



T.C.

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**FOTOVOLTAİK SİSTEM İÇİN BULANIK MANTIK DESTEKLİ
ADAPTİF PID TABANLI MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİ
TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cansel İNCEBAY

Danışman: Doç. Dr. Mehmet Serhat CAN

TOKAT- 2025

ETİK SÖZLEŞME

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Doç. Dr. Mehmet Serhat CAN danışmanlığında hazırlamış olduğum “Fotovoltaik Sistem İçin Bulanık Mantık Destekli Adaptif PID Tabanlı Maksimum Güç Noktası İzleyici Tasarımı” adlı Yüksek Lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

29/04/2025

Cansel İNCEBAY



JÜRİ KABUL VE ONAY

Cansel İNCEBAY tarafından hazırlanan “Fotovoltaik Sistem İçin Bulanık Mantık Destekli Adaptif PID Tabanlı Maksimum Güç Noktası İzleyici Tasarımı” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 18/04/2025 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen Jüri tarafından Oy Birliği ile Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmzası

Üye (Başkan): Prof. Dr. Ömerülfaruk ÖZGÜVEN

Üye : Doç. Dr. Mehmet Serhat CAN

Üye : Doç. Dr. Cem EMEKSİZ

ONAY

...../...../.....

Doç. Dr. Ercan ÇAÇAN

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ÖZET
FOTOVOLTAİK SİSTEM İÇİN BULANIK MANTIK DESTEKLİ ADAPTİF PID
TABANLI MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİ TASARIMI

İNCEBAY, Cansel

Yüksek Lisans, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç Dr. Mehmet Serhat CAN

Ocak 2025, xