetim modeli MATLAB/Simulink’te hazırlanmıştır.

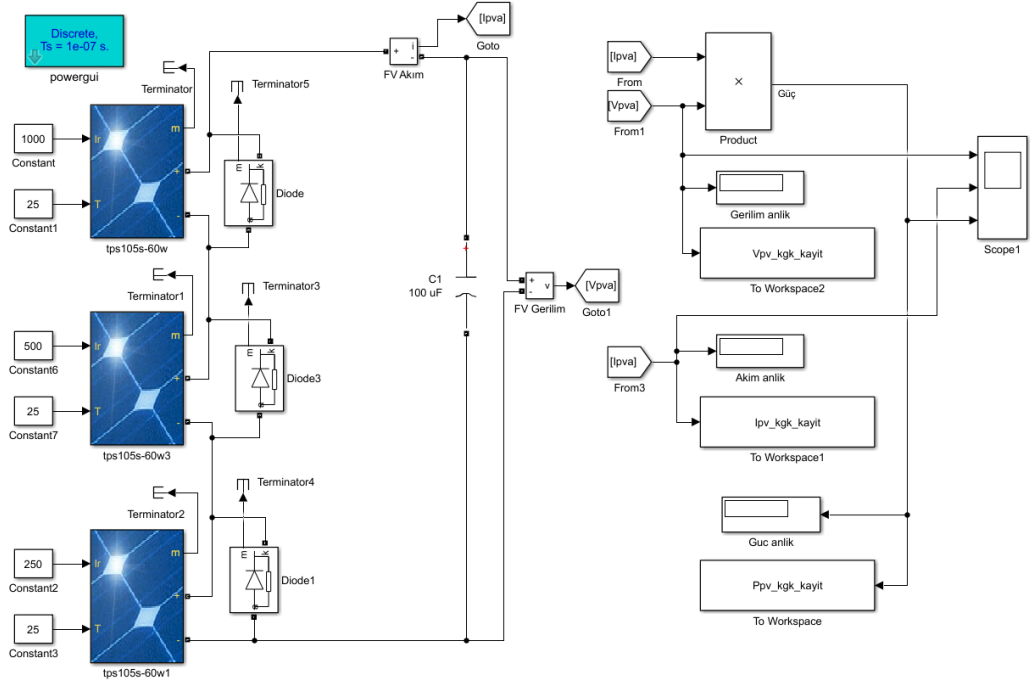
Hazırlanan benzetim modellerinde Simscape kütüphanesinden bloklar kullanıldığı için modellere Powergui bloğu eklenmiştir. Powergui bloğunun örnekleme süresi ve benzetim tipi parametreleri sırasıyla, 1e-07 (100 ns) ve Discrete (ayrık) olarak ayarlanmıştır. Benzetimler sırasında üretilen iş çevrim oranı, FV gerilim ve FV güç gibi değerlerin grafiksel olarak izlenebilmesi için Scope bloğu kullanılmıştır.

Her iki modelde aynı özellikte olan FV dizi, MGNİ yönteminin KGK altındaki başarımını test edebilme amacıyla, en zorlu P-V karakteristik eğrilerini üretmesi sebebiyle seri olarak yapılandırılmıştır. Çoğu çalışmada, Walker'ın [55] çalışmasında verilen MATLAB FV modeli, KC200GT FV modülü karakteristiklerine göre düzenlenerek kullanılmıştır. Son yapılan çalışmalarda FV modül modeli olarak PV Array bloğu kullanılmıştır. PV Array bloğu bir FV modülü temsil edeceği için Array Data parametreleri (paralel dize sayısı ve dizeyi oluşturan seri bağlı FV modül sayısı) 1 olarak ayarlanmıştır. Her PV Array bloğunun FV hücre sayısı, V_{OC} , I_{SC} , V_{MPP} ve I_{MPP} parametreleri, 60 Wp'lik TPS105S FV modülü karakteristiklerine uygun olarak sırasıyla 72, 22.32 V, 3.56 A, 18 V ve 3.33 A olarak ayarlanmıştır. V_{OC} sıcaklık katsayısı ve I_{SC} sıcaklık katsayısı parametreleri, TPS105S FV modülü için yayınlanmadığı için aynı firmanın benzer özellikteki bir FV modülüne uygun şekilde, sırasıyla -0.37139 ve 0.0309 olarak ayarlanmıştır. FV modüllerine ters ve paralel olarak bağlanan atlatma diyotlarının ileri yön gerilimi (V_F) parametresi, 15SQ045 schottky diyodu karakteristiklerine uygun şekilde, 0.35 V olarak ayarlanmıştır. Belirtilen ileri yön gerilimi, diyot verisayfasında 50 °C sıcaklık ve 5 A ileri yön akımı için verilmiştir. Yeterli veri elde edilemeyen diğer diyot parametreleri için varsayılan değerler kullanılmıştır.

3.3.1. Test Koşulu Benzetim Modeli

Işınım ile sıcaklık değişimlerinin ve kısmi gölgelenmenin FV dizi karakteristik eğrileri üzerindeki etkisini gözlemlemek, MGNİ yöntemi benzetimlerinde kullanılmak üzere test koşulları belirlemek, belirlenen test koşullarının I-V ve P-V karakteristiklerini kaydetmek ve MGN'sini belirlemek amacıyla hazırlanan test koşulu benzetim modeli Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Test koşulu benzetim modeli, FV diziye paralel bağlı, nispeten yüksek kapasiteli bir kondansatörün FV dizi ile şarj edilmesi sırasında FV gerilim, FV akım değerlerinin sürekli ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Ölçülen FV gerilim ve FV akım değeri çarpılarak FV güç değeri elde edilmiş ve elde edilen bu üç değer Workspace'e kaydedilmiştir.



Şekil 3.1. Test koşulu benzetim modeli.

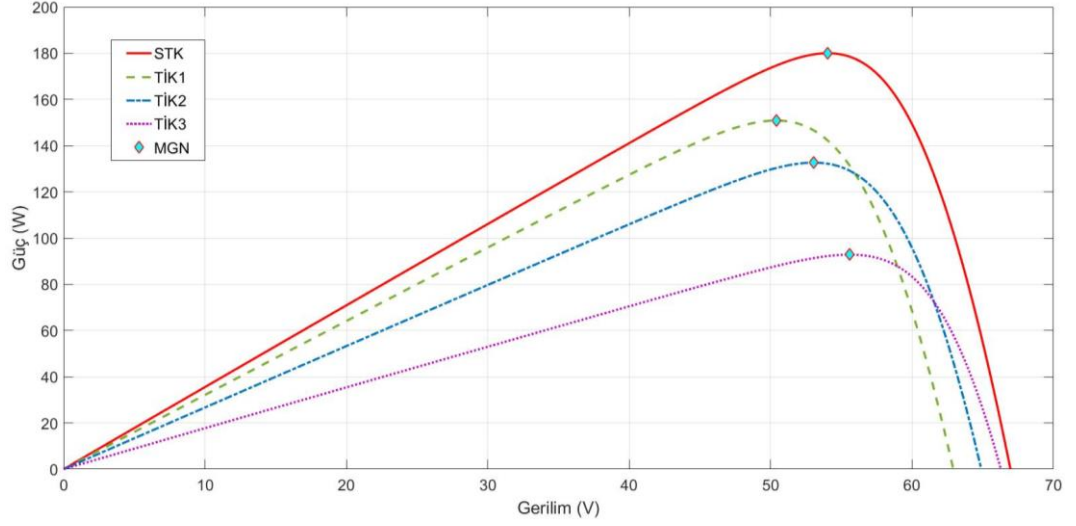
MGNİ yöntemi benzetimlerinde kullanılmak üzere tanımlanan test koşulları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Benzetim test koşulları.

Test koşulu	FV modül-1		FV modül-2		FV modül-3	
	Işınım (W/m ²)	Sıcaklık (°C)	Işınım (W/m ²)	Sıcaklık (°C)	Işınım (W/m ²)	Sıcaklık (°C)
STK	1000	25	1000	25	1000	25
TİK1	900	40	900	40	900	40
TİK2	750	30	750	30	750	30
TİK3	500	20	500	20	500	20
KGK1	800	25	200	15	200	15
KGK2	400	25	800	40	1100	50
KGK3	300	30	900	50	400	35

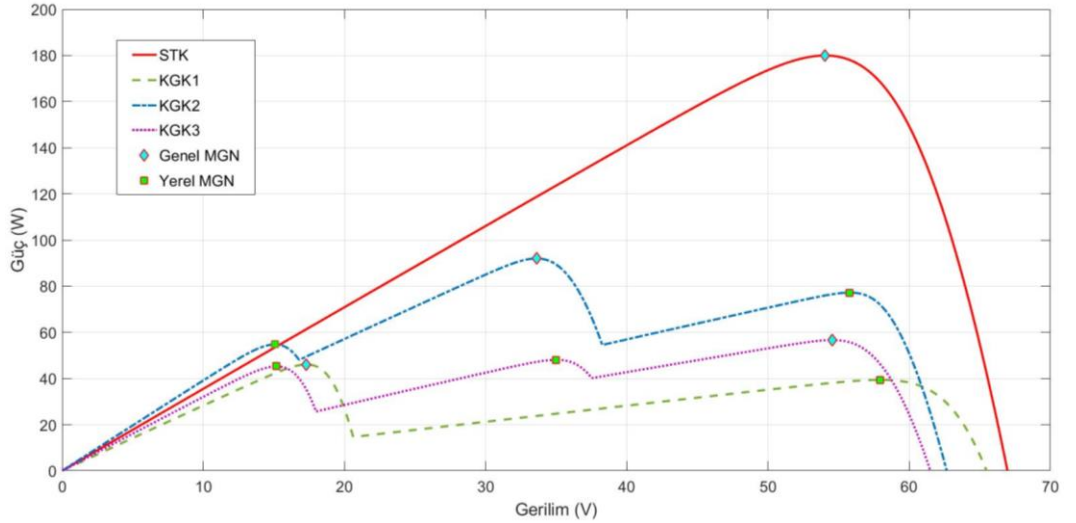
Tanımlanan test koşulları olan tekdüze iklim koşulları (TİK) ve kısmi gölge koşullarının (KGK) P-V eğrileri Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Standart test

koşulu, referans amaçlı olarak her iki grafiğe eklenmiştir. STK altında MGN 179,97 W'lık MGN elde edilmiştir.



Şekil 3.2. Tekdüze iklim benzetim test koşulları P-V eğrileri.

TİK1 altında 150,85 W'lık, TİK2 altında 132,63 W'lık ve TİK3 altında 92,83 W'lık MGN elde edilmiştir.



Şekil 3.3. Kısmi gölgeli benzetim test koşulları P-V eğrileri.

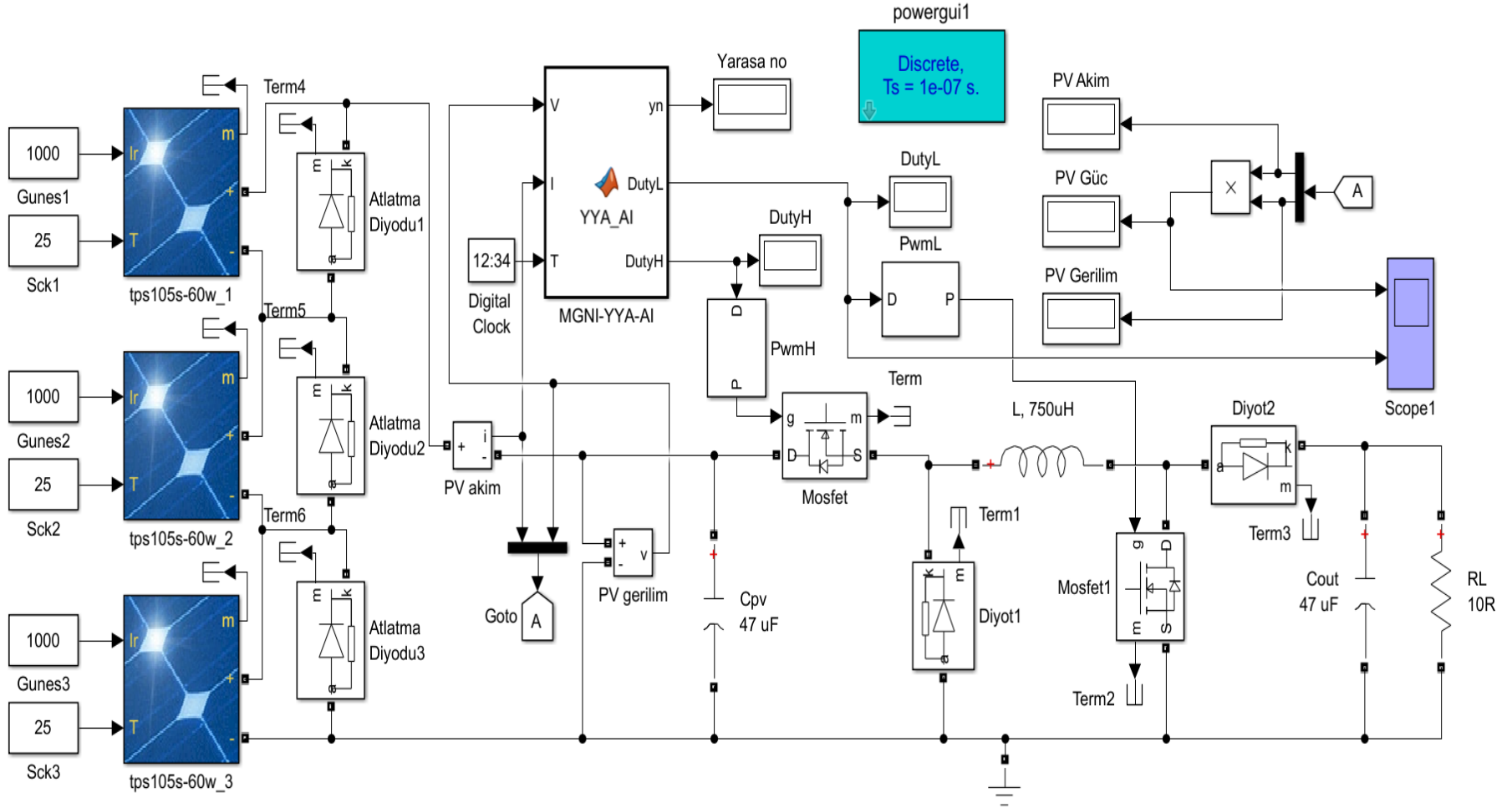
KGK1 altında 46,07 W'lık genel MGN ve 39,39 W'lık bir yerel MGN, KGK2 altında 92,02 W'lık genel MGN, 77,22 W ve 54,76 W'lık iki yerel MGN ve KGK3 altında 56,66 W'lık genel MGN, 48,07 W ve 45,26 W'lık iki yerel MGN elde edilmiştir.

3.3.2. MGNİ'li FV Sistem Benzetim Modeli

Önerilen Yasaklı YA-Aİ karma MGNİ yönteminin ve karşılaştırma amaçlı olarak kullanılacak diğer MGNİ yöntemlerinin benzetimlerinin yapıldığı, MGN'li FV sistemin MATLAB/Simulink benzetim modeli Şekil 3.4'de gösterilmiştir.

MGNİ yöntemi kodları YYA-AI MATLAB işlevi içine yazılmıştır. MATLAB işlevine giriş olarak, FV diziden ölçülen anlık FV gerilim ve FV akım değerleri ile MGNİ yöntemini örnekleme periyotlarına uygun olarak çalıştırmak için örnekleme zamanı 1 ms olarak ayarlanan Digital Clock çıkışı verilmiştir. MATLAB işleviden çıkış olarak ise DA-DA dönüştürücü MOSFET'leri için üretilen PWM işareti iş çevrim oranları ve aktif yarıya numarası alınmıştır. PWM işareti iş çevrim oranlarından MOSFET'leri sürececek PWM işareti üretmek için anahtarlama frekansı parametresi 50 kHz olarak ayarlanan PWM Generator (DC-DC) bloğu kullanılmıştır.

FV dizinin P-V karakteristik eğrisinin tüm bölgelerinde MGN izleyebilmesi, farklı modlarda çalıştırılabilmesi ve çıkışının terslenmemesi nedeniyle Evirmeyen Alçaltıcı-Yükseltici tipte DA-DA dönüştürücü kullanılmıştır. DA-DA dönüştürücü giriş kondansatörü (C_{PV}) ve çıkış kondansatörü (C_{OUT}) 47 μ F, bobin (L) 750 μ H ve yük direnci 10 Ω olarak ayarlanmıştır. Bobin değeri DA-DA dönüştürücünün CCM modunda çalışmasını sağlayacak minimum değer üzerinde olacak şekilde, proje çalışmaları için kullanılan toroid bobinin değeri ile aynı ayarlanmıştır. DA-DA dönüştürücü diyotlarının ileri yön gerilimi (V_F), STPS20200CT güç şotki diyodu karakteristiklerine uygun şekilde, 0,86 V olarak ayarlanmıştır. Belirtilen ileri yön gerilimi, diyodun veri sayfasında 25 °C sıcaklık ve 10 A ileri yön akımı için verilmiştir. DA-DA dönüştürücü MOSFET'lerinin R_{ON} ve dahili diyot ileri yön gerilimi (V_F) parametreleri IRFP260N güç MOSFET'i karakteristiklerine uygun şekilde, sırasıyla 0,04 Ω ve 1,3 V olarak ayarlanmıştır. Belirtilen R_{ON} direnç değeri, MOSFET verisayfasında 25 °C sıcaklık, 10 V V_{GS} gerilimi ve 28 A I_D akımı için verilmiştir. Belirtilen dahili diyot ileri yön gerilimi, MOSFET verisayfasında verilen maksimum değerdir. Yeterli veri elde edilemeyen diğer diyot ve MOSFET parametreleri için varsayılan değerler kullanılmıştır.

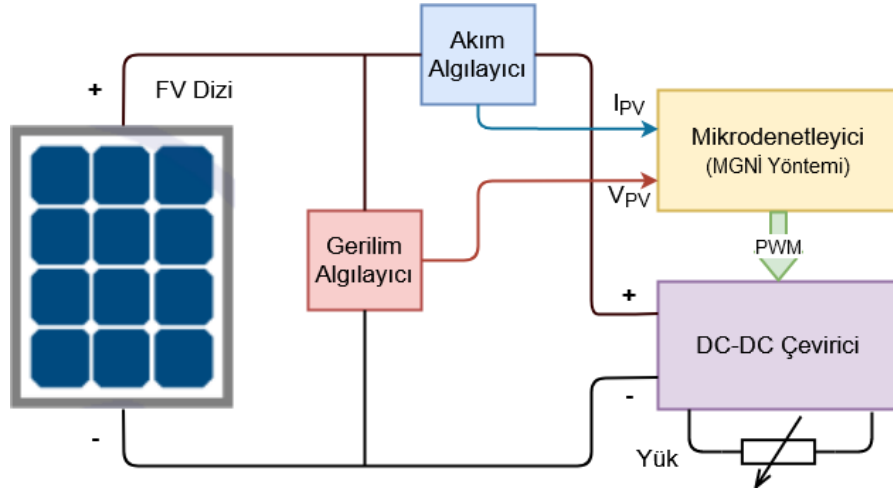


Şekil 3.4. MGNI'li FV sistem benzetim modeli.

BÖLÜM 4

MGNİ YÖNTEMİ DENEY DÜZENEGİ

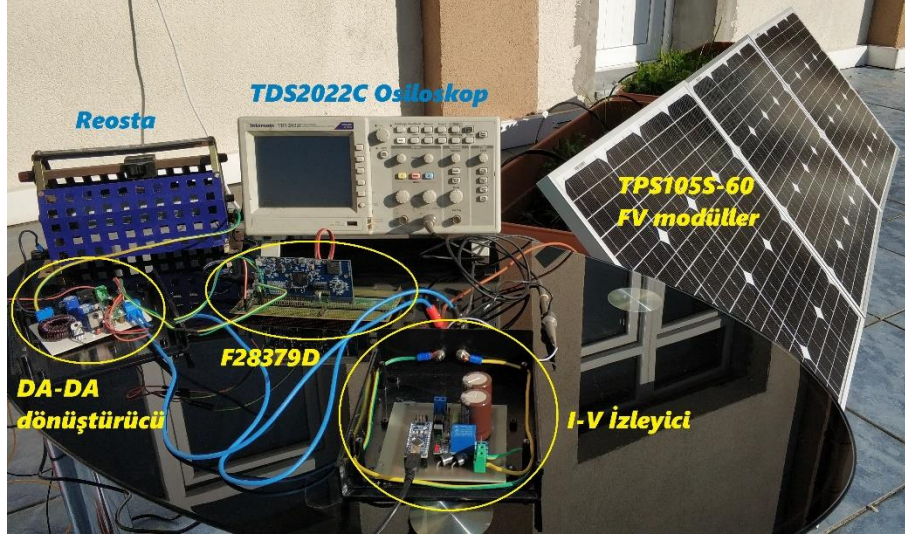
Bu bölümde, proje çalışmaları kapsamında kurulan, Şekil 4.1’de blok diyagramı verilen FV deney düzeneği incelenecektir.



Şekil 4.1. FV deney düzeneği blok diyagramı.

FV dizinin çalışma noktasını değiştirebilmek için Alçaltıcı-Yükseltici tipte DA-DA dönüştürücü tasarlanmış ve üretilmiştir. Algılayıcılarından elde ettiği FV dizi çalışma akımı ve gerilimi değerlerine göre, önerilen karma MGNİ yöntemini yürüterek DA-DA dönüştürücü MOSFET’lerini kontrol etmek amacıyla Texas Instruments’in TMDSDOCK28379D deneyci kiti kullanılmıştır. Geliştirilen MGNİ yönteminin kısmi gölgelenme durumundaki başarımını değerlendirebilmek için FV dizinin mevcut gölgelenme koşulunda üretebileceği maksimum gücün tespit edilmesine gerek duyulmuştur. Bu amaçla FV dizinin I-V ve P-V eğrisini çıkarabilen ve ayrıca MGN’ini tespit edebilen IV-İzleyici aygıtı yapılmıştır.

Şekil 4.2’de kurulan FV deney düzeneği gösterilmiştir. FV dizi gerilimini izlemek ve kaydetmek için 200 Mhz’lik Tektronix TDS2022C osiloskobu ve yük olarak 10 Ω 5 A’lik reosta kullanılmıştır.

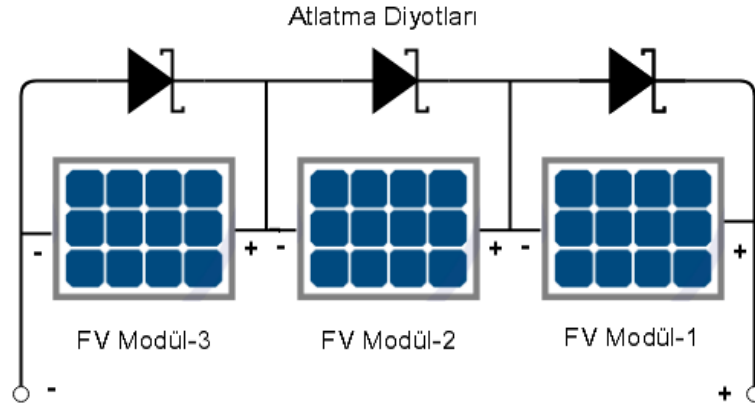


Şekil 4.2. FV deney düzeneği.

4.1. FV DİZİ

Geliştirilen MNGİ yönteminin kısmi gölgelenme başarımını gösterebilmek amacıyla 3 adet FV modül seri bağlanarak FV dizi oluşturulmuştur. FV dizi yapılandırması Şekil 4.3’te gösterilmiştir. Projede monokristal TPS105S-60 FV modülleri kullanılmıştır. Topray Solar ürünü olan FV modüller, 60 Wp güce, 22,32 V açık devre gerilimine (V_{OC}), 3,56 A kısa devre akımına (I_{SC}), 18 V maksimum güç noktası gerilimine (V_{MGN}) ve 3,33 A maksimum güç noktası akımına (I_{MGN}) sahiptir.

FV modüllere paralel ve ters kutuplu olarak atlatma (bypass) diyodu ve seri engelleme (blocking) diyodu bağlanabilir. Atlatma diyodu, FV dizide bazı FV modüller gölgelendiği zaman gölgelenmeyen FV modüllerin akımının geçebilmesi için alternatif bir yol sağlayarak güç kaybının azaltılmasını sağlar ve gölgelenen FV hücrelerin sıcak nokta ısınması nedeniyle zarar görmesini önler. Normal koşullarda FV modül üzerinden ters kutuplanan atlatma diyodunun sisteme etkisi yoktur. Seri bağlı engelleme diyodu FV diziyeye doğru akabilecek ters akımı önlemek amacıyla kullanılır.



Şekil 4.3. FV dizi yapılandırması.

TPS105S-60 FV modülleri, bağlantı kutusu içinde sadece lehimli bir engelleme diyodu ile alınmıştır. Engelleme diyodu olarak 10 A'lık ortalama ileri yön akımına, 1 V'luk ileri yön gerilimine ve 1000 V'luk ters kırılma gerilimine sahip, genel amaçlı bir doğrultma diyodu olan 10A10 kullanıldığı görülmüştür. Herbir FV modülün bağlantı kutusu içinde, FV modül kutuplarına bir atlatma diyodu lehimlenmiştir. Atlatma diyodu olarak 15 A'lık ortalama ileri yön akımına, 0,45 V'tan az ileri yön gerilimine ve 45 V'luk ters kırılma gerilimine sahip olan 15SQ045 schottky diyotları tercih edilmiştir.

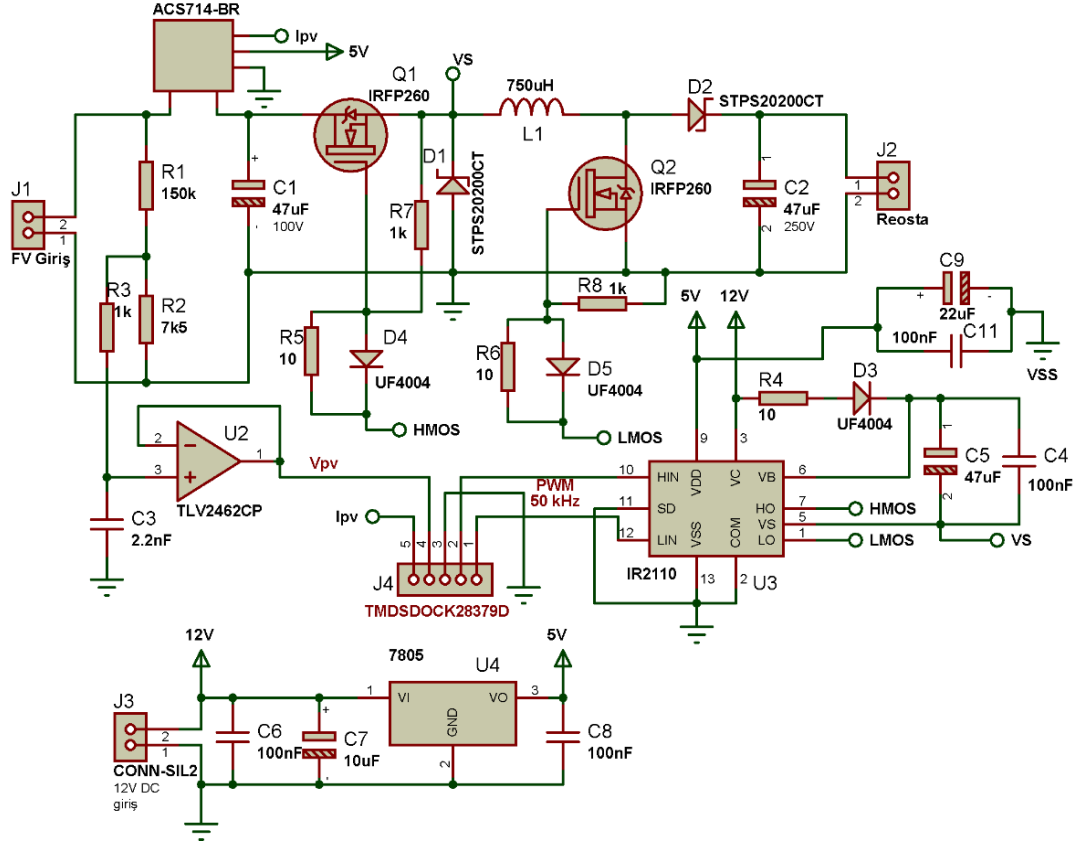
4.2. DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜ

FV dizinin çalışma noktasını değiştirebilmek için Evirmeyen Alçaltıcı-Yükseltici tipte DA-DA dönüştürücü devresi tasarlanmış ve üretilmiştir. MOSFET'lerinin kontrol durumuna bağlı olarak DA-DA dönüştürücü alçaltıcı, yükseltici ya da alçaltıcı-yükseltici modlarında çalıştırılabilmektedir (Çizelge 4.1). MOSFET kapı ucuna, çizelgedeki sürekli açık durumu için sabit mantıksal-0, sürekli kapalı durumu için sabit mantıksal-1 ve PWM durumu için PWM işareti uygulanması gerekmektedir. Proje çalışmalarında DA-DA dönüştürücü Alçaltıcı-Yükseltici modda çalıştırılmıştır.

Akım algılayıcı ve gerilim algılayıcı ile birlikte tasarlanan DA-DA dönüştürücünün devre şeması Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Üretilen DA-DA dönüştürücü ve Proteus programında hazırlanan baskı devre çizimi Ek Açıklamalar A'da verilmiştir.

Çizelge 4.1. DA-DA dönüştürücü çalışma modları.

Mod	Q1	Q2
Alçaltıcı	PWM	Sürekli Açık
Yükseltici	Sürekli Kapalı	PWM
Alçaltıcı-Yükseltici	PWM	PWM



Şekil 4.4. DA-DA dönüştürücü devre şeması.

DA-DA dönüştürücü devre elemanları FV dizinin akım-gerilim değerleri ile uygun olarak seçilmiştir. IRFP260 200 V'luk akaç-kaynak gerilimine, 0,055 Ω 'luk akaç-kaynak iletim direncine ve 46 A'lik sürekli akaç akımına sahip n-kanallı bir güç MOSFET'idir. STPS20200CT 0,64 V'luk ileri yön gerilimine, 200 V'luk ters yön kırılma gerilimine ve 2x10 A'lik ileri yön akımına sahip güç schottky diyodudur.

MOSFET'ler, yük ve güç kaynağına olan bağlantısına göre yüksek taraf (high side) ve alçak taraf (low side) olarak olarak anılabilir. DA-DA dönüştürücüdeki Q1 MOSFET'i, akaç (D) ucu güç kaynağına ve kaynak (S) ucu bobine bağlandığı için

yüksek taraf, Q2 MOSFET'i ise akaç ucu bobine ve kaynak ucu şaseye bağlandığı için alçak taraftır. Kaynak ucu 0 V potansiyelinde olduğundan dolayı alçak taraf Q2 MOSFET'ini sürmek kolaydır. Ancak referans noktasındaki (V_s) gerilim sabit olmadığından ve nispeten yüksek olduğundan dolayı yüksek taraf Q1 MOSFET'ini sürmek zordur ve özel sürücü gerektirir. Ayrıca MOSFET'leri hızlı bir şekilde anahtarlayabilmek için kapı-kaynak kapasitesinin hızlı bir şekilde doldurulup-boşaltılabilmesi gerekmektedir. DA-DA dönüştürücüde Q1 ve Q2 MOSFET'ini gerektiği gibi sürmek için önyüklemeli (bootstrap) tipte bir sürücü olan IR2110 kullanılmıştır. IR2110, yüksek gerilimli ve yüksek hızlı, alçak ve yüksek taraf güç MOSFET'i ve IGBT sürücüsüdür. DA-DA dönüştürücü dışarıdan 12 V DC beslemeye ihtiyaç duymaktadır. Bu gerilim MOSFET kapılarını sürmek için IR2110'a doğrudan, tümdevreler ve ACS714 algılayıcısına ise 7805 ile regüle edilerek uygulanmıştır.

FV dizinin çalışma akımını ölçmek için düşük iletim direncine ($1.2m\Omega$) ve düşük ölçüm hatasına (% 1.5) sahip 5 A'lık alan-etkili bir akım sensörü olan ACS714 kullanılmıştır. FV dizinin çalışma gerilimini ölçmek için teorik olarak 21 kat küçültme yapan gerilim bölücü dirençler ile birlikte TLV2462CP işlemsel yükselteci ile yapılan gerilim izleyici kullanılmıştır.

4.3. TMDSDOCK28379D DENEYÇİ KİTİ

TMDSDOCK28379D deneyci kiti, TI kontrol kartı yerleştirme istasyonu ve F28379D kontrol kartından oluşmaktadır (Şekil 4.5). TMDSDOCK28379D deneyci kiti yazılımsal olarak Code Composer Studio IDE'si ve C2000WARE ile desteklenmektedir. Code Composer Studio gömülü uygulamalar geliştirmek ve hata ayıklamak için kullanılır. C2000WARE ise aygıtta özgü sürücüler, kütüphaneler, örnek projeler ve kartların donanımsal ayrıntılarını içerir.

TI kontrol kartı yerleştirme istasyonu, 180 uçlu HSEC kenar kart arayüzüne, USB ve dış besleme giriş noktaları, 3,3V regülatör devresine, dış emülatör bağlantısı için JTAG bağlantı uçlarına, gruplanmış GPIO bağlantı noktalarına ve kullanıcı tarafından özelleştirilebilir delikli plaket kısımlarına sahiptir [56].



Şekil 4.5. TMSDOCK28379D deneyci kiti.

F28379D kontrol kartı DSP çekirdeğe sahip C2000 Delfino serisi TMS320F28379D mikrodenetleyicisinin üzerine kurulmuştur. F28379D kontrol kartı, ek donanım olmadan CCS ile kullanışlı bir arayüz sağlayan xds100v2, yalıtılmış yerleşik JTAG emülatörü devresine sahiptir. Ayrıca, USB emulator/UART için yalıtılmış bağlantı noktası, USB host/device bağlantı noktası, microSD kart yuvası ve başka bir karta bağlantı için harici bağlantı noktası sunar [56].

C2000 serisi 32-bit mikrodenetleyicileri, endüstriyel motor sürücüleri, güneş eviricileri, elektrikli araçlar, motor kontrol ve işaret işleme gibi gerçek zamanlı kontrol uygulamalarında kapalı döngü başarımını iyileştirmek amacıyla algılama, işleme ve eyleme için optimize edilmiştir [57].

TMS320F2837xD mikrodenetleyici ailesi, tasarımcıların kontrol mimarilerini birleştirmesine ve üst düzey sistemlerde çok işlemcili kullanımı ortadan kaldırmasına olanak tanıyan tümleşik analog ve kontrol çevre birimlerine sahiptir. Ayrıca sahip olduğu iki adet gerçek zamanlı kontrol alt sistemi, her bir çekirdekte 200 MHz işaret işleme başarımı sağlayan Texas Instruments'in 32-bit C28x kayan noktalı mikroişlemci birimlerini (MİB) temel alır. C28x MİB'leri, trigonometrik işlemler için algoritmaların hızlı bir şekilde yürütülmesini sağlayan yeni TMU hızlandırıcısıyla ve karmaşık matematik işlemleri için süreyi azaltan VCU hızlandırıcısıyla daha da güçlendirilmiştir. TMS320F2837xD mikrodenetleyici ailesi, iki adet CLA gerçek zamanlı kontrol eş-işlemcisine de sahiptir. CLA, ana MİB ile aynı hızda çalışan

bağımsız bir 32-bit kayan noktalı işlemcidir. CLA, çevresel tetikleyicilere yanıt verir ve ana C28x MİB ile eşzamanlı olarak kod yürütür. Bu paralel işleme yeteneği, gerçek zamanlı bir kontrol sisteminin hesaplama performansını etkili bir şekilde ikiye katlayabilir. Zaman açısından kritik işlemlere hizmet vermek için CLA'yı kullanarak, ana C28x MİB iletişim ve tanımlama gibi diğer görevleri gerçekleştirmekte özgürleştirilebilir. İkili C28x + CLA mimarisi, çeşitli sistem görevleri arasında akıllı bölümlenmeye olanak tanır. Örneğin, bir C28x + CLA çekirdeği hız ve konumu izlemek için kullanılabilirken, diğer C28x + CLA çekirdeği tork ve akım döngülerini kontrol etmek için kullanılabilir. TMS320F2837xD, hata düzeltme kodu (ECC) ve 204KB SRAM ile 1MB dahili flaş belleği destekler. Kod koruması için her MİB'de 128 bitlik iki güvenli bölge de mevcuttur [57].

Sistemi daha da sağlamlaştırmak için analog ve kontrol çevre birimleri F2837xD mikrodenetleyicisinde tümleştirilmiştir. Dört bağımsız 16-bitlik ADC, birden çok analog sinyalin hassas ve verimli bir şekilde yönetilmesini sağlar ve bu da sonuçta sistem verimini artırır. ADC birimleri hassas geri besleme döngüleri için 1.1 MSPS'lik 16-bit moda ve hızlı kontrol döngüleri için herbiri 3,5 MSPS'lik 12-bit moda sahiptir. Geliştirilmiş özelliklere sahip 24 PWM kanalı ve 16 yüksek çözünürlüklü PWM kanalına sahiptir. Geliştirilmiş PWM fonksiyonları, tüm sürücü eviricileri, güneş eviricileri ve her tür güç dönüştürme uygulaması için karmaşık anahtar zamanlamasını tam olarak kontrol edebilir. Gelişmiş PWM gölgeleme, eşzamanlama, eşzamansız kenar konumlandırma, çelme mantığı vb. sayesinde çok seviyeli, matris ve diğer zorlayıcı anahtarlama topolojilerini destekler. Yeni sigma-delta filtre modülü (SDFM), izole edilmiş şönt akım ölçümlerini etkinleştirmek için sigma-delta modülatörüyle birlikte çalışır. Pencereci karşılaştırıcılara sahip Karşılaştırıcı Alt Sistemi (CMPSS), akım sınır koşulları aşıldığında veya karşılanmadığında güç aşamalarının korunmasına izin verir. Diğer analog ve kontrol çevre birimleri arasında DAC'ler, eCAP'ler, eQEP'ler ve diğer çevre birimleri bulunur [57].

EMIF'ler, CAN modülleri (ISO 11898-1 / CAN 2.0B uyumlu) ve yeni bir uPP arayüzü gibi çevre birimleri, F2837xD'nin bağlanabilirliğini genişletir. uPP arabirimi, C2000 mikrodenetleyicilerinin yeni bir özelliğidir ve FPGA'lara veya benzer uPP arabirimlerine sahip diğer işlemcilerle yüksek hızlı paralel bağlantıyı destekler. MAC

ve PHY özellikli bir USB 2.0 bağlantı noktası, kullanıcıların uygulamalarına kolayca evrensel seri veri yolu bağlantısı eklemelerine olanak tanır [57].

TMS320F28379D mikrodenetleyicisinin sahip olduğu tüm özellikler şu şekilde listelenebilir:

- **Çift Çekirdekli Mimari:** İki adet C28x 32-bit MİB, 800 MIPS, 200 MHz, IEEE 754 tek-duyarlı Kayan Nokta Birimi (FPU), Trigonometrik Matematik Birimi (TMU), Karmaşık Matematik Birimi (VCU-II).
- **İki Programlanabilir CLA:** 200 MHz, IEEE 754 tek-duyarlı FPU komutları, Ana MİB'den bağımsız kod yürütme.
- **Bütünleşik Bellek:** Toplam 1MB flaş bellek, toplam 204 KB RAM, kod koruma ve önyükleme ROM'u, benzersiz kimlik numarası.
- **Sistem Çevre Birimleri:** 169 adet bireysel programlanabilen, çoğullanmış genel amaçlı giriş/çıkış (I/O) ucu, 6 adet 32-bitlik MİB zamanlayıcısı, 2 adet bekçi köpeği zamanlayıcısı, 2 adet maskelenmemiş kesme bekçi köpeği zamanlayıcısı, 2 adet iç osilatör, bütünleşik kristal osilatör, 5 adet dış kesme, 2 adet Dış Bellek Arabirimi (EMIF), 2 adet 6 kanallı Doğrudan Bellek Erişimi (DMA) denetleyicisi.
- **Analog Altsistem:** 16-bit ve 12-bit modlu 4 adet ADC birimi, 16-bit modda farksal girişli 12 dış kanal, 12-bit modda tek uç girişli 24 dış kanal, her ADC birimine ait Örnekle ve Tut devresi, ADC dönüşümlerinin donanımsal son işlemesi, 8 adet Karşılaştırmacı Altsistemi, 3 adet 12-bitlik tamponlanmış DAC, sıcaklık sensörü.
- **İletişim Çevre Birimleri:** USB 2.0 (MAC + PHY), Evrensel Paralel Port (uPP) modülü, 2 adet CAN modülü, 2 adet I2C modülü, 3 adet SPI modülü, 4 adet SCI/UART modülü, 2 adet Çok Kanallı Tamponlanmış Seri Port (McBSPs) modülü.
- **Kontrol Çevre Birimleri:** 24 adet geliştirilmiş PWM (ePWM) kanalı, 16 adet yüksek çözünürlüklü PWM (HRPWM) kanalı, 6 adet geliştirilmiş yakalama (eCAP) modülü, 3 adet geliştirilmiş kuadratür enkoder darbe (eQEP) modülü, 8 adet Sigma-Delta Filtre Modülü kanalı.

4.3.1. Code Composer Studio

C2000 serisi mikrodeneleyicileri için gömülü uygulama geliştirmek ve hata ayıklamak için Eclipse tabanlı Code Composer Studio (CCS) tümleşik geliştirme ortamı (IDE) kullanılmaktadır. CCS, bir düzenleyici, proje yönetim sistemi, derleyici, hata ayıklayıcı, profil oluşturma ve görselleştirme araçlarını içeren bir geliştirme araçları paketidir ve Windows, macOS ve linux dağıtımlarında çalışabilir [58].

CCS'teki düzenleyici, uygulama geliştirmeyi kolaylaştırmak için geniş bir özellik yelpazesi içerir. Özelleştirilebilir sözdizimi vurgulama ve kod tamamlama gibi standart özelliklerin yanı sıra yerel geçmiş gibi daha benzersiz özellikler de mevcuttur. Yerel geçmiş, kaynak kodu değişikliklerini takip eder ve mevcut kaynağın geçmiştekilerle karşılaştırılmasına veya değiştirilmesine olanak tanır [58].

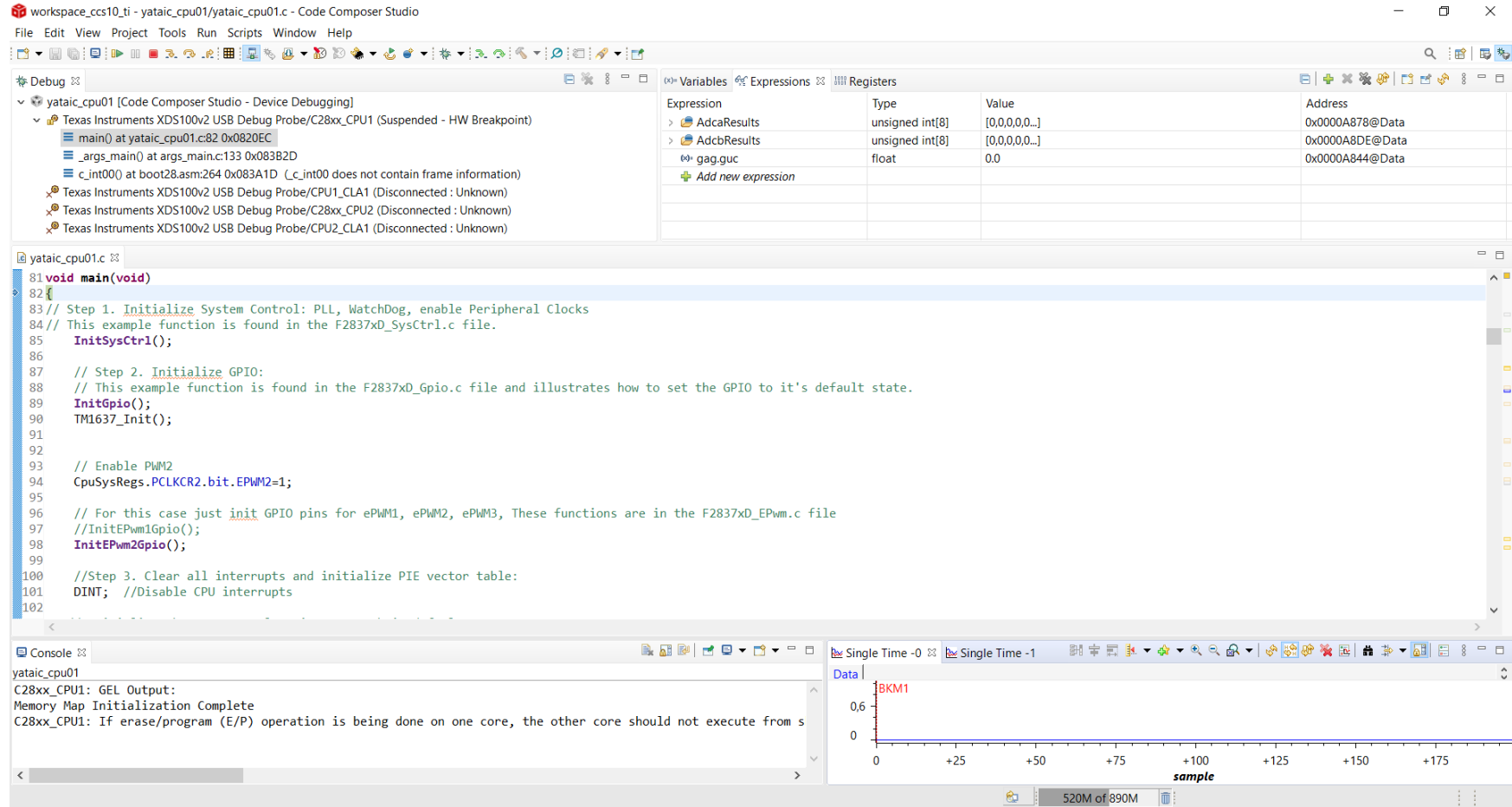
Derleyici, kaynak programı mikrodeneleyicinin çalıştırabileceği makine diline çevirir. Proje çalışmaları sürecinde son olarak TI tarafından sağlanan v20.2.0.LTS sürüm ARM C/C++ derleyicisi kullanılmıştır.

Tümleşik hata ayıklayıcı, TI gömülü cihazlarda çalışan uygulamaların hata ayıklamasına izin verir. Hata ayıklama için değişken, ifade ve yazmaç izleyiciden, kesme noktalarından, gelişmiş grafik ve görüntü görselleştirici araçlarından yararlanılabilir [58]. Şekil 4.6'de CCS derleyici hata ayıklama ekranı görünümü gösterilmiştir.

4.3.2. Genel Sistem Yapılandırması

InitSysCtrl() işlevi, bekçi köpeği (watchdog) ve PLL ayarlarını yaparak, çevresel birim saatlerini etkinleştirerek sistem kaynaklarını başlatır. Bu işlev aşağıdaki şekilde koda eklenmiş ve bu işlevi içeren F2837xD_SysCtrl.c kaynak dosyası projeye eklenmiştir.

InitSysCtrl();



Şekil 4.6. Code Composer Studio derleyicisi hata ayıklama ekranı görünümü.

TMS320F28379D sayısal işaret denetleyici için sistem saat frekansı (PLLSYSCLK) minimum 2 MHz, maksimum 200 MHz (harici saat kaynağı ile) olarak ayarlanabilmektedir [57]. Uygulamada kullanılan TMS320F28379D kontrol kartı 20 MHz'lik harici kristal içermektedir. İstenilen PLLSYSCLK değeri için gerekli PLL parametreleri Eşitlik 4.1'e göre belirlenmektedir [59].

$$PLLSYSCLK = XTAL_OSC * (IMULT + FMULT) / PLLSYSCLKDIV \quad (4.1)$$

Burada, XTAL_OSC kristal frekansını, IMULT ve FMULT sırasıyla tam ve kesirli çarpanları, PLLSYSCLKDIV ise sistem saati bölücüsünü ifade eder. Uygulama performansı, güç tüketimi, kullanılacak çevre birimler gibi uygulama gereksinimleri, saat yapılandırmasını belirler. Bu uygulamada performansa öncelik verilerek, 20 Mhz'lik kristal ile 200 MHz'lik sistem saat frekansı elde etmek için PLL yapılandırması aşağıdaki çarpan ve bölücü değerleri ile yapılmıştır:

```
IMULT=20  
FMULT=0  
PLLSYSCLKDIV=2
```

InitGpio() işlevi genel amaçlı giriş çıkışları (GPIO) başlatır. Bunun için tüm uçları, yükleme (pull-up) dirençleri etkin, giriş olarak ayarlar, MİB denetimini MİB1'e sıfırlar, açık akaç (open drain) ve kutup terslemesini devre dışı bırakır ve tüm GPIO'ların kilidini açar. Bu işlev aşağıdaki şekilde koda eklenmiş ve bu işlevi içeren F2837xD_Gpio.c kaynak dosyası projeye eklenmiştir.

```
InitGpio();
```

Aşağıdaki kod satırları ile çevresel kesmeleri etkileştirilmeden önce gerekli işlemler yapılmıştır. DINT komutu ile tüm genel kesmeler devre dışı bırakılmıştır. InitPieCtrl() işlevi ile tüm çevresel kesme genişletme modülü (PIE) kesmeleri devre dışı bırakılarak ve bayraklar temizlenerek, PIE kontrol yazmaçları varsayılan durumlarına alınmıştır. IER ve IFR yamaçları temizlenerek MİB kesmeleri devre dışı bırakılmış ve tüm MİB kesme bayraklarını temizlenmiştir. InitPieVectTable() işlevi ile PIE vektör tablosu başlatılmıştır. Sözü edilen iki işlev için gerekli F2837xD_PieCtrl.c ve F2837xD_PieVect.c kaynak dosyaları projeye eklenmiştir.

```
DINT;  
InitPieCtrl();  
IER=0x0000;  
IFR=0x0000;  
InitPieVectTable();
```

Bu uygulamada ADCA1, ePWM2 ve TIMER0 çevre birimi kesmeleri kullanılmıştır. Aşağıdaki kod satırları ile kesmeler meydana geldiğinde çalışacak `adca1_isr`, `epwm2_isr` ve `cpu_timer0_isr` kesme servis rutinlerinin (ISR) kesme vektörleri, kesme vektör tablosunda ilgili yerlere yazılmıştır. EALLOW, korumalı kontrol yazmaçlarına yazmak için, EDIS ise yeniden korumayı etkinleştirmek gereklidir.

```
EALLOW;  
PieVectTable.ADCA1_INT=&adca1_isr;  
PieVectTable.EPWM2_INT=&epwm2_isr;  
PieVectTable.TIMER0_INT=&cpu_timer0_isr;  
EDIS;
```

Etkinleştirilen kesmeleri içeren PIE grupları (M_INT1 ve M_INT3) için MIB IER biti ayarlanır. PIE kanal haritalamasında 1. grubun 1. ve 7. kanalında yer alan ADCA1 ve TIMER0 kesmeleri, PIEIER1 yazmacının INTx1 ve INTx7 bitleri ile, 3. grup 1. kanalda yer alan EPWM2 kesmesi ise PIEIER3 yazmacının INTx2 biti ile etkinleştirilir [59]. Genel kesme etkinleştirme ve genel gerçek-zamanlı kesme etkinleştirme için EINT ve ERTM komutları kullanılır.

```
IER |=M_INT1;  
IER |=M_INT3;  
PieCtrlRegs.PIEIER1.bit.INTx1=1;  
PieCtrlRegs.PIEIER1.bit.INTx7=1;  
PieCtrlRegs.PIEIER3.bit.INTx2=1;  
EINT;  
ERTM;
```

Yukarıda belirtilen kaynak dosyaları dışında F2837xD_Adc.c, F2837xD_CpuTimers.c, F2837xD_DefaultISR.c, F2837xD_EPwm.c, F2837xD_GlobalVariableDefs.c, F2837xD_Gpio.c, F2837xD_Ipc.c, F2837xD_CodeStartBranch.asm ve F2837xD_usDelay.asm kaynak dosyaları da projeye dahil edilmiştir.

4.3.3. ADC Birimi

SAR tipteki ADC birimi 16-bit veya 12-bit olarak seçilebilen çözünürlüğe, oranlı metrik harici referans ayarı, farksal işaret çevrimleri (sadece 16-bit mod için), tek-uçlu işaret dönüşümleri (sadece 12-bit mod için), 16 tek-uçlu kanala yada 8 farksal kanala kadar giriş çoğullayıcı, 16 yapılandırılabilir SOC, 16 bireysel adreslenebilir sonuç kaydedicisi, çoklu tetik kaynakları, dört esnek PIE kesmesi, burst modu ve 4 rötuş bloğuna sahiptir [59].

ADC biriminin kanal seçici, örnekle/tut (S/H) devresi, ardışık yaklaşım devresi, gerilim referans devreleri gibi analog kısımları Çekirdek (Core), mantık devreleri, sonuç kaydedicileri, rötuş devreleri gibi sayısal kısımları ise Sarıcı (Wrapper) olarak adlandırılmıştır [59].

Temel ADC saati (ADCCLK) doğrudan sistem saatinden (SYSCLK) sağlanır. Bu saat ADC edinme penceresi üretmek için kullanılır. ADCCTL2 kaydedicisi, ADCCLK'yı belirleyen önölçek alanına sahiptir. ADCCLK ADC'nin saat kaynağı olarak kullanılır. Çekirdek, 16-bit modda 29,5 ADCCLK çevrimi, 12-bit modda ise 10.5 ADCCLK çevrimi gerektirir [59].

Her bir ADC bir VREFHI girişi ve bir VREFLO girişine sahiptir. F28379D kontrol kartında SW2 kontrol anahtarı grubu ile ADCA ve ADCB modülleri için ayrı ayrı düşük doğruluk/kararlılığa sahip 3,3 V'luk gerilim referansı yada kararlı 3 V gerilim referansı/harici gerilim referansı (hangisinin kullanılacağını R59 ve R60 belirler) seçilebilir. SW3 kontrol anahtarı grubu ise ADCC ve ADCD modülleri için aynı şekilde gerilim referansı seçimi sağlar [56]. Bu uygulamada, kararlı 3 V'luk gerilim referansı kullanılmıştır.

ADC tek-uçlu ve farksal olarak iki işaret modu destekler. Tek-uçlu modda giriş gerilimi tek bir pin (ADCINx) üzerinden örneklenirken, farksal modda bir çift pin (pozitif giriş ADCINxP ve negatif giriş ADCINxN) üzerinden örneklenir. Farksal modda gerçek giriş gerilimi bu iki giriş arasındaki farktır. 16-bit farksal modda V_{REFLO}

girişi V_{SSA} 'ya bağlanmalıdır. Farksal işaret modu her iki girişte görülen gürültüyü büyük oranda bastıracağı için daha üstündür [59].

ADC tetikleme ve dönüşüm sıralaması, yapılandırılabilir dönüşüm başlatıcı (SOC) aracılığıyla gerçekleştirilir. Her SOC, tek bir kanalın tek dönüşümünü tanımlayan bir yapılandırma setidir. Bu sette üç yapılandırma vardır: dönüşümü başlatan tetikleyici kaynak, dönüştürülecek kanal ve edinim (örnek) pencere süresi. Bir SOC için yapılandırılan tetikleyicinin alınması üzerine, Sarıcı, belirtilen kanalın belirtilen edinim penceresi süresi kullanılarak yakalanmasını sağlayacaktır. Aynı tetikleyici, kanal ve/veya edinim penceresi için istenildiği gibi birden fazla SOC yapılandırılabilir. Birden çok SOC'yi aynı tetikleyiciyi kullanacak şekilde yapılandırmak, tetikleyicinin bir dönüşüm dizisi oluşturmasına olanak tanır. Birden fazla SOC'yi aynı tetikleyiciyi ve kanalı kullanacak şekilde yapılandırmak, yüksek hızda örnekleme izin verecektir. Her SOC'nin kendi yapılandırma yazmacı (ADCSOCxCTL) vardır. Her SOC, birçok giriş tetikleyicisinden biriyle başlayacak şekilde yapılandırılabilir. SOCx için birincil tetikleme seçimi ADCSOCxCTL yazmacı TRIGSEL bitleri ile yapılır. Tetikleme kaynağı olarak MİB zamanlayıcıları, GPIO, ePWM modüllerinin ADCSOCA veya ADCSOCA seçilebilir. Ayrıca her SOC, ADCINT1 bayrağı veya ADCINT2 bayrağı kalktığında da tetiklenebilir. Bu, ADCINTSOCSEL1 kaydı (SOC0 ile SOC7 için) veya ADCINTSOCSEL2 kaydı (SOC8 ile SOC15 için) yapılandırılarak elde edilir. Bu, sürekli dönüşümler oluşturmak için kullanışlıdır [59].

Tek-uçlu işaret modu ve 12-bit çözünürlük için belirli bir analog giriş gerilimine karşılık gelen ideal sayısal dönüşüm Eşitlik 4.2 ile, dönüşüm sonucu elde edilen sayısal bir çıkış değerine neden olan analog giriş gerilimi Eşitlik 4.3 ile hesaplanabilir [59].

$$ADCRESULT_x = 4095 * \left(\frac{ADCIN_y - V_{REF_LO}}{V_{REF_HI} - V_{REF_LO}} \right) \quad (4.2)$$

$$ADCIN_x = (V_{REF_HI} - V_{REF_LO}) * \left(\frac{ADCRESULT_y}{4095} \right) + V_{REF_LO} \quad (4.3)$$

Burada; $V_{REF_LO} = 0$ V, $V_{REF_HI} = 3$ V, ADCINy analog giriş gerilimini, ADCRESULTx beklenen sayısal çıkış değerini, ADCRESULTy sayısal çıkış değerini ve ADCINx yorumlanan analog giriş gerilimini temsil etmektedir.

F28379D kontrol kartında, ADC birimi referans geriliminin yeterince sabit olamamasına neden olan ve dolayısıyla örnekleme/dönüşüm sırasında ADC sonuçlarının doğruluğunu/kararlılığını etkileyebilen bir üretim hatası bulunmaktadır. 100 mΩ olması gereken R51-R54 dirençleri yerine 100 MΩ'luk dirençler yerleştirilmiştir [56]. Uygulama için belirtilen dirençler 0603 kılıfındaki 100 mΩ dirençler ile değiştirilmiştir.

FV deney düzeneğinde FV dizinin akım ve gerilimlerini ölçen analog algılayıcıların analog çıkış gerilimlerinin eşzamanlı olarak okunabilmesi için iki ayrı ADC modülü kullanılmıştır. ADCA modülü FV dizi akımını ve ADCB modülü FV dizi gerilimini sayılasallaştırmaktadır. ADC modüllerinin başlatılması için gerekli kodlar aşağıda verilmiştir.

```
ConfigureADC();  
SetupADCEpwm('A',2);  
SetupADCEpwm('B',2);
```

ConfigureADC() işlevi ile ADCA ve ADCB modülü, 12-bit çözünürlükte, tek-uçlu işaret modunda, dönüşüm sonu kesme darbesi oluşturacak şekilde ayarlanır ve enerjilendirilir. ADCCLK, sistem saat frekansı ADCCTL2 yazmacı PRESCALE değerine bölünmek suretiyle ayarlanmaktadır. TMS320F28379D sayısal işaret denetleyicisi için ADCCLK maksimum 50 MHz olabilmektedir [57]. Bu uygulamada PRESCALE, 200 MHz sistem saati frekansı ile maksimum ADCCLK elde etmek için bölme oranı 4'e karşılık gelen 6 olarak seçilmiştir. Aşağıda ConfigureADC() işlevi kodları verilmiştir.

```
void ConfigureADC(void)  
{  
    EALLOW;  
    AdcaRegs.ADCCTL2.bit.PRESCALE = 6;  
    AdcbRegs.ADCCTL2.bit.PRESCALE = 6;
```

```

AdcSetMode(ADC_ADCA, ADC_RESOLUTION_12BIT, ADC_SIGNALMODE_SINGLE);
AdcSetMode(ADC_ADCB, ADC_RESOLUTION_12BIT, ADC_SIGNALMODE_SINGLE);
//Kesme darbe konumları çevrim sonu
AdcaRegs.ADCCTL1.bit.INTPULSEPOS = 1;
AdcbRegs.ADCCTL1.bit.INTPULSEPOS = 1;
//ADC'ler enerjilendirilir
AdcaRegs.ADCCTL1.bit.ADCPWDNZ = 1;
AdcbRegs.ADCCTL1.bit.ADCPWDNZ = 1;
DELAY_US(1000);
EDIS;
}

```

Her ADC modülü için ayrı ayrı çağırılan SetupADCEpwm() işlevi, kullanılacak ADC modülü ve ADC girişi için edinme penceresi süresi, dönüşüm başlatıcı, tetikleyici kaynağı, ADCINT1 kesmesi ayarlarını yapmaktadır. İşleve argüman olarak ADC modülün harfi (A ya da B) ve ADC girişi uç numarası verilmektedir. Bu uygulamada, ADCA ve ADCB modülleri yapılandırılabilir dönüşüm başlatıcı-0 (SOC0) ile aynı anda dönüşüme başlayacak şekilde ayarlanmıştır. SOC0 tetikleme kaynağı olarak ePWM1 modülü ADCSOCA tetikleyicisi, analog giriş uçları olarak ADC-A2 ve ADC-B2 girişleri ve edinme penceresi süresi olarak 100 ns ayarlanmıştır. ADC1INT kesmesi SOC0 sonunda meydana gelecek şekilde ayarlanmıştır. Aşağıda SetupADCEpwm() işlevi kodları verilmiştir.

```

void SetupADCEpwm(char adcBirim, Uint16 channel)
{
    Uint16 acqps;
    if(adcBirim == 'A'){
        if(ADC_RESOLUTION_12BIT == AdcaRegs.ADCCTL2.bit.RESOLUTION){
            acqps = 19; //100ns
        }else{
            acqps = 63; //320ns
        }
    }
    EALLOW;
    AdcaRegs.ADCSOC0CTL.bit.CHSEL = channel;
    AdcaRegs.ADCSOC0CTL.bit.ACQPS = acqps;
    AdcaRegs.ADCSOC0CTL.bit.TRIGSEL = 5;
    AdcaRegs.ADCINTSELIN2.bit.INTISEL = 0;
    AdcaRegs.ADCINTSELIN2.bit.INTIE = 1;
    AdcaRegs.ADCINTFLGCLR.bit.ADCINT1 = 1;
    EDIS;
}
else if(adcBirim == 'B'){
    if(ADC_RESOLUTION_12BIT == AdcbRegs.ADCCTL2.bit.RESOLUTION){

```



```

        acqps = 19; //100ns
    }else{
        acqps = 63; //320ns
    }
    EALLOW;
    AdcbRegs.ADCSOC0CTL.bit.CHSEL = channel;
    AdcbRegs.ADCSOC0CTL.bit.ACQPS = acqps;
    AdcbRegs.ADCSOC0CTL.bit.TRIGSEL = 5;
    AdcbRegs.ADCINTSELIN2.bit.INTISEL = 0;
    AdcbRegs.ADCINTSELIN2.bit.INTIE = 1;
    AdcbRegs.ADCINTFLGCLR.bit.ADCINT1 = 1;
    EDIS;
}
}

```

Analog-Sayısal dönüşüm sonuçlarını okumak için kullanılan `adca1_isr()` ISR işlevi kodları aşağıda verilmiştir. Her dönüşümün sonucu ilgili ADC modülünün `ADCRESULTx` yazmacında yer alır. Bu uygulamada her iki analog giriş de SOC0 ile ilişkilendirildiği için sayısal sonuçlar `ADCRESULT0` yazmaçlarından okunarak `AdcaResults[]` ve `AdcbResults[]` dizi değişkenlerine aktarılmıştır. Belirlenen sonuç tamponu boyutu (`RESULTS_BUFFER_SIZE`) kadar dönüşüm yapıldığını bildirmek için `bufferFull` değişkeni ayarlanır. Bu uygulamada sonuç tampon boyutu 8 olarak ayarlanmıştır. Her dönüşüm sonunda ADC modüllerine ait INT1 kesme bayrakları temizlenir.

```

interrupt void adca1_isr(void)
{
    AdcaResults[resultsIndex] = AdcaResultRegs.ADCRESULT0;
    AdcbResults[resultsIndex++] = AdcbResultRegs.ADCRESULT0;
    if(RESULTS_BUFFER_SIZE <= resultsIndex) {
        resultsIndex = 0;
        bufferFull = 1;
    }
    AdcaRegs.ADCINTFLGCLR.bit.ADCINT1 = 1;
    AdcbRegs.ADCINTFLGCLR.bit.ADCINT1 = 1;
    if(1 == AdcaRegs.ADCINTOVF.bit.ADCINT1) {
        AdcaRegs.ADCINTOVFCLR.bit.ADCINT1 = 1;
        AdcaRegs.ADCINTFLGCLR.bit.ADCINT1 = 1;
    }
    PieCtrlRegs.PIEACK.all = PIEACK_GROUP1;
}

```

Aşağıdaki kod satırları ile ADC modülleri dönüşüme başlatılır ve istenilen sayıda dönüşüm yapılanaya dek program akışı durdurulur. ETSEL yazmacı SOCAEN biti ayarlanarak SOCA etkinleştirilir ve TBCTL yazmacı CTRMODE biti temizlenerek dondurulmuş olan sayıcı yukarı sayım moduna alınır. Ardından da istenilen sayıda dönüşüm yapılması beklenir. Dönüşümün tamamlandığı, adca1_isr() işlevi içinde 1 yapılan bufferFull değişkeni gösterir. Tampon dolduktan sonra sayısal sonuçlar değerlendirilene kadar SOCA yetkisizleştirilir ve sayıcı dondurulur.

```
EPwm1Regs.ETSEL.bit.SOCAEN = 1;
EPwm1Regs.TBCTL.bit.CTRMODE = 0;
while(!bufferFull);
bufferFull = 0;
EPwm1Regs.ETSEL.bit.SOCAEN = 0;
EPwm1Regs.TBCTL.bit.CTRMODE = 3;
```

Son olarak aşağıdaki kod satırları ile AdcaResults[] ve AdcbResults[] dizi değişkenleri içinde yer alan, sırasıyla FV dizi akımı ve FV dizi gerilimi sayısal değerlerinin ortalaması alınarak, Eşitlik 4.3 ile yorumlanan analog giriş gerilimleri hesaplanarak ve algılayıcıların dönüşüm katsayıları çarpılarak gerçek FV dizi akım, gerilim ve güç değerleri elde edilmiştir. Uygulamada kullanılan 5A'lık ACS714 akım algılayıcısı 2,5 V'luk offset gerilimine ve 185 mV/A çıkış duyarlılığına sahiptir. %1 hata payına sahip 150 k Ω ve 7,5 k Ω 'luk dirençlerle yapılan gerilim bölücü teorik olarak 21 kat küçültme sağlamaktadır. Multimetre ile yapılan gerilim ölçümleri ile gerçek direnç değerlerinin 21,2 küçültme yaptığı hesaplanmıştır.

```
for( i=0 ; i < RESULTS_BUFFER_SIZE ; i++ ){
    veriIpv += AdcaResults[i];
    veriVpv += AdcbResults[i];
}
veriIpv /= RESULTS_BUFFER_SIZE;
veriVpv /= RESULTS_BUFFER_SIZE;
FVakim = veriIpv * 3.0 / 4095.0;
FVakim = (2.5 - FVakim) / 0.185; //ACS714 çıkışından gerçek akım değeri
FVgerilim = veriVpv * 3.0 / 4095.0;
FVgerilim *= 21.2; //Gerilim bölücü çıkışından gerçek gerilim değeri
FVguc = FVakim * FVgerilim;
```

4.3.4. Geliştirilmiş PWM Birimi

Bu uygulamada, DA-DA dönüştürücü MOSFET'leri için gerekli olan iki PWM işareti, gelişmiş darbe genişlik modülatörü (ePWM) kullanılarak üretilmiştir. Uygulamada ePWM2 modülünün EPWM2A (53 nu.lu uç) ve EPWM2B (55 nu.lu uç) PWM çıkışları kullanılmıştır. Öncelikle PCLKCR2 yazmacının EPWM2 biti ayarlanarak ePWM2 modülü saati etkinleştirilir. Ardından InitEPwm2Gpio() işlevi ile EPWM2A ve EPWM2B uçları yapılandırılır. ePWM2 modülü saatini etkinleştirmek ve PWM uçlarını yapılandırmak için koda aşağıdaki satırlar eklenmiştir.

```
CpuSysRegs.PCLKCR2.bit.EPWM2=1;  
InitEPwmGpio();
```

Aşağıda verilen kod satırları ile iki PWM işareti üretmek ePWM2 modülü ve iki ADC modülünü eşzamanlı çalıştırmak için ePWM1 modülü yapılandırılmıştır. PCLKCR0 yazmacının TBCLKSYNC biti 1 yapıldığında etkinleştirilmiş tüm ePWM modül saatleri eşzamanlı olarak başlar. Bu nedenle ePWM modülleri yapılandırılmadan önce sözü edilen bit 0 yapılarak ePWM modül saatleri durdurulur. Yapılandırma sonunda yeniden ePWM saatleri başlatılır. ConfigureEPWM1() ve ConfigureEPWM2() işlevleri ile ePWM1 ve ePMW2 modülleri yapılandırılır.

```
EALLOW;  
CpuSysRegs.PCLKCR0.bit.TBCLKSYNC = 0;  
EDIS;  
ConfigureEPWM1();  
ConfigureEPWM2();  
EALLOW;  
CpuSysRegs.PCLKCR0.bit.TBCLKSYNC = 1;  
EDIS;
```

Aşağıda kodları verilen ConfigureEPWM1() işlevi ile ePWM1 modülünün, ADC modüllerini 40 µs'lik aralıklarla tetikleyecek 25 kHz'lik PWM işaretinin üretilmesi sağlanmıştır ve sayıcı dondurulmuş moda alınmıştır.

```
void ConfigureEPWM1(void)  
{  
    EALLOW;
```

```

EPwm1Regs.ETSEL.bit.SOCAEN = 0; // SOCA yı devre dışı bırak
EPwm1Regs.ETSEL.bit.SOCASEL = 4; // Yukarı sayım seç
EPwm1Regs.ETPS.bit.SOCAPRD = 1; // İnci olayda darbe üret
EPwm1Regs.CMPA.bit.CMPA = 0x1000; // İş çevrim oranını %50 yap
EPwm1Regs.TBPRD = 0x2000; // PWM periyodu 8192 sayım, f=25khz
EPwm1Regs.TBCTL.bit.CTRMODE = 3; // sayıcıyı dondur
EDIS;
}

```

Aşağıda kodları verilen ConfigureEPWM2() işlevi ile ePWM2 modülünün 50 kHz'lik PWM işaretleri üretmesi sağlanmıştır. Bunun için, bölme oranları, 100 MHz'lik ePWM saatinden [57] 50 MHz'lik sayıcı saati elde edecek şekilde, periyot, 50 kHz'lik PWM frekansına karşılık gelen 999 sayısı ile karşılaştırıcılar, % 50'lik ilk iş çevrim oranına denk gelen 500 sayısı ile ayarlanmıştır.

```

void ConfigureEPWM2()
{
    EPwm2Regs.TBCTL.bit.CTRMODE = TB_COUNT_UP;
    EPwm2Regs.TBPRD = EPWM2_TIMER_TBPRD; // PWM frekansı 50 kHz için periyot 999 sayısı
    EPwm2Regs.TBCTL.bit.PHSEN = TB_DISABLE;
    EPwm2Regs.TBPHS.bit.TBPHS = 0x0000;
    EPwm2Regs.TBCTR = 0x0000;
    EPwm2Regs.TBCTL.bit.HSPCLKDIV = TB_DIV2; // sayıcı saatini 50 Mhz'e ayarla
    EPwm2Regs.TBCTL.bit.CLKDIV = TB_DIV1;

    EPwm2Regs.CMPCTL.bit.SHDWAMODE = CC_SHADOW;
    EPwm2Regs.CMPCTL.bit.SHDWBMODE = CC_SHADOW;
    EPwm2Regs.CMPCTL.bit.LOADAMODE = CC_CTR_ZERO;
    EPwm2Regs.CMPCTL.bit.LOADBMODE = CC_CTR_ZERO;

    EPwm2Regs.CMPA.bit.CMPA = 500; // %50 iş çevrim oranı
    EPwm2Regs.CMPB.bit.CMPB = 500; // %50 iş çevrim oranı

    EPwm2Regs.AQCTLA.bit.PRD = AQ_SET;
    EPwm2Regs.AQCTLA.bit.CAU = AQ_CLEAR

    EPwm2Regs.AQCTLB.bit.PRD = AQ_SET;
    EPwm2Regs.AQCTLB.bit.CBU = AQ_CLEAR;

    EPwm2Regs.ETSEL.bit.INTSEL = ET_CTR_ZERO;
    EPwm2Regs.ETSEL.bit.INTEN = 1;
    EPwm2Regs.ETPS.bit.INTPRD = ET_3RD;
}

```

ePWM2 kesmesinin sürekli olabilmesi için kullanılan epwm2_isr() ISR işlevi kodları aşağıda verilmiştir. İlgili ePWM modülüne ait ETCLR yazmacı INT biti ayarlanarak kesme bayrağı temizlenir. MİB'nin ePWM2 kesmesinin yer aldığı 3. gruptan başka kesme kabul etmesi için ISR'den çıkmadan önce PIEACK yazmacının ilgili biti (ACK3) 1 yapılarak temizlenir.

```
__interrupt void epwm2_isr(void)
{
    EPwm2Regs.ETCLR.bit.INT = 1;
    PieCtrlRegs.PIEACK.all = PIEACK_GROUP3;
}
```

MGNİ yöntemi kodları içinde PWM işaretlerinin iş çevrim oranı aşağıdaki kod satırları ile güncellenmiştir. Uygulamada DA-DA dönüştürücü Alçaltıcı-Yükseltici modda kullanılabildiği için özdeş PWM işaretleri kullanılmıştır.

```
EPwm2Regs.CMPA.bit.CMPA = (Uint16)(Duty*1000.0);
EPwm2Regs.CMPB.bit.CMPB = (Uint16)(Duty*1000.0);
```

4.3.5. Zamanlayıcı Birimi

Önerilen karma MGNİ yönteminin bir parçası olan Artımlı İletkenlik yönteminin periyodu 1 ms olduğu için uygulamada TIMER0 modülü 1 ms'lik aralıklarla kesme oluşturacak şekilde ayarlanmıştır. Bunun için öncelikle InitCpuTimers() işlevi ile 32-bitlik üç MİB zamanlayıcısı (TIMER0-2) başlatılır. Ardından ConfigCpuTimer() işlevi, seçilen zamanlayıcıyı frekans ve periyot parametreleri tarafından belirtilen süreye göre başlatır. Frekans argümanı MHz olarak periyot argümanı µs olarak olarak girilir. Zamanlayıcı, yarpılandırılmadan sonra durdurulmuş durumda tutulur. TCR yazmacı ile MIB TIMER0 kesmesi etkinleştirilir. Kusursuz zamanlama sağlamak için, sözü edilen iki işlevde yapılandırma bitlerinden herhangi biri değiştirilirse, TCR yazmacı ayarları güncellenmelidir.

```
InitCpuTimers();
ConfigCpuTimer(&CpuTimer0, 200, 1000);
CpuTimer0Regs.TCR.all = 0x4000;
```

TIMER0 kesmesinin sürekli olabilmesi için kullanılan `cpu_timer0_isr()` ISR işlevi kodları aşağıda verilmiştir. MİB'nin TIMER0 kesmesinin yer aldığı 1. gruptan başka kesme kabul etmesi için ISR'den çıkmadan önce PIEACK yazmacının ilgili biti (ACK1) 1 yapılarak temizlenir. Her kesmede TIMER0 modülünün 32-bitlik InterruptCount değişkeni bir artırılmaktadır. Bu değişkenin değeri zamanlayıcının çalışmaya başladığı andan itibaren kaç milisaniye geçtiğini göstermektedir. Yaklaşık 50 gün sürekli çalışma durumunda InterruptCount değişkeni sıfırlanacaktır. Bu nedenle uzun süreli çalışma için ek değişkenler kullanılmalıdır.

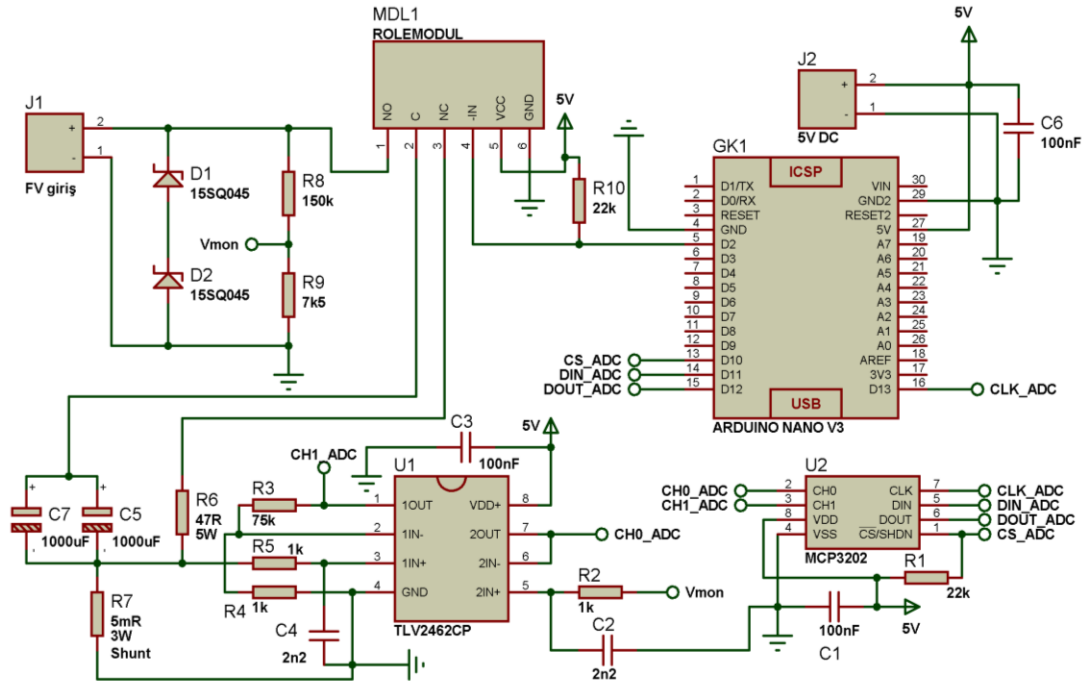
```
__interrupt void cpu_timer0_isr(void)
{
    CpuTimer0.InterruptCount++;
    PieCtrlRegs.PIEACK.all = PIEACK_GROUP1;
}
```

MGNİ yöntemi kodları içinde aşağıda verilen kod bloğu kullanılarak Artımlı İletkenlik algoritmasının 1 ms'lik periyotlarla (TAIA), Yasaklı YA'nın 20 ms'lik periyotlarla çalışması sağlanmıştır. OTYP, Yasaklı YA periyodunun Artımlı İletkenlik algoritması periyoduna oranıdır.

```
oncekiAn = CpuTimer0.InterruptCount;
do
{
    suAn = CpuTimer0.InterruptCount;
    if( suAn - oncekiAn >= TAIA )
    {
        oncekiAn = CpuTimer0.InterruptCount;
        if( Algoritma==0 && sayacMS == OTYP)
        {
            ... //YASAKLI YARASA ALGORİTMASI KODLARI
        }else if( Algoritma==1)
        {
            ... //ARTIMLI İLETKENLİK ALGORİTMASI KODLARI
        }
        sayacMS++;
    }
}while(1);
```

4.4. AKIM-GERİLİM İZLEYİCİ

Akım-Gerilim (IV) İzleyici, FV hücre, modül ya da dizinin herhangi bir çevresel koşul altındaki MGN'sini tespit edebilmekte, I-V ve P-V eğrilerini çıkarabilmektedir. Proje kapsamında, donanımsal ve yazılımsal olarak açık kaynak olan IV-Swinger2 aygıtı yapılmıştır. IV-Swinger2 eğitimsel amaçla maksimum 10A'lık I_{sc} ve maksimum 80V'luk V_{oc} 'ye sahip FV hücre/modül/diziler için tasarlanmış Arduino tabanlı bir IV-izleyicidir [60]. Şekil 4.7'de Arduino Nano ile tasarlanan IV-İzleyicinin devre şeması görülmektedir.



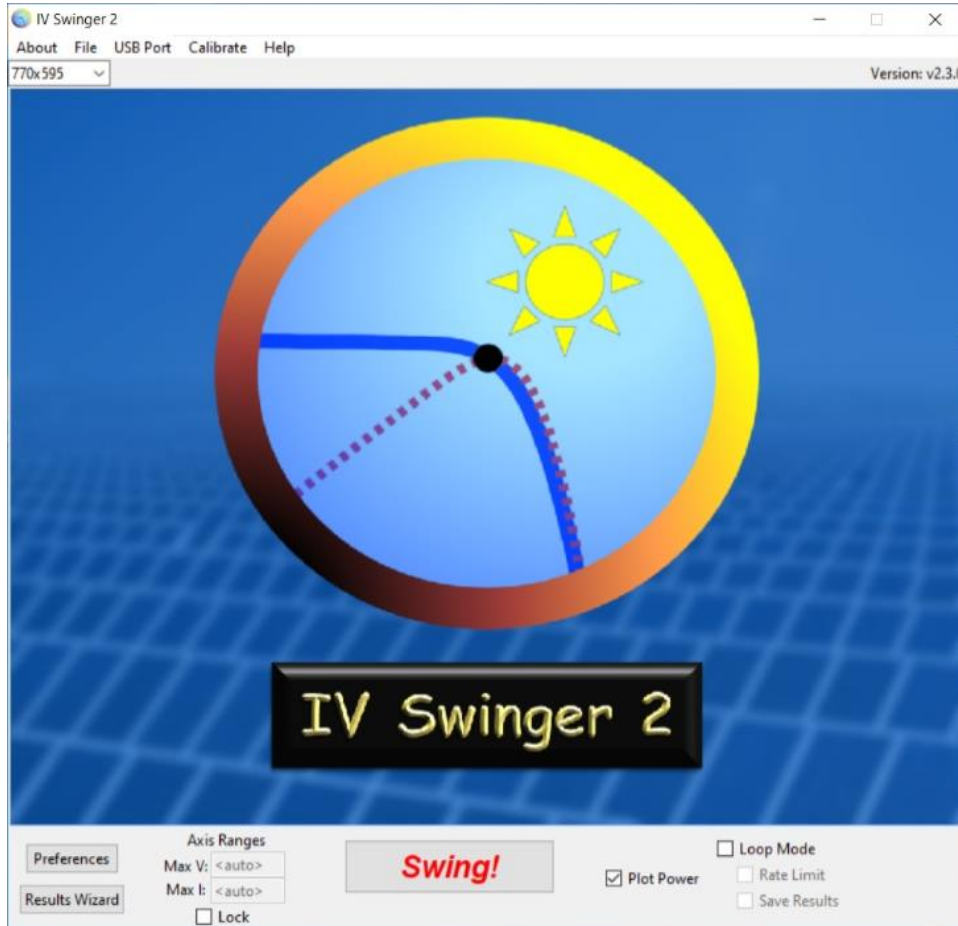
Şekil 4.7. IV-İzleyici devre şeması.

IV-İzleyicinin çalışma ilkesi, kondansatörün şarjı sırasında şarj akımı ve geriliminin çok sık ölçülmesine dayanmaktadır. Yazılım tarafından toplam 2000 μF değerindeki kondansatörün şarj için FV girişe, deşarj için R6 direncine anahtarlabilmesi için 5V röle modülü kullanılmıştır. Akım algılama için 5 m Ω 3 W'lık şönt direnç, gerilim algılama için gerilim bölücü kullanılmıştır. İşlemsel yükselteçli gerilim izleyici ile gerilim bölücünün empedansı uygunlaştırılmıştır. Şönt direnç üzerindeki gerilim işlemsel yükselteçli evirmeyen yükselteç ile yükseltilmiştir. Analog akım ve gerilim değerleri seri arayüze sahip 12-bitlik MCP3202 ADC'si ile sayısallaştırılmıştır.

Sağlamlık açısından IV-İzleyicinin tüm kart ve parçalarını barındıran tek bir baskı devre kartı, Proteus programında tasarlanmıştır. Ek Açıklamalar B’de üretilen IV-İzleyici aygıtı ve baskı devre çizimi verilmiştir.

4.4.1. Kullanıcı Arayüzü ve Kalibrasyon

IV-İzleyici, I-V ve P-V eğrilerini görüntülemek amacıyla MacOS ve Windows altında çalışabilen Python tabanlı açık kaynak kullanıcı arayüzü kullanılır (Şekil 4.8). Kullanıcı arayüzünün çalıştırılabilmesi için Python2 ve kullanılan python modülleri kurulmuş, derleme ile ilgili yönergeler yerine getirilerek Windows 10 altında IV-Swinger2 arayüzü çalıştırılabilir hale getirilmiştir.



Şekil 4.8. IV-İzleyici kullanıcı arayüzü.

IV-İzleyici ile yapılan ilk ölçümler sonucunda FV modülün I_{sc} ve V_{oc} değerlerinin tam doğru olmadığı görülmüştür. Bu nedenle IV-İzleyiciye, kullanıcı arayüzünde

belirtilen yönergeler doğrultusunda gerilim ve akım kalibrasyonu yapılmıştır. Kalibrasyon için açık havada ve öğle saatinde multimetre ile FV modül gerilimi (V_{OC}) ve FV modül kısa devre akımı (I_{SC}) ölçülmüştür. Elde edilen değerler kullanıcı arayüzünde ilgili yerlere girilmiştir. Kalibrasyon sonrası IV-İzleyici ile yapılan ölçümler sonucunda FV modülün I_{SC} ve V_{OC} değerlerinin doğru olduğu görülmüştür.

BÖLÜM 5

BENZETİM VE DENEY ÇALIŞMALARI

Bu bölümde, önerilen karma MGNİ yönteminin, MATLAB/Simulink'te yapılan benzetimlerinin sonuçları ile deneysel FV sistem üzerinde yapılan deney sonuçları ve karşılaştırma amaçlı olarak aynı FV sistem modeli üzerinde yapılan S&G, Aİ ve standart YA tabanlı MGNİ yöntemleri benzetimlerinin sonuçları açıklanacaktır.

5.1. BENZETİM ÇALIŞMALARI

Benzetimler, proje çalışmaları için kurulan deneysel FV sistem ile aynı özelliklerde olacak şekilde düzenlenen MATLAB/Simulink modeli üzerinde yapılmıştır. FV dizi, 3 adet 60 W'lık FV modülün seri bağlanmasıyla oluşturulmuştur. Evirmeyen Alçaltıcı-Yükseltici tipteki DA-DA dönüştürücü MOSFET'leri 50 kHz'lik PWM işaretleri ile kontrol edilmiştir. Benzetimler, Çizelge 3.1'de tanımlanan 7 farklı test koşulu altında, 10 Ω 'luk yük direnci ile yapılmıştır. Ayrıca önerilen karma MGNİ yönteminin iklimsel/çevresel koşul değişikliği ve yüksek yük direnci (50 Ω) durumlarındaki tepkisini görmek için üç benzetim daha yapılmıştır. Karşılaştırma amacıyla aynı FV sistem modeli üzerinde, 3 farklı koşul altında S&G algoritmasının, Aİ algoritmasının ve standart YA tabanlı MGNİ yönteminin benzetimleri yapılmıştır.

Yarasa algoritması tabanlı MGNİ yöntemlerinde yarasaların ürettiği çözüm DA-DA dönüştürücü MOSFET'lerine uygulanan iş çevrim oranıdır. Benzetim sonuçlarında iş çevrim oranı [0, 1] aralığında gösterilmiştir.

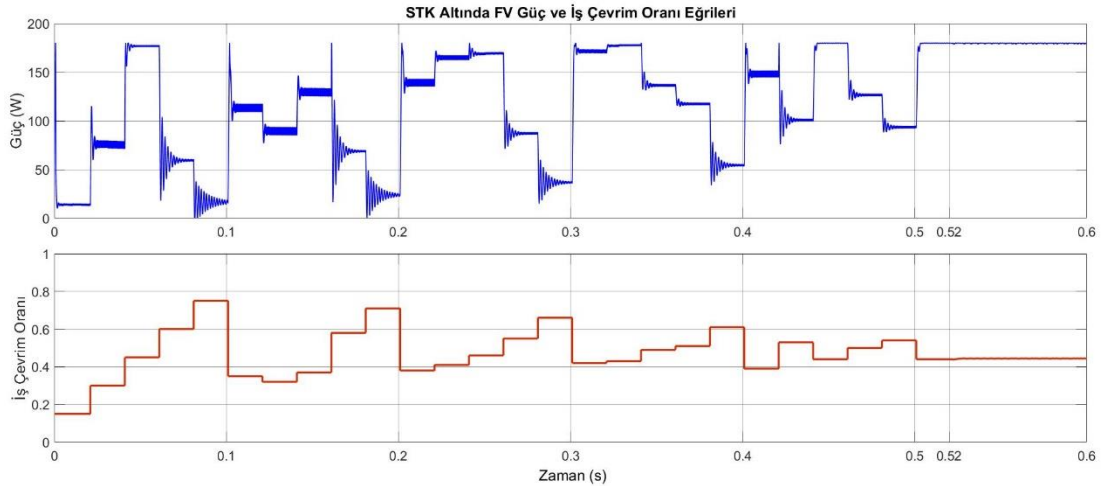
5.1.1. Önerilen Karma MGNİ Yöntemi Benzetim Çalışmaları

Yasaklı YA ve Aİ algoritmasından oluşan önerilen karma MGNİ yönteminin farklı koşullar altında yapılan benzetimlerinden elde edilen zamana bağlı iş çevrim oranı

değişimini ve FV güç değişimini gösteren eğriler Şekil 5.1 - Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Önerilen karma MGNİ yöntemini oluşturan algoritmaların etkin olduğu zaman aralıkları ve yürüttükleri işlem şöyledir:

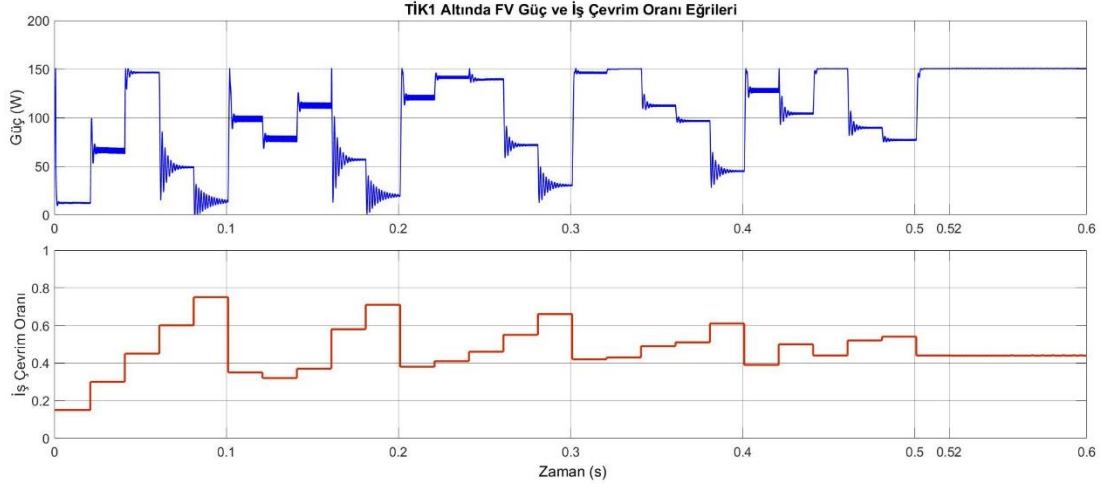
- 0 - 0,1 saniye aralığında Yasaklı YA, yarasa başlangıç çözümlerini,
- 0,1 - 0,5 saniye aralığında Yasaklı YA, yineleme sürecinde güncellenmiş yarasa çözümlerini,
- 0,5 - 0,52 saniye aralığında Yasaklı YA, tüm yineleme sürecinde tespit edilen en iyi çözümü,
- 0,52 - 0,6 saniye aralığında AI algoritması Yasaklı YA'nın tespit ettiği en iyi çözümden başlayarak ürettiği çözümleri, DA-DA dönüştürücüye uygulamaktadır.

Şekil 5.1'de, 179,97 W'lık bir MGN'ye sahip STK altında yapılan benzetim sonuçları görülmektedir. Yasaklı YA'nın 179,78 W ürettiği en iyi çözüm 0,44 iş çevrim oranı olmuştur. AI algoritması bu çözümü geliştirememiş ve aynı gücü üretmeyi sürdürmüştür. Önerilen MGNİ yöntemi STK altında, üretebildiği maksimum güç olan 179,78 W değerine 0,52 saniyede yakınsamış, kararlı halde % 99,89 statik verimlilik sağlamıştır.



Şekil 5.1. Önerilen karma MGNİ yönteminin STK benzetim sonuçları.

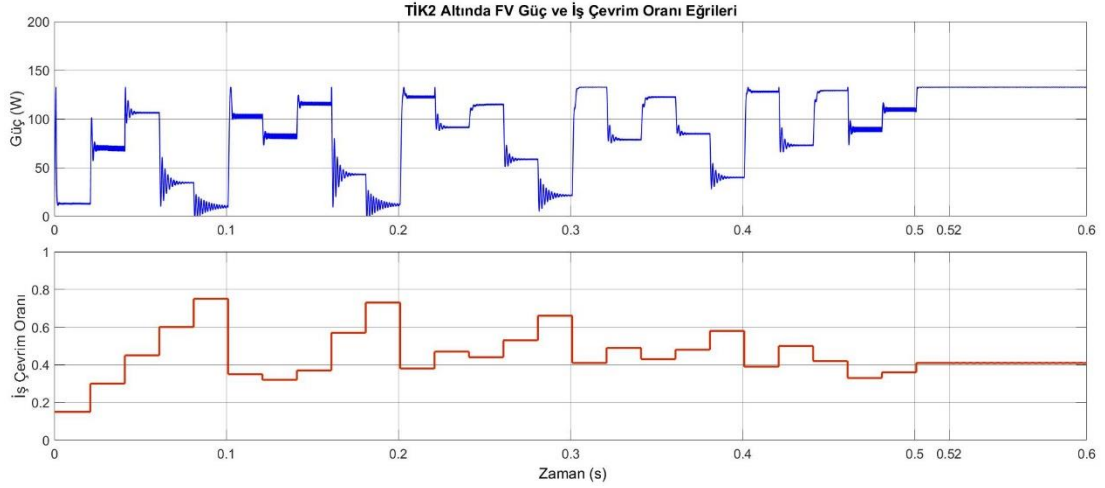
Şekil 5.2’de, 150,85 W’lık bir MGN’ye sahip TİK1 altında yapılan benzetim sonuçları görülmektedir. Yasaklı YA’nın 150,41 W ürettiği en iyi çözüm 0,44 iş çevrim oranı olmuştur. Aİ algoritması gücü 150,55 W’a çıkarmıştır. Önerilen MGNİ yöntemi TİK1 altında, üretebildiği maksimum güç olan 150,55 W değerine 0,522 saniyede yakınsamış, kararlı halde % 99,8 statik verimlilik sağlamıştır.



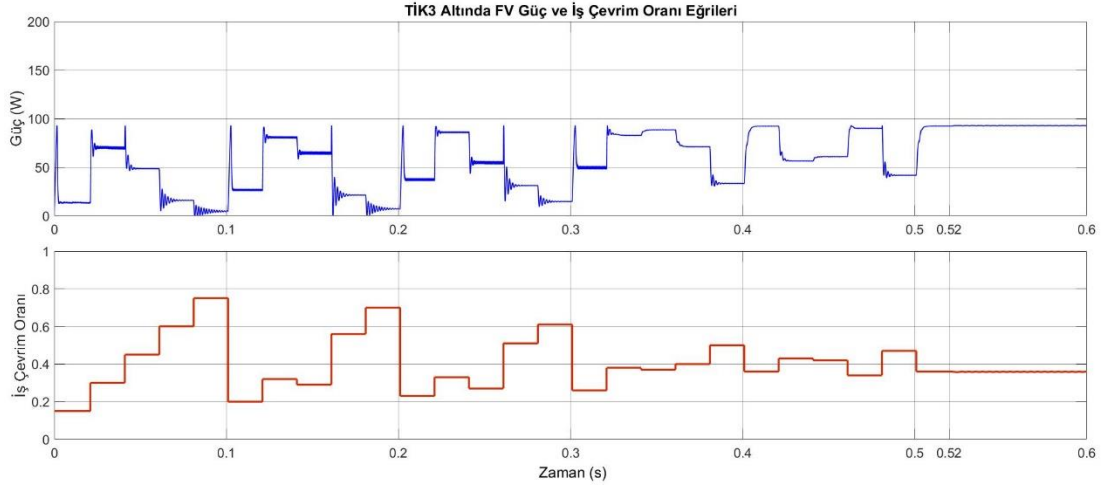
Şekil 5.2. Önerilen karma MGNİ yönteminin TİK1 benzetim sonuçları.

Şekil 5.3’de, 132,63 W’lık bir MGN’ye sahip TİK2 altında yapılan benzetim sonuçları görülmektedir. Yasaklı YA’nın 132,44 W ürettiği en iyi çözüm 0,41 iş çevrim oranı olmuştur. Aİ algoritması gücü 132,46 W’a çıkarmıştır. Önerilen MGNİ yöntemi TİK2 altında, üretebildiği maksimum güç olan 132,46 W değerine 0,522 saniyede yakınsamış, kararlı halde % 99,87 statik verimlilik sağlamıştır.

Şekil 5.4’de, 92,83 W’lık bir MGN’ye sahip TİK3 altında yapılan benzetim sonuçları görülmektedir. Yasaklı YA’nın 92,31 W ürettiği en iyi çözüm 0,36 iş çevrim oranı olmuştur. Aİ algoritması gücü 92,77 W’a çıkarmıştır. Önerilen MGNİ yöntemi TİK3 altında, üretebildiği maksimum güç olan 92,77 W değerine 0,524 saniyede yakınsamış, kararlı halde % 99,93 statik verimlilik sağlamıştır.



Şekil 5.3. Önerilen karma MGNİ yönteminin TİK2 benzetim sonuçları.

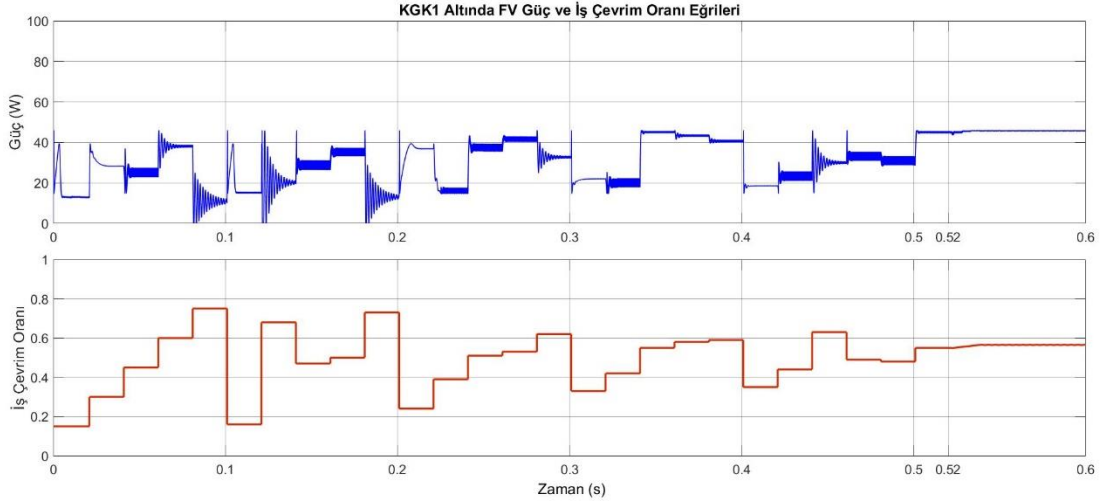


Şekil 5.4. Önerilen karma MGNİ yönteminin TİK3 benzetim sonuçları.

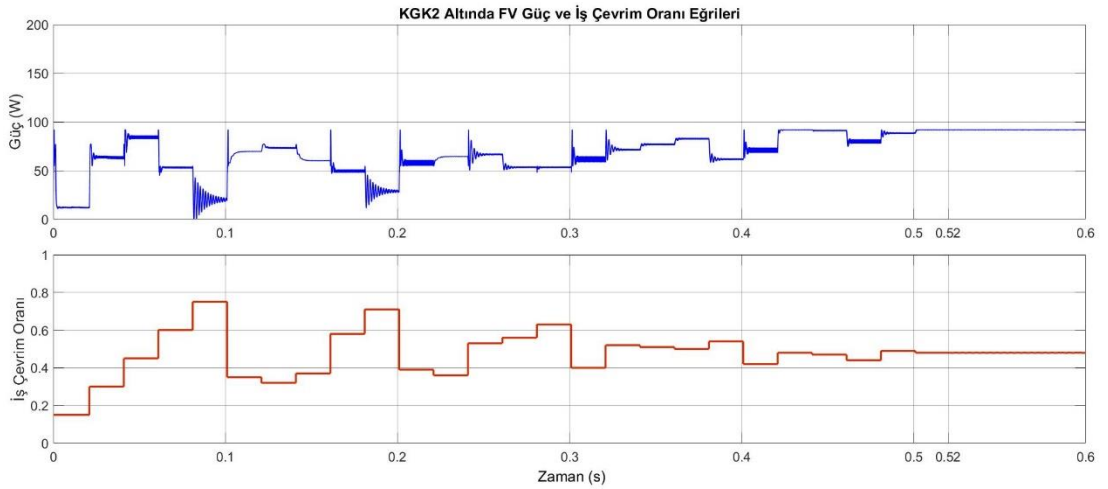
Şekil 5.5’de, 46,07 W’lık genel MGN ve 39,39 W’lık bir yerel MGN’ye sahip KGK1 altında yapılan benzetim sonuçları görülmektedir. Yasaklı YA’nın 45,08 W ürettiği en iyi çözüm 0,55 iş çevrim oranı olmuştur. Aİ algoritması gücü 45,74 W’a çıkarmıştır. Önerilen MGNİ yöntemi KGK1 altında, üretebildiği maksimum güç olan 45,74 W değerine 0,534 saniyede yakınsamış, kararlı halde % 99,28 statik verimlilik sağlamıştır.

Şekil 5.6’de, 92,02 W’lık genel MGN, 54,76 W’lık ve 77,22 W’lık iki yerel MGN’ye sahip KGK2 altında yapılan benzetim sonuçları görülmektedir. Yasaklı YA’nın 91,77 W ürettiği en iyi çözüm 0,48 iş çevrim oranı olmuştur. Aİ algoritması gücü 91,78 W’a

çıkarmıştır. Önerilen MGNİ yöntemi KGK2 altında, üretebildiği maksimum güç olan 91,78 W değerine 0,522 saniyede yakınsamış, kararlı halde % 99,73 statik verimlilik sağlamıştır.

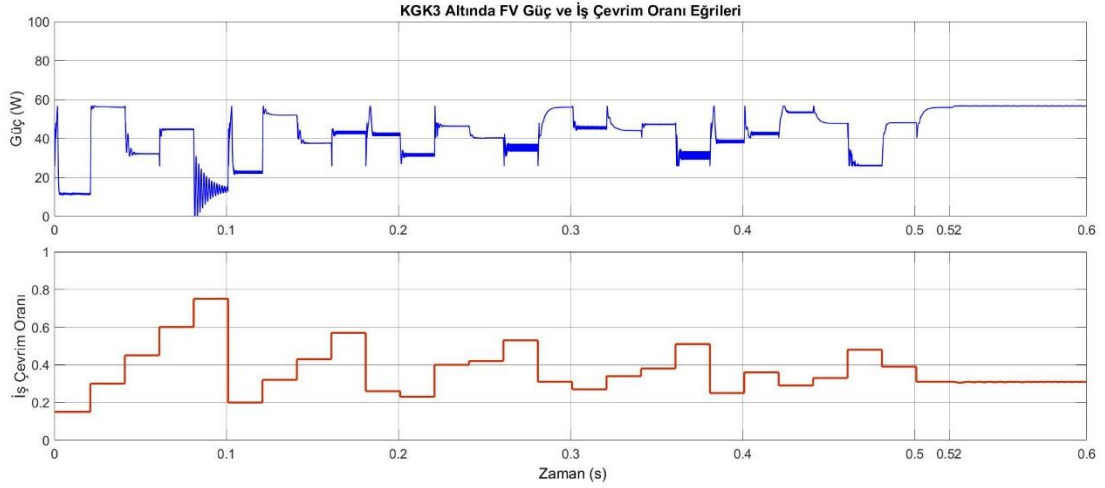


Şekil 5.5. Önerilen karma MGNİ yönteminin KGK1 benzetim sonuçları.



Şekil 5.6. Önerilen karma MGNİ yönteminin KGK2 benzetim sonuçları.

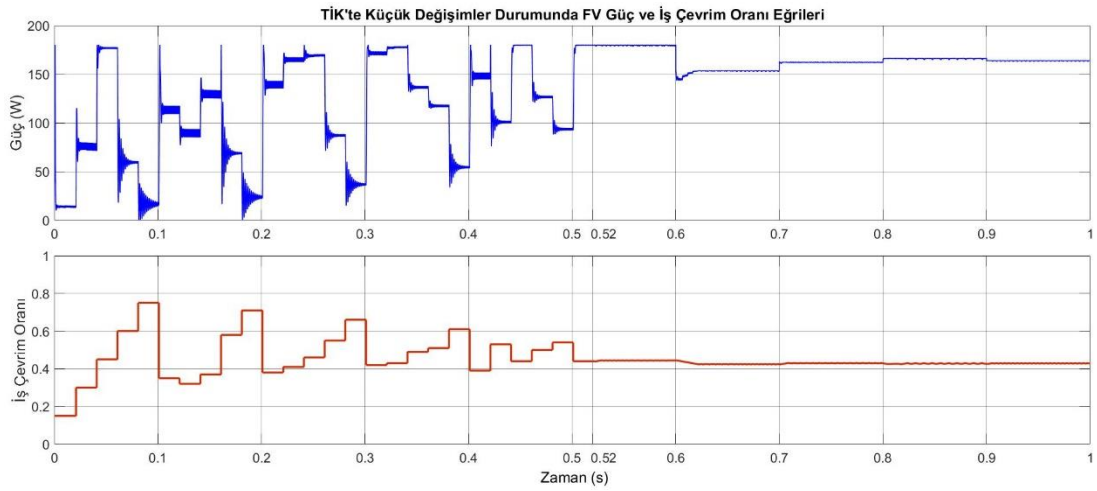
Şekil 5.7’de, 56,66 W’lık genel MGN, 45,26 W’lık ve 48,07 W ’lık iki yerel MGN’ye sahip KGK3 altında yapılan benzetim sonuçları görülmektedir. Yasaklı YA’nın 55,86 W ürettiği en iyi çözüm 0,31 iş çevrim oranı olmuştur. Aİ algoritması gücü 56,65 W’a çıkarmıştır. Önerilen MGNİ yöntemi KGK3 altında, üretebildiği maksimum güç olan 56,65 W değerine 0,526 saniyede yakınsamış, kararlı halde % 99,98 statik verimlilik sağlamıştır.



Şekil 5.7. Önerilen karma MGNİ yönteminin KGK3 benzetim sonuçları.

Şekil 5.8’de sabit FV dizilerin açık bir günde maruz kalabileceği, küçük miktarda değişen iklimsel koşullar benzetilmeye çalışılmıştır. Bu benzetimde kullanılan tekdüze iklimsel koşullar, etkin olduğu zaman aralıkları ve MGN’leri şöyledir:

- 0 - 0,6 saniye aralığında STK, 179,97 W,
- 0,6 - 0,7 saniye aralığında 850 W/m^2 ışınım ve 25°C sıcaklık, 153,66 W,
- 0,7 - 0,8 saniye aralığında 900 W/m^2 ışınım ve 25°C sıcaklık, 162,48 W,
- 0,8 - 0,9 saniye aralığında 900 W/m^2 ışınım ve 20°C sıcaklık, 166,35 W,
- 0,9 – 1 saniye aralığında 900 W/m^2 ışınım ve 23°C sıcaklık, 164,03 W.



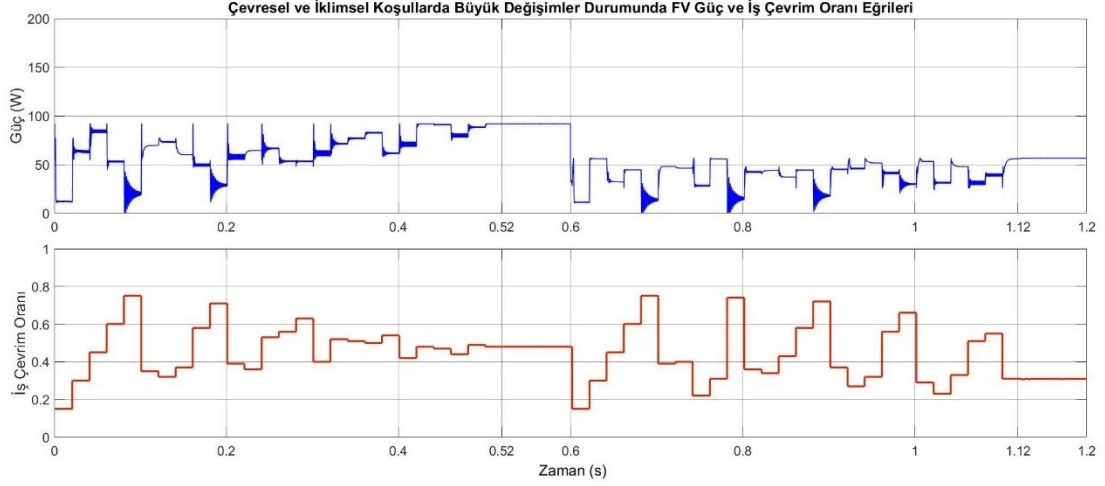
Şekil 5.8. Önerilen karma MGNİ yönteminin TİK’te küçük değişim benzetim sonuçları.

Benzetimin 0 – 0,6 saniye aralığında etkin olan STK'nın benzetim sonuçları daha önce açıklandığı gibi gerçekleşmiştir. 0,6'ncı saniyede ışıınım 150 W/m^2 azalmaktadır. Bu koşul değişiminde meydana gelen güç azalmasının, MGNİ yönteminin sıfırlanarak Yasaklı YA'nın yeniden yürütülmesini sağlayan kritik güç değişim miktarından az olması nedeniyle Aİ algoritması çalışmaya devam ederek üretebildiği maksimum güç olan $153,53 \text{ W}$ değerine 0,022 saniye içinde yakınsamış ve % 99,91 statik verimlilik sağlamıştır. 0,7'nci saniyede ışıınım 50 W/m^2 artmış, önceki değişimde olduğu gibi Aİ algoritması çalışmasını sürdürerek üretebildiği maksimum güç olan $162,28 \text{ W}$ değerine 0,006 saniye içinde yakınsamış ve % 99,87 statik verimlilik sağlamıştır. 0,8'nci saniyede sıcaklık $5 \text{ }^\circ\text{C}$ azalmış ve Aİ algoritması çalışmasını sürdürerek üretebildiği maksimum güç olan $166,16 \text{ W}$ değerine 0,003 saniye içinde yakınsamış ve % 99,88 statik verimlilik sağlamıştır. Son olarak 0,9'ncü saniyede sıcaklık $3 \text{ }^\circ\text{C}$ artmış ve Aİ algoritması çalışmasını sürdürerek üretebildiği maksimum güç olan $163,88 \text{ W}$ değerine 0,001 saniye içinde yakınsamış ve % 99,90 statik verimlilik sağlamıştır. TİK'de küçük değişimler durumlarında, önerilen MGNİ yönteminde Yasaklı YA devreye girmeyerek Aİ algoritması ile değişimin büyüklüğüne bağlı olarak yeni MGN yakınındaki çalışma noktasına en fazla 0,022 saniyede yakınsamayı başarmıştır.

Tasarım aşamasında Yasaklı YA'nın sürekli devreye girmesinin güç kayıplarını artıracığı düşüncesiyle, gün içerisinde meydana gelen küçük iklimsel değişikliklerde Aİ algoritmasının MGN izlemesi kararlaştırılmıştı. Bu benzetim, önerilen MGNİ yönteminin TİK'teki küçük değişimlere kısa sürede uyum sağladığını ve dolayısıyla minimum güç kaybına neden olduğunu göstermektedir.

Şekil 5.9'de sonuçları verilen benzetimde, bulutlu bir günde ya da çevresel gölge kaynakları dolayısıyla yaşanabilecek, büyük miktarda değişen iklimsel koşullar benzetilmeye çalışılmıştır. Bu benzetimde, sonuçları daha önce açıklanan KGK2'den KGK3'e geçiş durumunda önerilen karma MGNİ yönteminin tepkisi gösterilmiştir. İlk 0,6 saniye boyunca KGK2, sonraki 0,6 saniye boyunca KGK3 etkindir. İlk 0,6 saniye içinde gerçekleşen sonuçlar, KGK2 ile daha önce yapılan benzetim ile birebir aynıdır. Sonraki 0,6 saniye içinde gerçekleşen sonuçlar, MATLAB random işlevinin zamana bağlı olması nedeniyle önceki KGK3 benzetim sonuçları ile birebir aynı değildir.

Ancak, yakınsama süresi, üretebildiği maksimum güç ve statik verimlilik değişmemiştir.



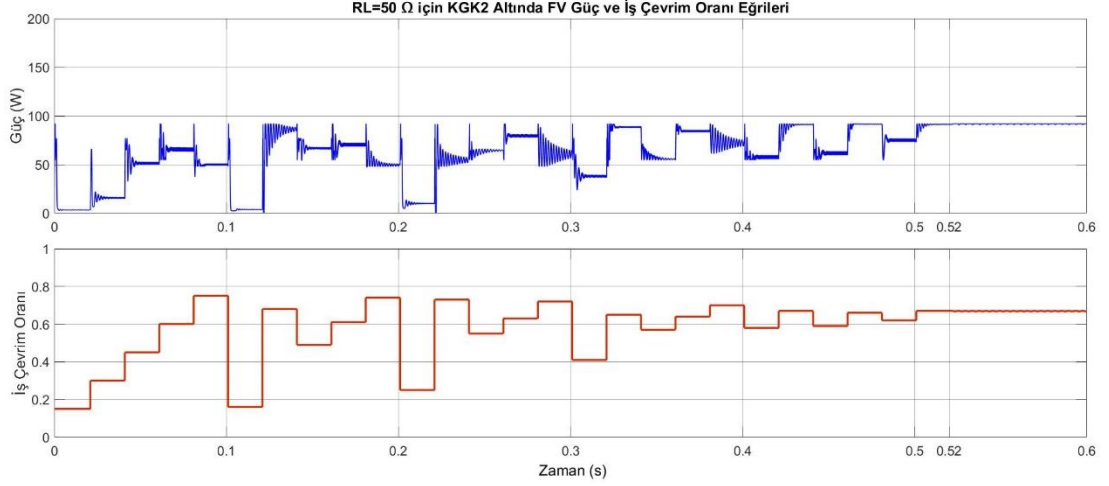
Şekil 5.9. Önerilen karma MGNİ yönteminin KGK değişimi benzetim sonuçları.

Tasarım aşamasında özellikle kısmi gölgelenme meydana geldiğinde ya da düzeni değiştiğinde genel MGN'nin büyük oranda değişmesi ve yerel MGN tuzaklarının olması nedeniyle MGNİ yöntemi sıfırlanarak Yasaklı YA'nın yeniden devreye girmesi kararlaştırılmıştı. Bu benzetim, önerilen karma MGNİ yönteminin KGK değişimi durumunda planlandığı gibi çalıştığını göstermektedir.

Şekil 5.10'da 50 Ω 'luk yük direnci ile KGK2 altında yapılan benzetim sonuçları görülmektedir. Bu benzetim ile 5 kat artırılan yük direncinin MGNİ başarımına etkisi gözlenmiştir. Şekil 5.6'da sonuçları gösterilen, aynı koşul altında yapılan benzetime göre MGN'nin iş çevrim oranı yükselmiştir. Bu benzetimde Yasaklı YA'nın 91,31 W ürettiği en iyi çözüm 0,67 iş çevrim oranı olmuştur. AI algoritması gücü 91,87 W'a çıkarmıştır. Önerilen MGNİ yöntemi daha yüksek yük direnci ile KGK2 altında, üretebildiği maksimum güç olan 91,78 W değerine 0,523 saniyede yakınsamış, kararlı halde % 99,73 statik verimlilik sağlamıştır.

Bu benzetimde, yük direncinin artmasının MGN'yi daha yüksek iş çevrim oranına kaydıracağı, Alçaltıcı-Yükseltici DA-DA dönüştürücüyü daha çok yükseltici olarak çalıştırdığı görülmüştür. Çözüm uzayı 10 Ω 'luk yük direncine göre sınırlandırılan

MGNİ yöntemi, yük direncinin artmasına rağmen genel MGN yakınına aynı sürede yakınsamıştır. Bu benzetim, MGNİ yöntemi tasarlanırken yarasa başlangıç çözümlerinin, çözüm uzayının ve hatta yarasa sayısının muhtemel yük direnci aralığına göre belirlenmesi gerektiğini göstermiştir.



Şekil 5.10. Önerilen karma MGNİ yönteminin KGK2 altında yüksek yük direnci benzetim sonuçları.

Önerilen karma MGNİ yönteminde başarısız yarasa çözümlerinin yinelenmesi engellenerek aynı sürede daha fazla farklı konumun denenmesi prematüre sonuçları azaltarak, genel MGN'ye daha fazla yakınsama sağlamıştır.

Üzerinde yapılan tüm benzetimler sonucunda, önerilen karma MGNİ yönteminin en fazla 0,534 saniyede MGN tespit edebildiği, değişen koşullara minimum güç kaybıyla uyum sağlayabildiği ve kısmi gölgeleme durumunu yönetebildiği görülmüştür.

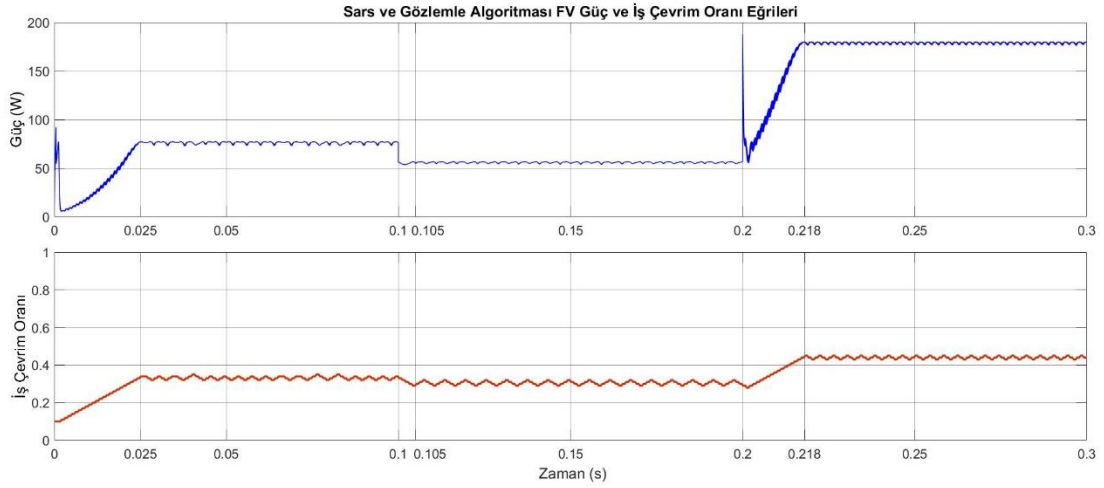
5.1.2. Diğer MGNİ Yöntemleri Benzetim Çalışmaları

Önerilen karma MGNİ yöntemi benzetim sonuçları ile karşılaştırmak için aynı FV sistem modeli üzerinde S&G, Aİ ve standart YA tabanlı MGNİ yöntemlerinin benzetimleri yapılmıştır. S&G ve Aİ algoritmalarının arama süreci daha kısa olduğu için tek benzetim içinde üç farklı koşul sırayla uygulanmıştır. Standart YA genel arama süreci nispeten uzun sürdüğü için her benzetim bir koşul altında yapılmıştır.

5.1.2.1. S&G Algoritması Benzetim Çalışması

Şekil 5.11’de S&G algoritmasının KGK2, KGK3 ve STK altında yapılan benzetim sonuçları görülmektedir. Benzetimde S&G algoritması iş çevrim oranı sarsma adımı 0,01 olarak alınmıştır. Benzetimde kullanılan koşullar ve etkin olduğu zaman aralıkları şöyledir:

- 0 - 0,1 saniye aralığında KGK2,
- 0,1 - 0,2 saniye aralığında KGK3,
- 0,2 - 0,3 saniye aralığında STK.



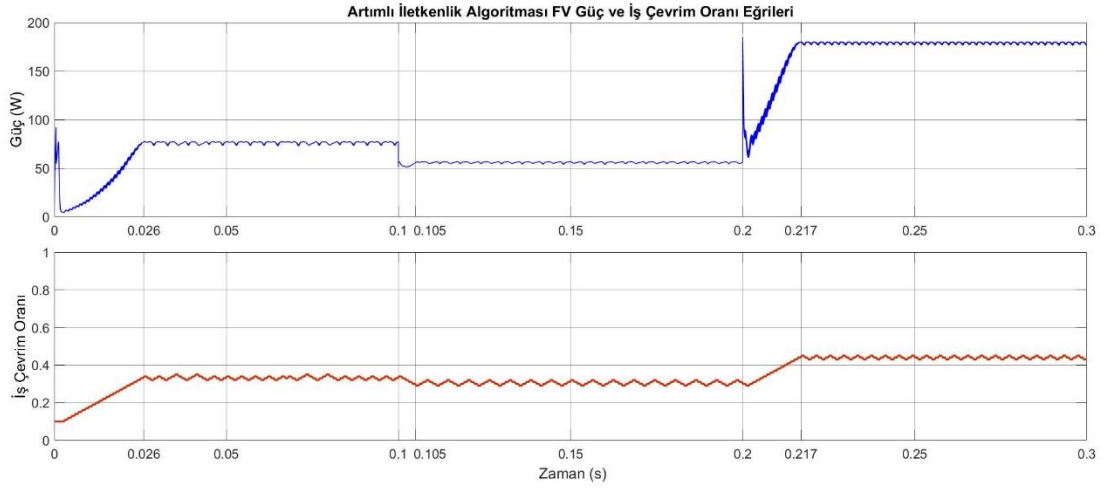
Şekil 5.11. S&G algoritması benzetim sonuçları.

S&G algoritmasının, genel MGN’si 92,02 W olan KGK2 altında, 0,025 saniyede 76,29 W’lık yerel MGN çevresinde bir çalışma noktasına, genel MGN’si 56,66 W olan KGK3 altında, 0,005 saniyede 55,88 W’lık genel MGN çevresinde bir çalışma noktasına ve MGN’si 179,97 W olan STK altında, 0,018 saniyede 178,95 W’lık MGN çevresinde bir çalışma noktasına yakınsadığı görülmüştür. S&G algoritması KGK2 altında yerel MGN tuzağına takıldığı için % 82,9 gibi nispeten düşük bir statik verimlilik, KGK3 altında % 98,62 ve STK altında % 99,43 statik verimlilik sağlamıştır. KGK2’den KGK3’e geçiş anında (0,1 s) güç değişiminin nispeten düşük olması nedeniyle oldukça hızlı yakınsama gerçekleşmiştir. Tüm koşullarda, kararlı halde çalışma noktası çevresinde salınımlar meydana gelmiştir.

S&G algoritmasının başlangıçtaki iş çevrim oranının, KGK altında yakınsayacağı MGN üzerinde doğrudan etkili olduğu görülmüştür. KGK2 altında yapılan benzetimde, literatürü destekler biçimde genel MGN yerine yerel MGN'ye yakınsama gerçekleşmiş ve yaklaşık % 17 güç kaybı meydana gelmiştir.

5.1.2.2. Aİ Algoritması Benzetim Çalışması

Şekil 5.12'de Aİ algoritmasının KGK2, KGK3 ve STK altında yapılan benzetim sonuçları görülmektedir. Benzetim koşulları, etkin olduğu zaman aralıkları ve Aİ algoritması iş çevrim oranı değiştirme adımı S&G algoritması ile aynı alınmıştır.



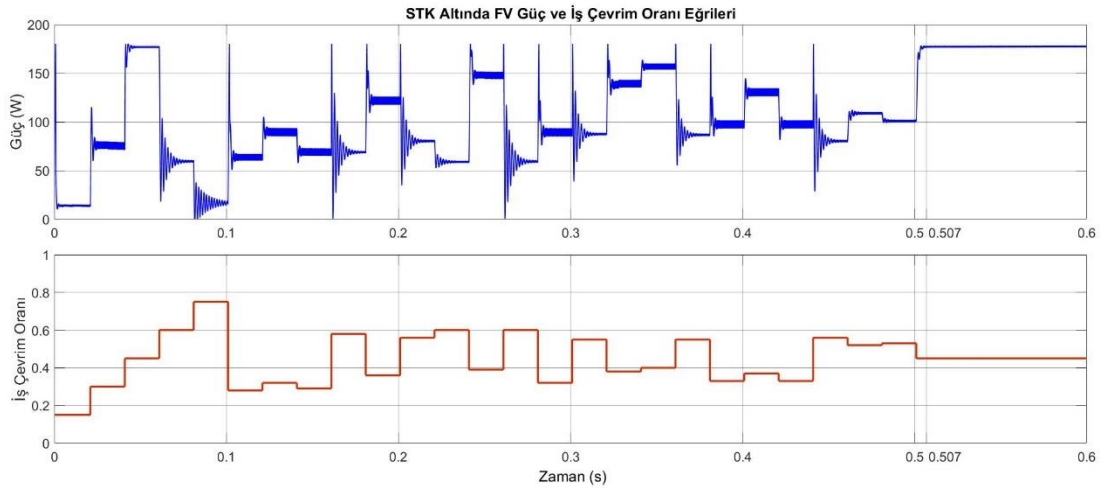
Şekil 5.12. Aİ algoritması benzetim sonuçları.

Aİ algoritmasının, genel MGN'si 92,02 W olan KGK2 altında, 0,026 saniyede 76,30 W'lık yerel MGN çevresinde bir çalışma noktasına, genel MGN'si 56,66 W olan KGK3 altında, 0,005 saniyede 55,89 W'lık genel MGN çevresinde bir çalışma noktasına ve MGN'si 179,97 W olan STK altında, 0,017 saniyede 178,94 W'lık MGN çevresinde bir çalışma noktasına yakınsadığı görülmüştür. Aİ algoritması KGK2 altında yerel MGN tuzağına takıldığı için % 82,91 gibi nispeten düşük bir statik verimlilik, KGK3 altında % 98,64 ve STK altında % 99,42 statik verimlilik sağlamıştır. KGK2'den KGK3'e geçiş anında güç değişiminin düşük olması nedeniyle oldukça hızlı yakınsama gerçekleşmiştir. Tüm koşullarda, kararlı halde, çalışma noktası çevresinde salınımlar meydana gelmiştir.

5.1.2.3. Standart YA Tabanlı MGNİ Yöntemi Benzetim Çalışması

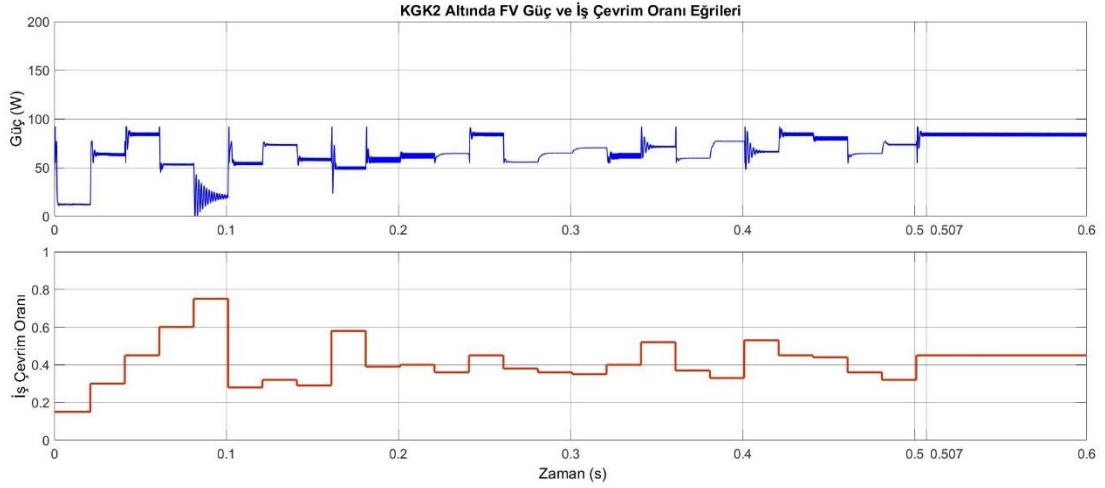
Standart YA tabanlı MGNİ yöntemi, ilk 0,1 saniye içinde yarasa başlangıç çözümlerini, sonraki 0,4 saniye boyunca yineleme sürecinde güncellenen yarasa çözümleri ve son 0,1 saniye boyunca mevcut en iyi çözümü DA-DA dönüştürücüye uygulamaktadır.

Şekil 5.13’de standart YA tabanlı MGNİ yönteminin, 179,97 W’lık bir MGN’ye sahip STK altında yapılan benzetim sonuçları görülmektedir. Yarasa başlangıç çözümleri ve 4 yineleme sonunda standart YA tabanlı MGNİ yönteminin ürettiği maksimum güç 179,78 W, yakısına süresi 0,507 saniye ve kararlı halde statik verimliliği % 99,89 olmuştur. Yineleme sayısının 8’e yükseltilmesi durumunda üretilen maksimum güç ve statik verimlilik değişmemiştir.



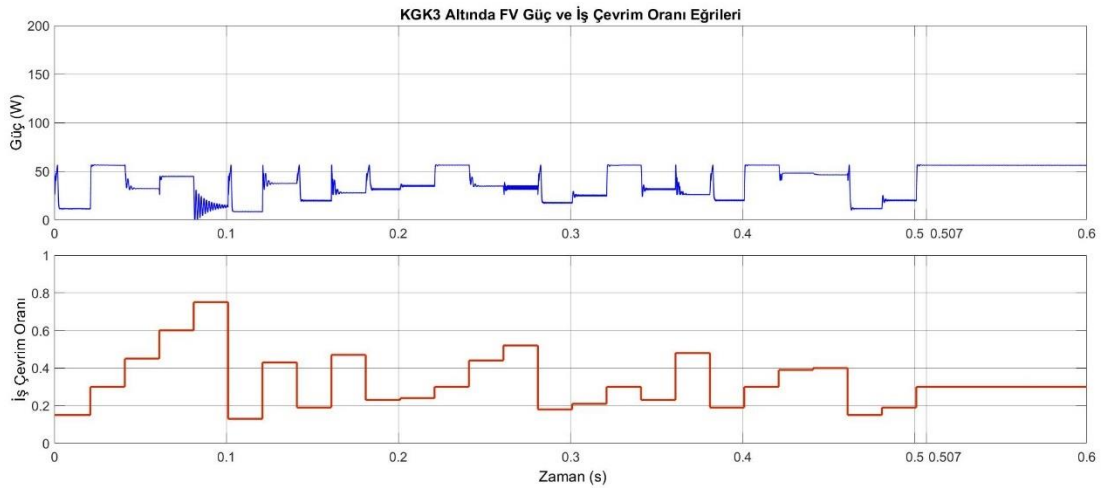
Şekil 5.13. STK altında standart YA tabanlı MGNİ yöntemi benzetim sonuçları.

Şekil 5.14’te standart YA tabanlı MGNİ yönteminin, 92,02 W’lık genel MGN, 54,76 W’lık ve 77,22 W’lık iki yerel MGN’ye sahip KGK2 altında yapılan benzetim sonuçları görülmektedir. Yarasa başlangıç çözümleri ve 4 yineleme sonunda standart YA tabanlı MGNİ yönteminin ürettiği maksimum güç 84,06 W, yakısına süresi 0,507 saniye ve kararlı halde statik verimliliği % 91,34 olmuştur. Yineleme sayısının 8’e yükseltilmesi durumunda üretilen maksimum güç 91,71 W, yakısına süresi 0,907 saniye ve kararlı halde statik verimlilik % 99,66 olmaktadır.



Şekil 5.14. KKG2 altında standart YA tabanlı MGNİ yöntemi benzetim sonuçları.

Şekil 5.15’de standart YA tabanlı MGNİ yönteminin, 56,66 W’lık genel MGN, 45,26 W’lık ve 48,07 W ’lık iki yerel MGN’ye sahip KKG3 altında yapılan benzetim sonuçları görülmektedir. Yarasa başlangıç çözümleri ve 4 yineleme sonunda standart YA tabanlı MGNİ yönteminin ürettiği maksimum güç 56,09 W, yakınsama süresi 0,507 saniye ve kararlı halde statik verimliliği % 98,99 olmuştur. Yineleme sayısının 8’e yükseltilmesi durumunda üretilen maksimum güç 56,20 W, yakınsama süresi 0,906 saniye ve kararlı halde statik verimlilik % 99,18 olmaktadır.



Şekil 5.15. KKG3 altında standart YA tabanlı MGNİ yöntemi benzetim sonuçları.

Üç farklı koşul altında yapılan benzetimler, standart YA tabanlı MGNİ yönteminin genel MGN bölgesini tespit etmekteki başarısını göstermektedir. Ancak düşük

yineleme sayısının güç kaybına neden olduğu, statik verimliliğin önerilen karma MGNİ yöntemindeki seviyelerde (% 99) olabilmesi için yineleme sayısının yükseltilmesi gerektiği görülmüştür. Ayrıca iklimsel koşullardaki küçük değişimlerde dahi 0,5 saniyelik, nispeten uzun arama sürecinin yeniden yapılması sistemi kararsızlaştıracak ve sürekli güç kayıplarına neden olacaktır. İklimsel koşullar değiştiğinde arama süreci tekrarlanmazsa yeni maksimum güç noktasında çalışma sağlanamayacak ve yine güç kaybı yaşanacaktır.

Sonuç olarak sadece standart YA içeren MGNİ yönteminin, kısmi gölgelenme durumu için uygun ancak gün içerisinde çoğunlukla yaşanacak küçük iklimsel değişimler için uygun olmadığı görülmüştür. Ayrıca yüksek statik verimlilik için nispeten yüksek yineleme sayısı ve nispeten uzun yakınsama süresi gerekmektedir.

5.2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

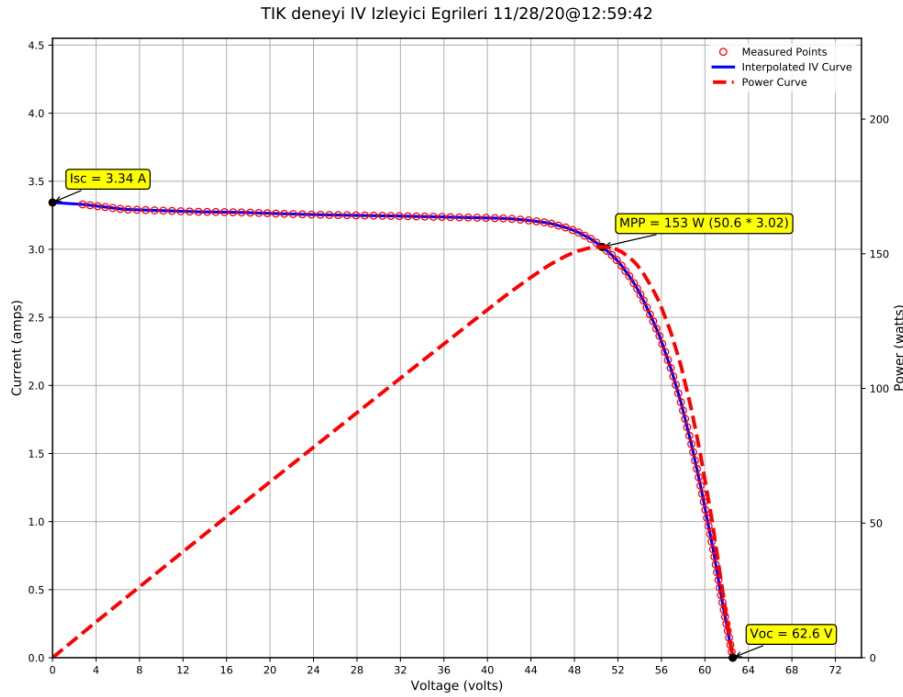
Deney düzeneği üzerinde son yapılan, sonuçları açıklanacak önerilen karma MGNİ yöntemi deneyleri, 28 Kasım 2020 tarihinde İstanbul Beykoz'da, zaman zaman rüzgarlı, bulutsuz bir havada yapılmıştır. FV modüller tam güneşe bakacak şekilde yerleştirilmiş, eğimi ise kış mevsiminde maksimum güç alınabilecek şekilde Beykoz'un enlemine 15° eklenerek, 56° olarak ayarlanmıştır. Deneyler sırasında FV modül sıcaklıkları ortalama 41°C olarak ölçülmüştür. Deneylerin öncesinde IV İzleyicinin gerilim ve akım kalibrasyonu yapılmıştır. Gerilim ve akım kalibrasyonu, FV dizi üzerinden ölçülen 62,6 V'luk V_{OC} değeri, 3,34 A'lık I_{SC} değeri ile yapılmıştır. Ölçümler sırasında osiloskobun Time/Div değeri 100 ms, Volts/Div değeri 20 V olarak ayarlanmıştır. Osiloskop ekran görüntülerinde 1 numara olarak işaretlenen yer Yasaklı YA'nın, 2 numara ile işaretlenen yer Aİ algoritmasının çalışmaya başladığı anlardır. Deneylerde KGK4-8 olarak adlandırılan 5 farklı gölgelenme düzeni kullanılmıştır. FV modülleri gölgelemek için A4 ve yaklaşık A5 boyutunda beyaz fotokopi kağıdı kullanılmıştır. A4 boyutu ile 12 adet FV hücresi, yaklaşık A5 boyutu ile 6 FV hücresi kısmen gölgelenmektedir. FV modülü oluşturan FV hücreler seri bağlı olduğundan ve bağlantı kutusuna 2 adet uç çıkarılmış olduğundan sadece bir adet atlatma diyonu takılabilmektedir. Bu da A5 boyutunda yapılan kısmi gölgelendirmenin A4 boyutu ile aynı P-V eğrisi üretmesine neden olmuştur. Bu nedenle deneysel çalışmalarda A4

boyutundan daha büyük bir gölgelendirme yapılmamıştır. Deneysel gölgelenme düzenleri ve sonuçları Şekil 5.16 - Şekil 5.33'da gösterilmiştir.

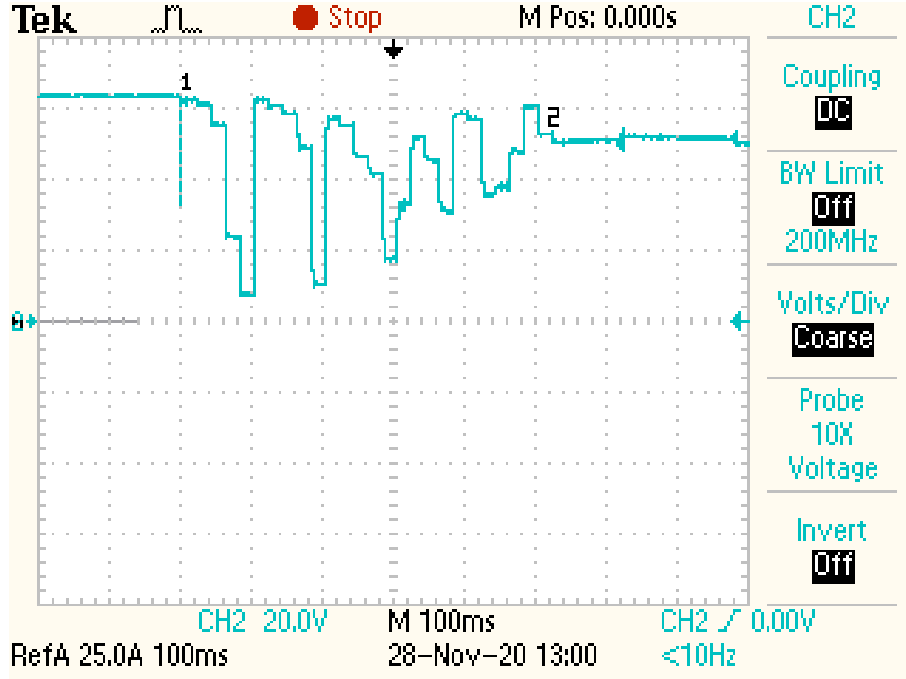
Şekil 5.16'da gösterilen, gölgelenme olmadan tekdüze iklimsel koşul altında saat 13:00'de yapılan deneyde, MGN'nin 152,8 W, MGN geriliminin 50,6 V ve MGN akımının 3,02 A olduğu IV İzleyici ile belirlenmiştir (Şekil 5.17). Şekil 5.18'de, deney sırasında ölçülen FV gerilimin osiloskop ekran görüntüsü gösterilmiştir. Yasaklı YA yineleme süreci sonunda en iyi çözüm olarak 52,8 V çalışma gerilimini tespit etmiştir. AI algoritması bu çözümü geliştirerek 0,532 s anında genel MGN gerilimine oldukça yakın, 50,4 V çalışma gerilimine yakınsamıştır.



Şekil 5.16. TİK deney düzeni.



Şekil 5.17. TİK deneyi IV İzleyici I-V ve P-V eğrileri.

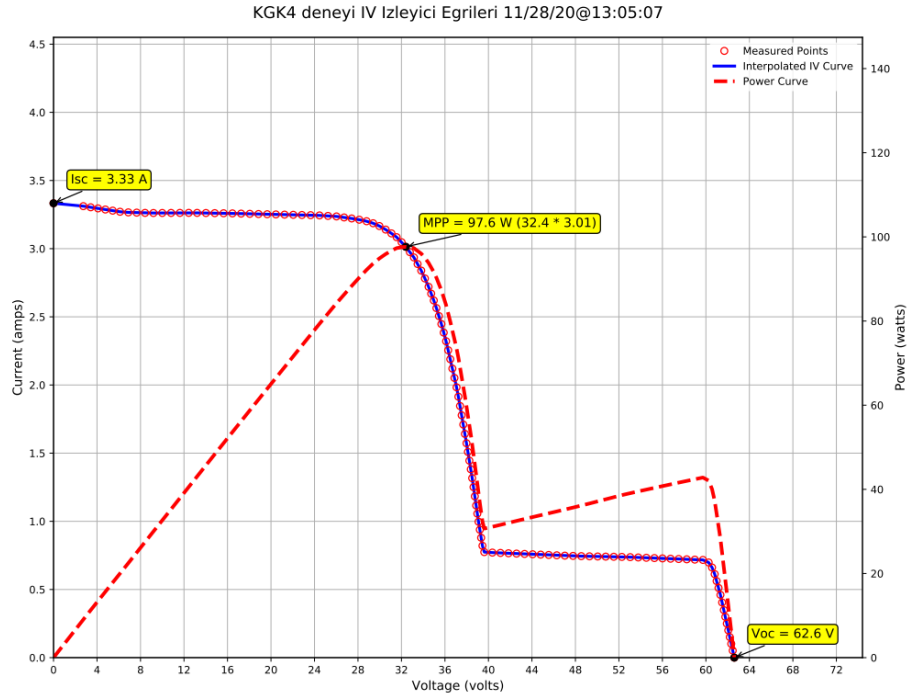


Şekil 5.18. TİK altında yapılan deneyin osiloskop ekran görüntüsü.

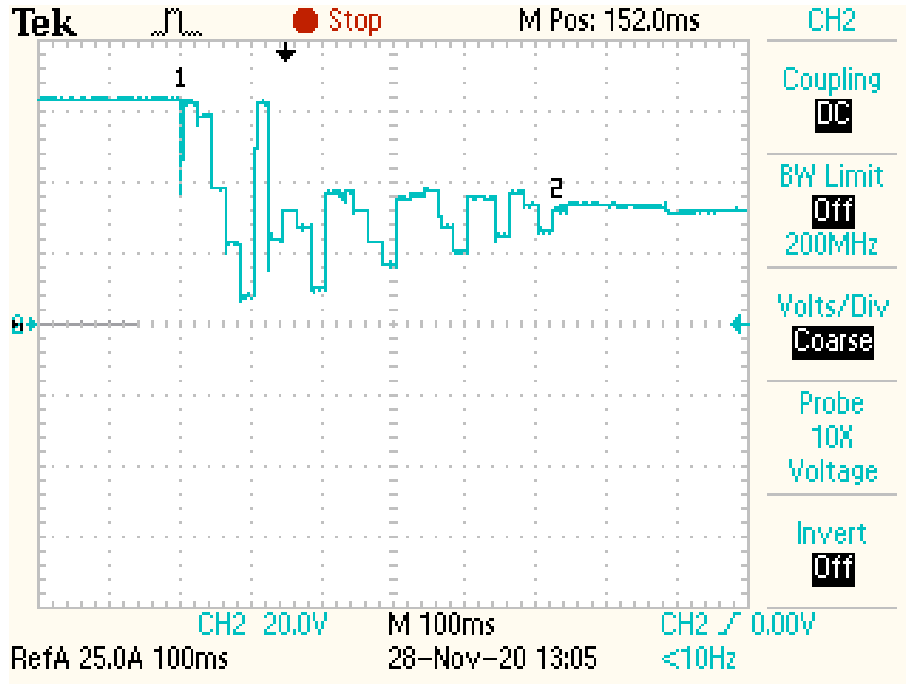
Şekil 5.19’da gösterilen, sadece bir FV modülün A4 boyutunda alanının gölgelendiği, KGK4 altında saat 13:05’de yapılan deneyde, genel MGN’nin 97,6 W, MGN geriliminin 32,4 V ve MGN akımının 3,01 A olduğu IV İzleyici ile belirlenmiştir (Şekil 5.20). Şekil 5.21’de, deney sırasında ölçülen FV gerilimin osiloskop ekran görüntüsü gösterilmiştir. Yasaklı YA yinleme süreci sonunda en iyi çözüm olarak 26,4 V çalışma gerilimini tespit etmiştir. AI algoritması bu çözümü geliştirerek 0,536 s anında genel MGN gerilimine daha yakın, 33,6 V çalışma gerilimine yakınsamıştır.



Şekil 5.19. KGK4 deneyi gölgelenme düzeni.



Şekil 5.20. KGK4 deneyi IV İzleyici I-V ve P-V eğrileri.



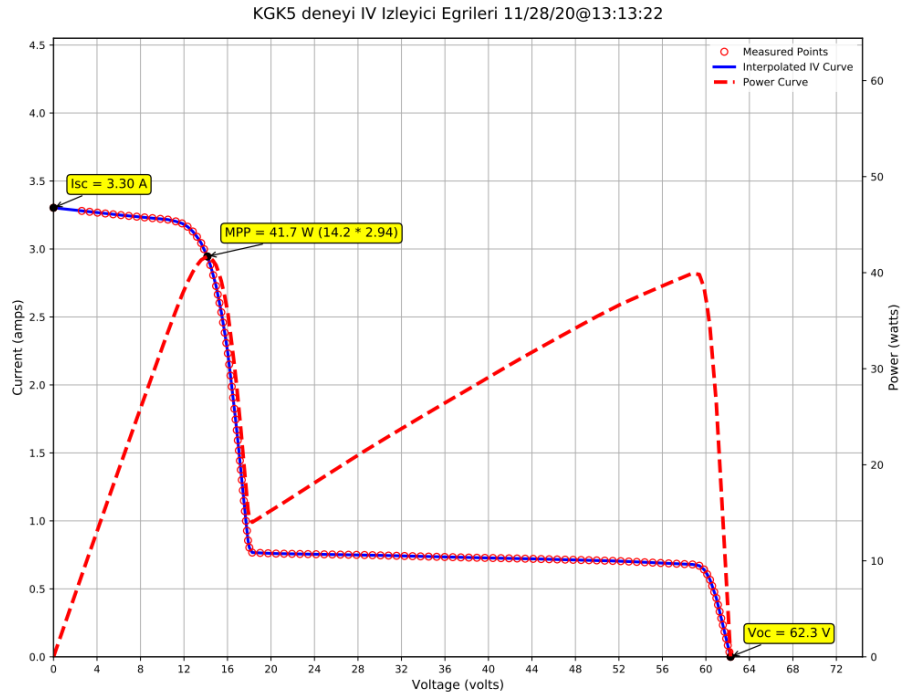
Şekil 5.21. KGK4 altında yapılan deneyin osiloskop ekran görüntüsü.

Şekil 5.22’de gösterilen, iki FV modülün A4 boyutunda alanının gölgelendiği, KGK5 altında saat 13:13’de yapılan deneyde, genel MGN’nin 41,7 W, MGN geriliminin 14,2 V ve MGN akımının 2,94 A olduğu IV İzleyici ile belirlenmiştir (Şekil 5.23). Şekil

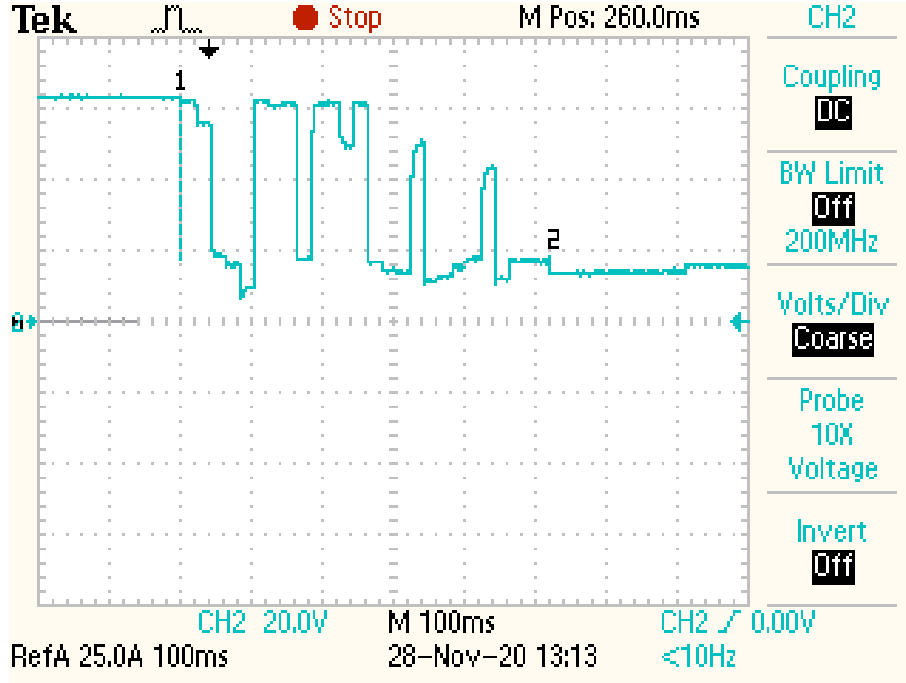
5.24'de, deney sırasında ölçülen FV gerilimin osiloskop ekran görüntüsü gösterilmiştir. Yasaklı YA yinleme süreci sonunda en iyi çözüm olarak 16,8 V çalışma gerilimini tespit etmiştir. AI algoritması bu çözümü geliştirerek 0,528 s anında genel MGN gerilimine daha yakın, 13,6 V çalışma gerilimine yakınsamıştır.



Şekil 5.22. KGK5 deneyi gölgelenme düzeni.

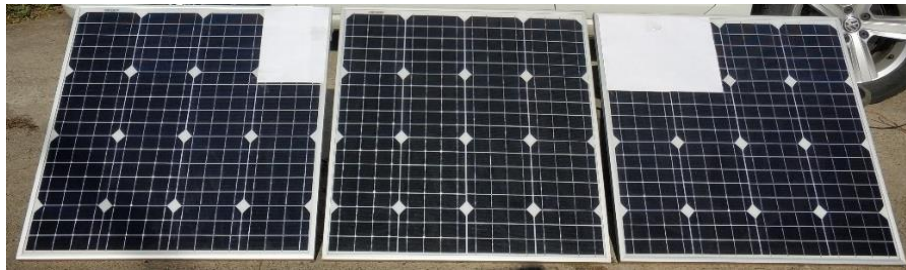


Şekil 5.23. KGK5 deneyi IV İzleyici I-V ve P-V eğrileri.

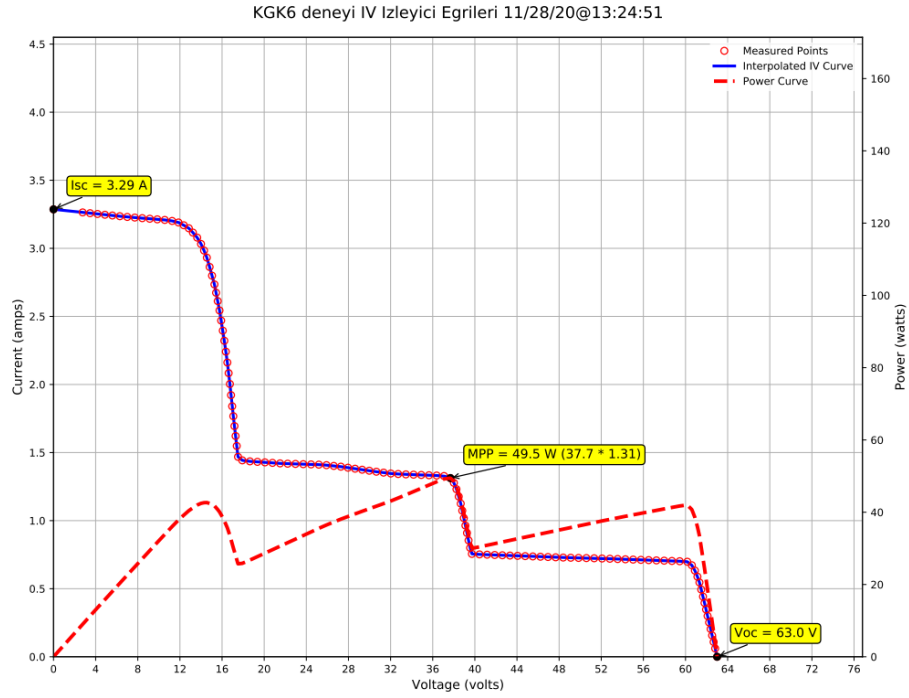


Şekil 5.24. KGK5 altında yapılan deneyin osiloskop ekran görüntüsü.

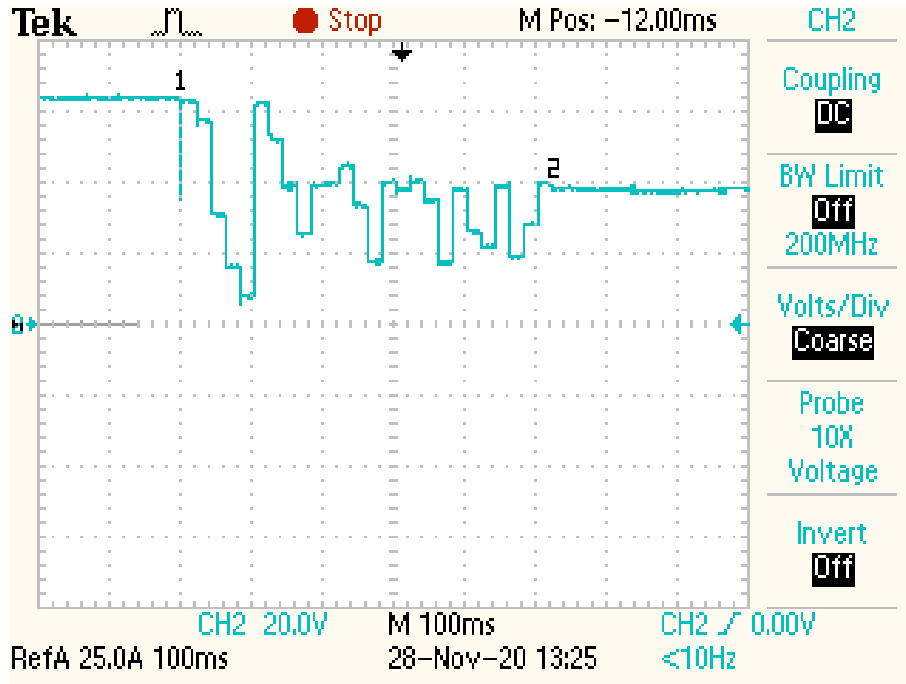
Şekil 5.25’de gösterilen, bir FV modülün A4, başka bir FV modülün yaklaşık A5 boyutunda alanının gölgelendiği, KGK6 altında saat 13:25’de yapılan deneyde, genel MGN’nin 49,5 W, MGN geriliminin 37,7 V ve MGN akımının 1,31 A olduğu IV İzleyici ile belirlenmiştir (Şekil 5.26). Şekil 5.27’de, deney sırasında ölçülen FV gerilimin osiloskop ekran görüntüsü gösterilmiştir. Yasaklı YA yineleme süreci sonunda en iyi çözüm olarak 40 V çalışma gerilimini tespit etmiştir. Aİ algoritması bu çözümü geliştirerek 0,532 s anında genel MGN gerilimine daha yakın, 38 V çalışma gerilimine yakınsamıştır.



Şekil 5.25. KGK6 deneyi gölgelenme düzeni.



Şekil 5.26. KGK6 deneyi IV İzleyici I-V ve P-V eğrileri.



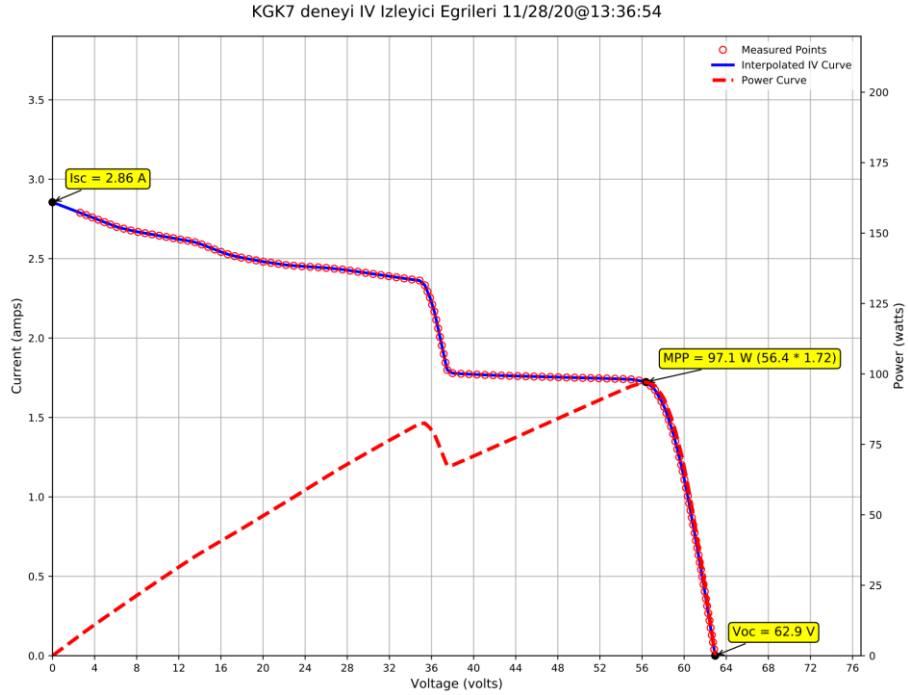
Şekil 5.27. KGK6 altında yapılan deneyin osiloskop ekran görüntüsü.

Şekil 5.28’da gösterilen, sadece bir FV modülün yaklaşık A5 boyutunda alanının gölgelendiği, KGK7 altında saat 13:36’de yapılan deneyde, genel MGN’nin 97,1 W, MGN geriliminin 56,4 V ve MGN akımının 1,72 A olduğu IV İzleyici ile belirlenmiştir

(Şekil 5.29). Şekil 5.30’de, deney sırasında ölçülen FV gerilimin osiloskop ekran görüntüsü gösterilmiştir. Yasaklı YA yineleme süreci sonunda en iyi çözüm olarak 59,2 V çalışma gerilimini tespit etmiştir. AI algoritması bu çözümü geliştirerek 0,528 s anında genel MGN gerilimine daha yakın, 57,2 V çalışma gerilimine yakınsamıştır.



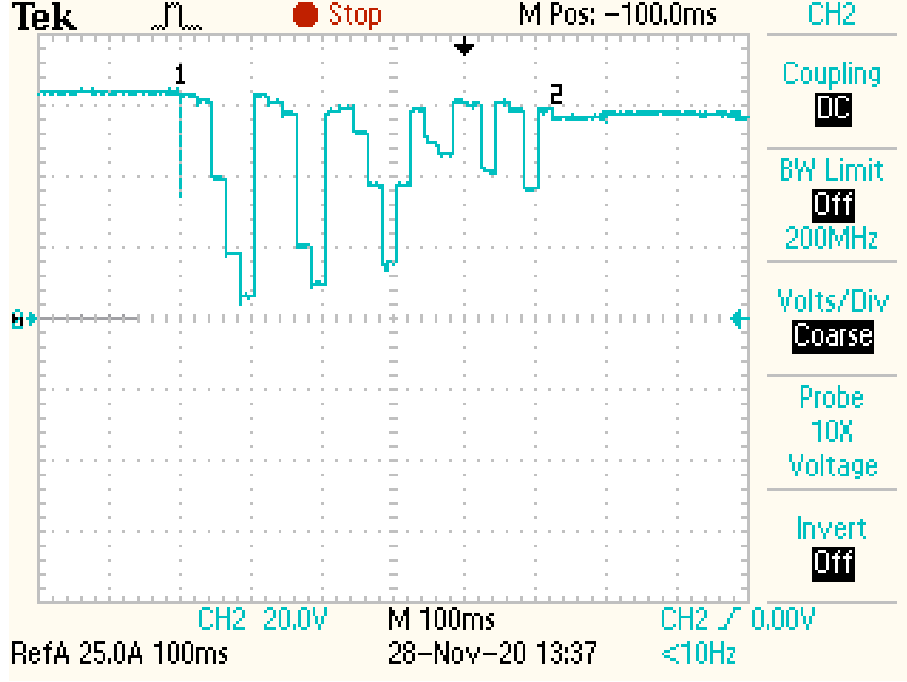
Şekil 5.28. KGK7 deneyi gölgelenme düzeni.



Şekil 5.29. KGK7 deneyi IV İzleyici I-V ve P-V eğrileri.

Şekil 5.31’da gösterilen, iki FV modülün yaklaşık A5 boyutunda alanının gölgelendiği, KGK8 altında saat 13:46’da yapılan deneyde, genel MGN’nin 89,3 W, MGN geriliminin 54,9 V ve MGN akımının 1,63 A olduğu IV İzleyici ile belirlenmiştir (Şekil 5.32). Şekil 5.33’de, deney sırasında ölçülen FV gerilimin osiloskop ekran görüntüsü gösterilmiştir. Yasaklı YA yineleme süreci sonunda en iyi çözüm olarak 56

V çalışma gerilimini tespit etmiştir. AI algoritması bu çözümü geliştirerek 0,528 s anında genel MGN gerilimine daha yakın, 54,4 V çalışma gerilimine yakınsamıştır.

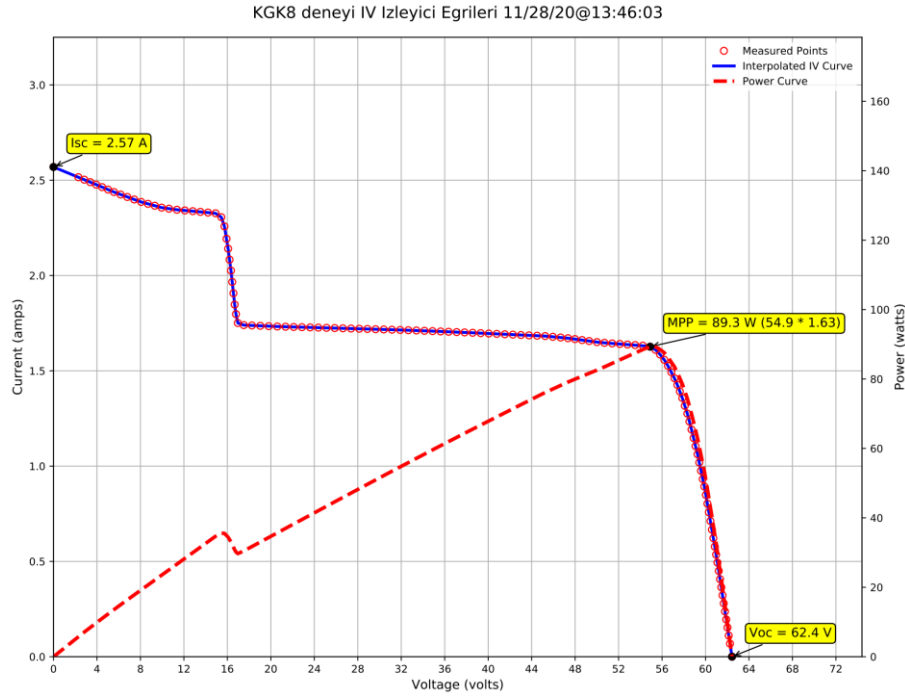


Şekil 5.30. KGK7 altında yapılan deneyin osiloskop ekran görüntüsü.

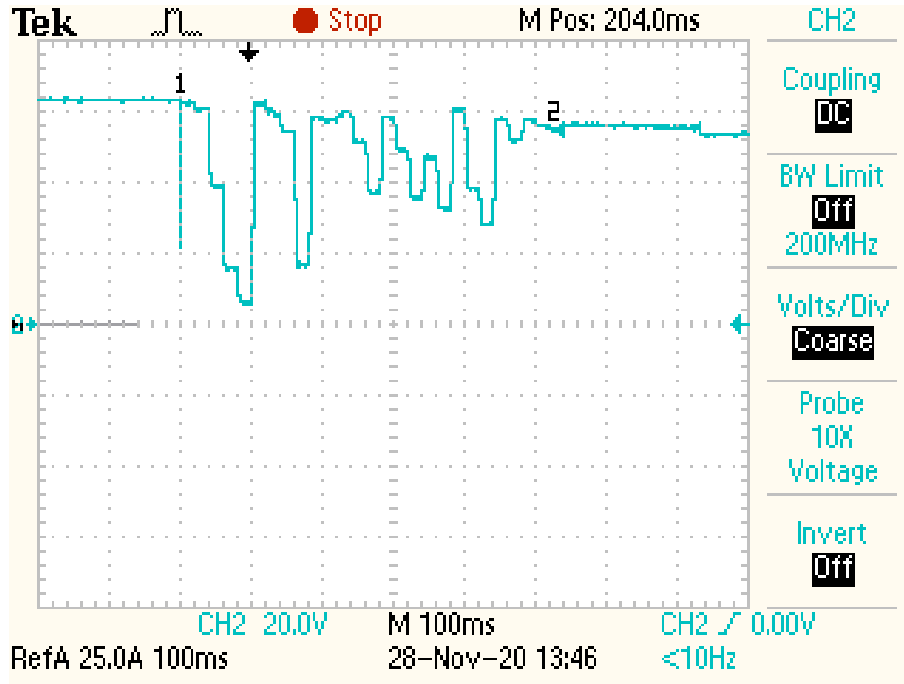


Şekil 5.31. KGK8 deneyi gölgelenme düzeni.

Yasaklı YA, benzetim çalışmalarında genel MGN'ye daha çok yakınsarken, deneysel çalışmalarda nispeten daha az yakınsamıştır. Bunun nedeni, benzetim çalışmalarında yarasa çözümlerinin % 1 hassasiyetle belirlenmesi, ancak deneysel çalışmalarda bunun yapılamamış olmasıdır. Dolayısıyla benzetim çalışmalarında birbirinden daha farklı yarasa çözümleri üretilirken deneysel çalışmalarda birbirine çok yakın çözümler üretilmiştir. Bu da genel MGN'ye yakınsama oranında etkili olmuştur.



Şekil 5.32. KGK8 deneyi IV İzleyici I-V ve P-V eğrileri.



Şekil 5.33. KGK8 altında yapılan deneyin osiloskop ekran görüntüsü.

MGNİ yöntemi tasarım aşamasında bu durum öngörülmüş ve yakınsama süresine öncelik verilerek Yasaklı YA'nın genel MGN tepesini tespit etmesinin yeterli olacağı, sonrasında devreye giren AI algoritmasının genel MGN tepesindeki gerçek MGN'yi

hızla bulacağı düşünülmüştür. Ayrıca genel taramayı başka bir algoritma yapacağından AI algoritması sarsma adımı oldukça düşük tutulabilmiştir.

5.3. BENZETİM VE DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Benzetim koşulları, özellikleri ve Yasaklı YA ile AI tabanlı önerilen karma MGNİ yöntemi benzetim sonuçları Çizelge 5.1’de, yakınsanan MGN gücü, yakınsama süresi ve statik verimlilik başlıkları altında derlenmiştir. Yapılan benzetimlerde önerilen karma MGNİ yönteminin 0,52 ile 0,534 saniye arası bir yakınsama süresi ve % 99,28 ile % 99,98 arasında bir statik verimlilik sunduğu görülmüştür.

Çizelge 5.1. Önerilen karma MGNİ yöntemi benzetim sonuçları.

Benzetim Koşulları ve Özellikleri				Benzetim Sonuçları		
Koşul	Maksimum Güç Noktaları (W)			Yakınsanan P_{MGN} (W)	Yakınsama Süresi (s)	Statik Verimlilik (%)
	Genel	Yerel1	Yerel2			
STK	179,97	-	-	179,78	0,52	99,89
TİK1	150,85	-	-	150,55	0,522	99,80
TİK2	132,63	-	-	132,46	0,522	99,87
TİK3	92,83	-	-	92,77	0,524	99,93
KGK1	46,07	39,39	-	45,74	0,534	99,28
KGK2	92,02	77,22	54,76	91,78	0,522	99,73
KGK3	56,66	48,07	45,26	56,65	0,526	99,98

Karşılaştırma amacıyla aynı üç koşul altında yapılan, önerilen karma MGNİ yöntemi benzetim sonuçları ile S&G, AI ve standart YA tabanlı MGNİ yöntemlerinin benzetim sonuçları Çizelge 5.2’de, yakınsanan MGN gücü, yakınsama süresi ve statik verimlilik başlıkları altında derlenmiştir.

Çizelge 5.2. Önerilen karma MGNİ yönteminin diğer yöntemler ile karşılaştırılması.

MGNİ Yöntemi	Benzetim Koşulu	Benzetim Sonuçları		
		Yakınsanan P_{MGN} (W)	Yakınsama Süresi (s)	Statik Verimlilik (%)
S&G	KGK2	76,29	0,025	82,90
	KGK3	55,88	0,005	98,62
	STK	178,95	0,018	99,43
Aİ	KGK2	76,30	0,026	82,90
	KGK3	55,89	0,005	98,64
	STK	178,94	0,017	99,42
Standart YA	KGK2	84,06	0,507	91,34
	KGK3	56,09	0,507	98,99
	STK	179,78	0,507	99,89
Önerilen Yasaklı YA +Aİ	KGK2	91,78	0,522	99,73
	KGK3	56,65	0,526	99,98
	STK	179,78	0,52	99,89

KGK2 altında, S&G ve Aİ algoritmaları yerel MGN tuzağına takıldığı için standart YA ise düşük yineleme sayısı ve aynı/çok yakın çözümler üreterek yeterli yerel tarama yapamadığı için daha düşük güç noktalarına yakınsamışlardır. Önerilen karma MGNİ yönteminin; KGK2 altında, S&G ve Aİ algoritmalarından yaklaşık % 20, standart YA'dan yaklaşık % 9 daha fazla güç ürettiği; üç benzetim koşulu altında da statik verimlilik açısından daha kararlı olduğu ve diğer yöntemlere göre daha üstün olduğu görülmektedir.

S&G ve Aİ algoritmalarının iş çevrim oranı değiştirme adımı, önerilen karma MGNİ yöntemi içinde yer alan Aİ algoritmasındakine göre 10 kat daha büyük alınmıştır. Bu nedenle yakınsama süresi bakımında S&G ve Aİ algoritmalarının standart YA ve önerilen karma MGNİ yönteminden daha hızlı olduğu görülmektedir. Ancak iş çevrim oranı değiştirme adımının büyük olması kararlı halde daha fazla salınım neden olmaktadır. Standart YA ve önerilen karma MGNİ yönteminin yineleme sayıları aynı seçildiğinden yakınsama süreleri yakındır. Önerilen karma MGNİ yönteminde ikincil

olarak AI algoritması çalıştığı ve daha duyarlı MGN izlediği için yakınsama süresi biraz daha artmıştır. Statik verimlilik açısından daha kararlı sonuçlar almak için standart YA yineleme sayısı artırılabilir. Ancak bu durumda yakınsama süresi yaklaşık 0,9 saniyeye çıkmaktadır.

Deney koşulları, özellikleri ve Yasaklı YA ile AI tabanlı önerilen karma MGNİ yöntemi deney sonuçları Çizelge 5.3’de, yakınsanan MGN gerilimi ve yakınsama süresi başlıkları altında derlenmiştir. Deneysel çalışmalarda anlık FV güç verisi elde edilemediği için statik verimlilik açısından bir değerlendirme yapılamamıştır.

Çizelge 5.3. Önerilen karma MNGİ yöntemi deney sonuçları.

Deney Koşulları ve Özellikleri			Deney Sonuçları	
Koşul	P_{MGN} (W)	V_{MGN} (V)	Yakınsanan V_{MGN} (V)	Yakınsama Süresi (s)
TİK	152,8	50,6	50,4	0,532
KGK4	97,6	32,4	33,6	0,536
KGK5	41,7	14,2	13,6	0,528
KGK6	49,5	37,7	38	0,532
KGK7	97,1	56,4	57,2	0,528
KGK8	89,3	54,9	54,4	0,528

Önerilen karma MGNİ yöntemi benzetim ve deney sonuçları yakınsama süresi bakımından birbirini desteklemektedir. Deney sonuçları, önerilen karma MGNİ yönteminin deney koşulunun MGN gerilimi çevresinde bir çalışma noktasına yakınsadığını göstermektedir. Dolayısıyla deney koşulunun MGN gücüne yakın bir güç üretildiği çıkarımı yapılabilir.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Bu çalışmada, mevcut MGNİ yöntemlerine seçenek oluşturacak, yeni ve başarımlı yüksek, kısmi gölge koşullarını yönetebilen bir MGNİ yöntemi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Böylece, geleneksel MGNİ algoritmalarının ve esnek hesaplama yöntemlerinin üstünlüklerine sahip, Yarasa algoritması tabanlı karma MGNİ yöntemleri geliştirilmiştir. Tez kapsamında yapılan ve sonuçları yayımlanan çalışmalar, Yarasa algoritmasının doğrudan MGNİ amacıyla kullanıldığı ilk çalışmalardır. Dolayısıyla yapılan çalışmalar ile literatüre, Yarasa algoritmasının nasıl MGNİ amacıyla kullanılabilceği ve ne düzeyde başarımlı sunduğu gibi katkılar yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda, Yarasa algoritması geliştirilerek oluşturulan Yasaklı Yarasa algoritması ve Artımlı İletkenlik algoritmasının dönüşümlü kullanıldığı karma MGNİ yöntemi önerilmiştir.

Önerilen karma MGNİ yönteminin, toplam 180 W'lık FV dizi ile 10 Ω 'luk dirençli yük için MATLAB/Simulink ortamında hazırlanan FV sistem modeli üzerinde benzetimi, TMS320F28379D mikrodenetleyicisi ve yapılan DA-DA dönüştürücü ile kurulan FV deney düzeneği üzerinde deneysel çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Önerilen karma MGNİ yönteminin benzetim sonuçları, aynı FV sistem modeli üzerinde ayrı ayrı yapılan S&G algoritması, Aİ algoritması ve standart YA tabanlı MGNİ yöntemleri benzetim sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan benzetim çalışmaları sonucunda önerilen karma MGNİ yöntemi;

- Kısmi gölge koşullarında genel MGN'yi, Yasaklı Yarasa algoritması ve Aİ algoritması ile en fazla 0,534 saniyede, en düşük % 99,28 statik verimlilik ile tespit etmiştir.

- Tekdüze iklimsel koşullarda küçük değişimler durumunda AI algoritması ile 22 ms içinde yeni MGN'yi izlemiştir.
- Bazı kısmi gölge koşullarında S&G algoritması ve AI algoritmasından % 20, standart Yarasa algoritmasından % 9 daha yüksek statik verimlilik sağlamıştır.
- Kısmi gölge koşullarında genel MGN'ye yakınsama süresi bakımından S&G algoritması, AI algoritması ve standart Yarasa algoritmasının gerisinde kalmıştır. Ancak literatürdeki benzer karma MGNİ yöntemleri ile benzer ya da daha yüksek hızlar sunmaktadır.
- 10 Ω ve 50 Ω 'luk yük dirençleri için aynı başarıyı göstermiştir.

Deneysel çalışmaların laboratuvar ortamında yapılamaması nedeniyle benzetimler ile aynı test koşulları altında yapılamamıştır. Deneysel çalışmalarda, önerilen karma MGNİ yönteminin 0,536 saniyede genel MGN tepesine yakınsadığı gözlemlenmiştir. Farklı test koşulları altında yapılmaları ve deneysel çalışmalarda anlık FV güç değerinin ölçülememesi nedeniyle benzetim ve deneysel çalışmaların karşılaştırılması mümkün olmasa da deneysel çalışmaların benzetim çalışmalarını desteklediği söylenebilir. Yapılan çalışmalar sonucunda, önerilen karma MGNİ yönteminin statik verimlilik ve kararlılık açısından karşılaştırılan diğer yöntemlerden üstün olduğu ve yeterli yakınsama hızı sunduğu görülmüştür.

Önerilen karma MGNİ yöntemine sahip MGNİ denetleyici yük parametrelerine bağımlıdır. Benzetim ve deneysel çalışmalar sadece sabit direnil yük için yapılmıştır. Öngörülen yük direnci çok değişirse veya yük tipi değişirse MGNİ denetleyici genel MGN'ye yeterince yakınsayamayabilir. Gelecek çalışmalarda, önerilen karma MGNİ yöntemi dinamik yük gibi farklı yük çeşitleri altında test edilebilir. Ayrıca yük parametreleri ek algılayıcılar ile tespit edilip DA-DA dönüştürücü çalışma modu ve yarasa başlangıç çözümleri ayarlanarak yük değişimlerine uyum sağlanabilir. Hatta önerilen MGNİ denetleyicisi, makine öğrenmesi ile desteklenerek birçok MGNİ yöntemi parametresinin en uygun değeri farklı koşullar için özişler olarak ayarlanabilir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Güneş”, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes> (2020).
2. İnternet: Wikipedia, “Solar power by country”, https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power_by_country (2020).
3. ESRAM, T. and Chapman, P. L., “Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques”, *IEEE Transactions on energy conversion*, 22 (2): 439-449 (2007).
4. Waszynezuk, O., “Dynamic behavior of a class of photovoltaic power systems”, *IEEE transactions on power apparatus and systems*, (9): 3031-3037 (1983).
5. Femia, N., Petrone, G., Spagnuolo, G. and Vitelli, M., “Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method”, *IEEE transactions on power electronics*, 20 (4): 963-973 (2005).
6. Ahmed, R., Namaane, A. and M'Sirdi, N. K., “Improvement in perturb and observe method using state flow approach”, *Energy Procedia*, 42: 614-623 (2013).
7. Hussein, K. H., Muta, I., Hoshino, T. and Osakada, M., “Maximum photovoltaic power tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions”, *IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution*, 142 (1): 59-64 (1995).
8. Liu, F., Duan, S., Liu, F., Liu, B. and Kang, Y., “A variable step size INC MPPT method for PV systems”, *IEEE Transactions on industrial electronics*, 55 (7): 2622-2628 (2008).
9. Safari, A. and Mekhilef, S., “Simulation and hardware implementation of incremental conductance MPPT with direct control method using cuk converter”, *IEEE transactions on industrial electronics*, 58 (4): 1154-1161 (2010).
10. Schoeman, J. J. and Van Wyk, J. D., “A simplified maximal power controller for terrestrial photovoltaic panel arrays”, *IEEE Power Electronics Specialists conference*, Cambridge, 361-367 (1982).
11. Masoum, M. A., Dehbonei, H. and Fuchs, E. F., “Theoretical and experimental analyses of photovoltaic systems with voltage and current-based maximum power

- point tracking”, *IEEE Transactions on energy conversion*, 17 (4): 514-522 (2002).
12. Noguchi, T., Togashi, S. and Nakamoto, R., “Short-current-pulse based adaptive maximum-power-point tracking for photovoltaic power generation system”, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 121 (1): 78-83 (2001).
 13. Midya, P., Krein, P. T., Turnbull, R. J., Reppa, R. and Kimball, J., “Dynamic maximum power point tracker for photovoltaic applications”, *27th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference*, Baveno, 2: 1710-1716 (1996).
 14. ESRAM, T., Kimball, J. W., Krein, P. T., Chapman, P. L. and Midya, P., “Dynamic maximum power point tracking of photovoltaic arrays using ripple correlation control”, *IEEE Transactions on power electronics*, 21 (5): 1282-1291 (2006).
 15. Belhachat, F. and Larbes, C., “A review of global maximum power point tracking techniques of photovoltaic system under partial shading conditions”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92: 513-553 (2018).
 16. Won, C. Y., Kim, D. H., Kim, S. C., Kim, W. S. and Kim, H. S., “A new maximum power point tracker of photovoltaic arrays using fuzzy controller”, *In Proceedings of 1994 Power Electronics Specialist Conference-PESC'94*, Taipei, 1: 396-403 (1994).
 17. Wu, T. F., Chang, C. H. and Chen, Y. H., “A fuzzy-logic-controlled single-stage converter for PV-powered lighting system applications”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 47 (2): 287-296 (2000).
 18. Hiyama, T., Kouzuma, S. and Imakubo, T., “Identification of optimal operating point of PV modules using neural network for real time maximum power tracking control”, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 10 (2): 360-367 (1995).
 19. Ro, K. and Rahman, S., “Two-loop controller for maximizing performance of a grid-connected photovoltaic-fuel cell hybrid power plant”, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 13 (3): 276-281 (1998).
 20. Chowdhury, S. R. and Saha, H., “Maximum power point tracking of partially shaded solar photovoltaic arrays”, *Solar energy materials and solar cells*, 94 (9): 1441-1447 (2010).
 21. Miyatake, M., Veerachary, M., Toriumi, F., Fujii, N. and Ko, H., “Maximum power point tracking of multiple photovoltaic arrays: A PSO approach”, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 47 (1): 367-380 (2011).
 22. Jiang, L. L., Maskell, D. L. and Patra, J. C., “A novel ant colony optimization-based maximum power point tracking for photovoltaic systems under partially shaded conditions”, *Energy and Buildings*, 58: 227-236 (2013).

23. Ahmed, J. and Salam, Z., "A Maximum Power Point Tracking (MPPT) for PV system using Cuckoo Search with partial shading capability", *Applied Energy*, 119: 118-130 (2014).
24. Mohanty, S., Subudhi, B. and Ray, P. K., "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 (2015).
25. Syafaruddin, Karatepe, E. and Hiyama, T., "Artificial neural network-polar coordinated fuzzy controller based maximum power point tracking control under partially shaded conditions", *IET Renewable Power Generation*, 3 (2): 239-253 (2009).
26. Manickam, C., Raman, G. R., Raman, G. P., Ganesan, S. I. and Nagamani, C., "A hybrid algorithm for tracking of GMPP based on P&O and PSO with reduced power oscillation in string inverters", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 63 (10): 6097-6106 (2016).
27. Karagöz, M. K. and Demirel, H., "A Novel MPPT Method for PV Arrays Based on Modified Bat Algorithm with Partial Shading Capability", *International Journal of Computer Science and Network Security*, 17 (2): 61-66 (2017).
28. Kulaksız, A. A. and Akkaya, R., "A genetic algorithm optimized ANN-based MPPT algorithm for a stand-alone PV system with induction motor drive", *Solar Energy*, 86 (9): 2366-2375 (2012).
29. Sera, D., Kerekes, T., Teodorescu, R. and Blaabjerg, F., "Improved MPPT algorithms for rapidly changing environmental conditions", *12th International Power Electronics and Motion Control Conference*, Bucharest, 1614-1619 (2006)
30. Ishaque, K. and 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*, 19: 475-488 (2013).
31. Kamarzaman, N. A. and Tan, C. W., "A comprehensive review of maximum power point tracking algorithms for photovoltaic systems", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37: 585-598 (2014).
32. Kandemir, E., Borekci, S. and Cetin, N. S., "Conventional and Soft-Computing Based MPPT Methods Comparisons in Direct and Indirect Modes for Single Stage PV Systems", *Elektronika ir Elektrotechnika*, 24 (4): 45-52 (2018).
33. Shi, J., Zhang, W., Zhang, Y., Xue, F. and Yang, T., "MPPT for PV systems based on a dormant PSO algorithm", *Electric Power Systems Research*, 123: 100-107 (2015).

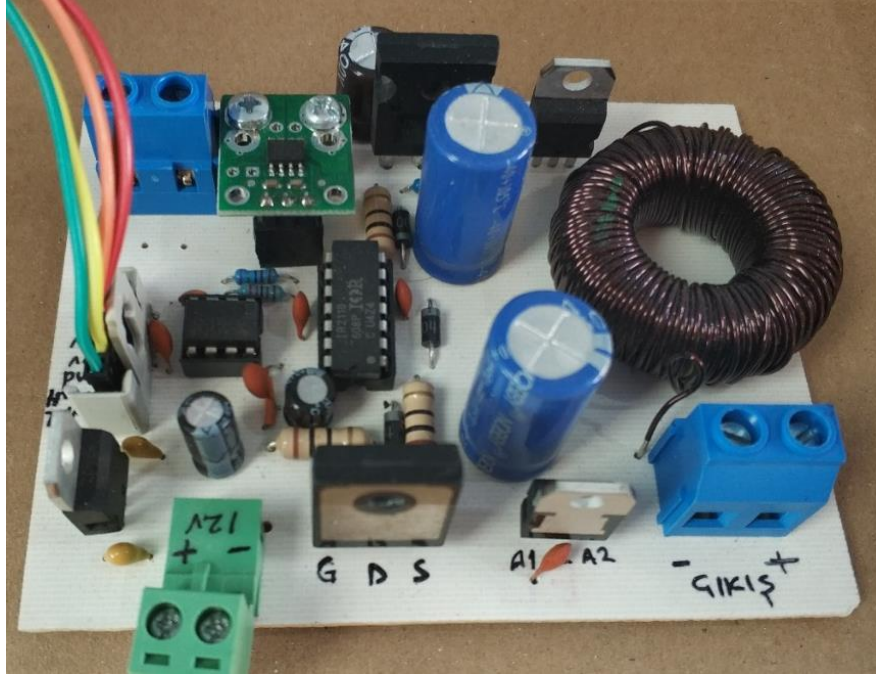
34. Oshaba, A. S., Ali, E.S. and Abd Elazim, S.M., “MPPT control design of PV system supplied SRM using BAT search algorithm”, *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 2: 51-60 (2015).
35. Kaced, K., Larbes, C., Ramzan, N., Bounabi, M. and elabadine Dahmane, Z., “Bat algorithm based maximum power point tracking for photovoltaic system under partial shading conditions”, *Solar Energy*, 158: 490-503 (2017).
36. Eltamaly, A.M., Al-Saud, M.S. and Abokhalil, A.G., “A novel bat algorithm strategy for maximum power point tracker of photovoltaic energy systems under dynamic partial shading”, *IEEE Access*, 8: 10048-10060 (2020).
37. Pilakkat, D., Kanthalakshmi, S. and Navaneethan, S., “A Comprehensive Review of Swarm Optimization Algorithms for MPPT Control of PV Systems under Partially Shaded Conditions”, *ELECTRONICS*, 24 (1): 3-14 (2020).
38. Liu, Y. H., Huang, S. C., Huang, J. W. and Liang, W. C., “A particle swarm optimization-based maximum power point tracking algorithm for PV systems operating under partially shaded conditions”, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 27 (4): 1027-1035 (2012).
39. Ishaque, K., Salam, Z., Shamsudin, A. and Amjad, M., “A direct control based maximum power point tracking method for photovoltaic system under partial shading conditions using particle swarm optimization algorithm”, *Applied Energy*, 99: 414-422 (2012).
40. Yang, X. S., “A new metaheuristic bat-inspired algorithm”, In Nature inspired cooperative strategies for optimization, *Springer*, Heidelberg, 65-74 (2010).
41. İnternet: C.B. Honsberg ve S.G. Bowden, Photovoltaics Education Website, “Solar Cell Structure”, <https://www.pveducation.org> (2019).
42. İnternet: METU Center for Solar Energy Research and Applications, “PV Cell Types”, <http://gunam.metu.edu.tr/solar-tech/pv-cell-types/> (2020).
43. İnternet: Florida Solar Energy Center, “Cells, Modules, & Arrays ”, http://www.fsec.ucf.edu/en/consumer/solar_electricity/basics/cells_modules_arrays.htm (2014).
44. Coelho, R. F. and Martins, D. C., “An Optimized Maximum Power Point Tracking Method Based on PV Surface Temperature Measurement”, Sustainable Energy - Recent Studies, *IntechOpen*, Rijeka, 89-114 (2012)
45. Bingöl, O. and Özkaya, B., “Analysis and comparison of different PV array configurations under partial shading conditions”, *Solar Energy*, 160: 336-343 (2018).

46. Belhachat, F. and Larbes, C., “Modeling, analysis and comparison of solar photovoltaic array configurations under partial shading conditions”, *Solar Energy*, 120: 399-418 (2015).
47. Ramaprabha, R. and Mathur, B. L., “A comprehensive review and analysis of solar photovoltaic array configurations under partial shaded conditions”, *International Journal of Photoenergy*, 2012, (2011).
48. Baharudin, N. H., Mansur, T. M. N. T., Hamid, F. A., Ali, R. and Misrun, M. I., “Topologies of DC-DC converter in solar PV applications”, *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 8 (2): 368-374 (2017).
49. Revathi, B. S. and Prabhakar, M., “Non isolated high gain DC-DC converter topologies for PV applications–A comprehensive review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 66: 920-933 (2016).
50. Başoğlu, M. E. and Çakır, B., “Comparisons of MPPT performances of isolated and non-isolated DC–DC converters by using a new approach”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60: 1100-1113 (2016).
51. K. Kobayashi, I. Takano and Y. Sawada, “A study on a two stage maximum power point tracking control of a photovoltaic system under partially shaded insolation conditions”, *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, Toronto, 4: 2612-2617 (2003).
52. Eltawil, M. A. and Zhao, Z., “MPPT techniques for photovoltaic applications”, *Renewable and sustainable energy reviews*, 25: 793-813 (2013).
53. Demirel, H., Karagöz, M. K. and B. Erkal, “MPPT for PV Arrays Based on Bat Algorithm with Partial Shading Capability”, *International Conference on Engineering And Natural Science*, Saraybosna, ch.10: 2622-2628 (2016).
54. Demirel, H., Karagöz, M. K. and Erkal, B., “A Novel MPPT Method for PV Arrays Based on Modified Bat Algorithm and Incremental Conductance Algorithm with Partial Shading Capability”, *First International Conference on Energy Systems Engineering*, Karabük, 71-76 (2017).
55. Walker, G., “Evaluating MPPT converter topologies using a MATLAB PV model”, *Journal of Electrical & Electronics Engineering*, 21 (1): 49-56 (2001).
56. İnternet: Texas Instruments, “Delfino TMS320F28379D controlCARD R1.3 (Rev. A)”, <https://www.ti.com/lit/pdf/sprui76> (2019).
57. İnternet: Texas Instruments, “TMS320F2837xD Dual-Core Microcontrollers datasheet (Rev. M)” <https://www.ti.com/lit/pdf/sprs880> (2020).
58. İnternet: Texas Instruments, “Code Composer Studio”, https://software-dl.ti.com/ccs/esd/documents/users_guide/index.html (2020).

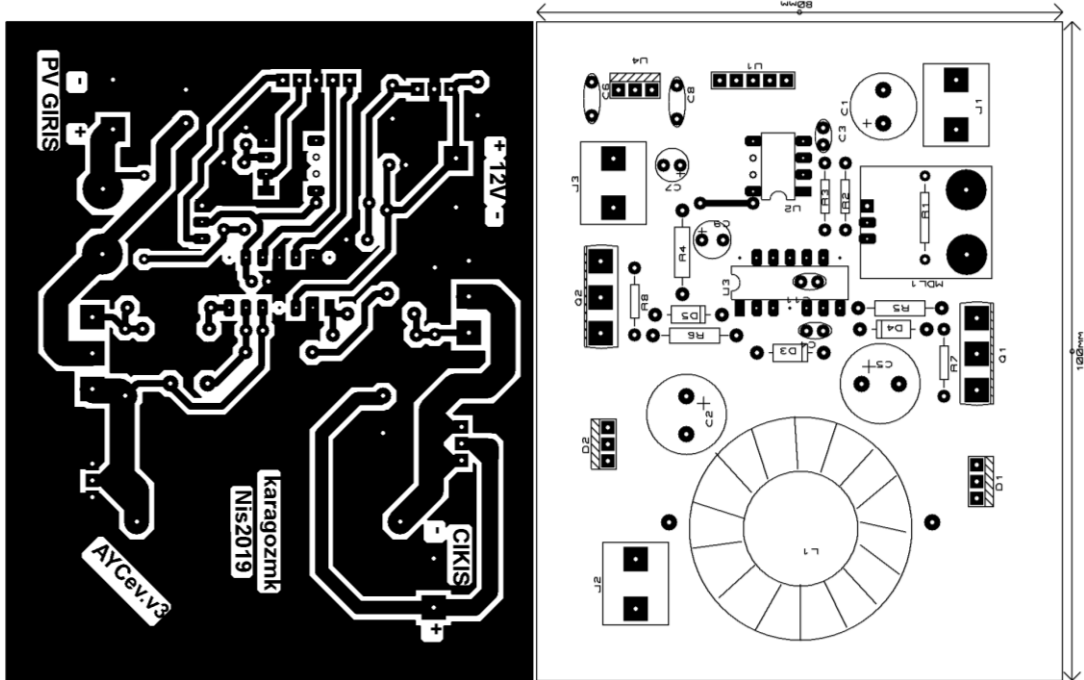
59. Internet: Texas Instruments, “TMS320F2837xD Dual-Core Delfino Microcontrollers Technical Reference Manual (Rev. H)”, <https://www.ti.com/lit/pdf/spruhm8> (2018).
60. Internet: Chris Satterlee, “IV Swinger”, https://github.com/csatt/IV_Swinger (2018).

EK AÇIKLAMALAR A.

DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜ VE BASKI DEVRESİ



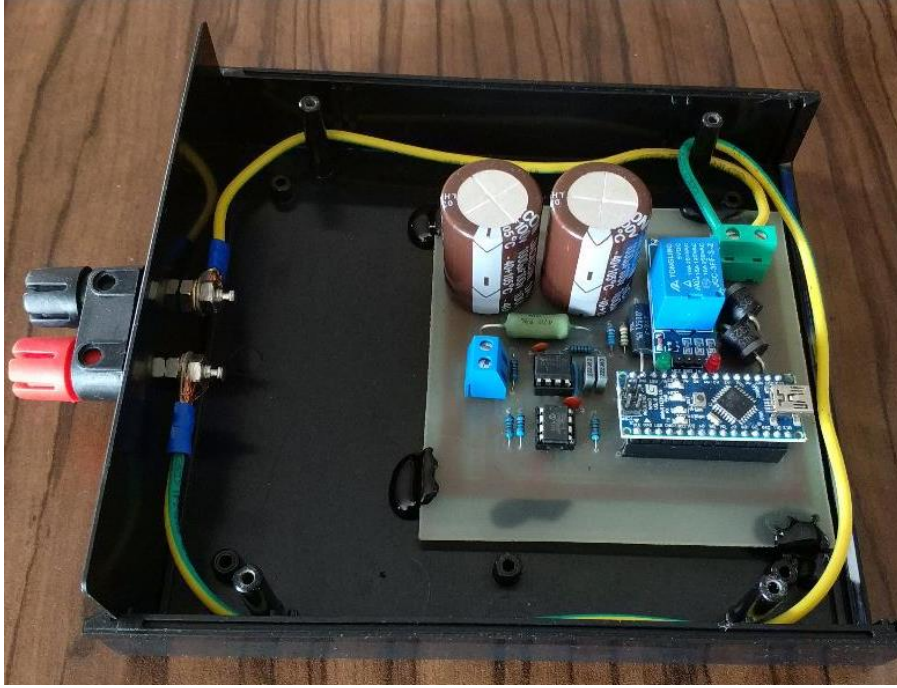
Şekil Ek A.1. DA-DA dönüştürücü devresi.



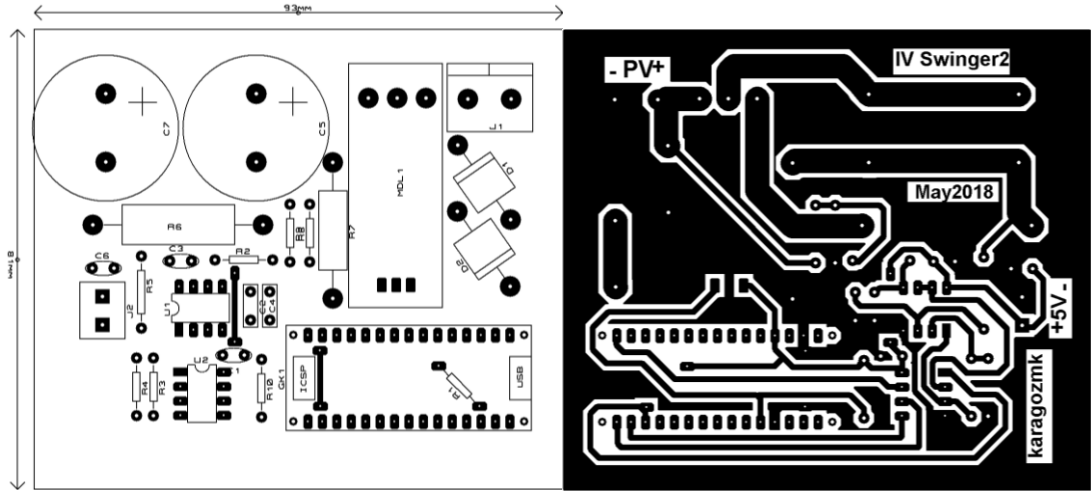
Şekil Ek A.2. DA-DA dönüştürücü baskı devre çizimi alt ve üst görünüşleri.

EK AÇIKLAMALAR B.

IV-İZLEYİCİ VE BASKI DEVRESİ



Şekil Ek B.1. IV-İzleyici devresi.



Şekil Ek B.2. IV-İzleyici baskı devre çizimi alt ve üst görünüşü.

ÖZGEÇMİŞ

Muammer Kadir KARAGÖZ 1981 yılında Muğla'da doğdu; ilk ve orta öğretimini aynı şehirde tamamladı. 1998 yılında Muğla Şehit Ziya İlhan Dağdaş Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi Elektronik Bölümü'nden okul ikincisi olarak mezun oldu. 2002 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü Elektronik Öğretmenliği Programı'ndan iyi bir derece ile mezun oldu. 2008 yılında Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı tezli yüksek lisans programını tamamladı. 2003 yılında Milli Eğitim Bakanlığında Elektronik Öğretmeni olarak göreve başladı. Kars, Ankara ve İstanbul'da çeşitli okullarda çalıştı. 2008 yılından bu yana Borusan Asım Kocabıyık Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesinde Elektronik Öğretmeni olarak görev yapmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Borusan Asım Kocabıyık Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi
Barbaros Hayrettin Paşa Mh. 1999. sok. No:10
34518 Esenyurt / İSTANBUL
Tel : (505) 567 56 78
E-posta : karagozmk@gmail.com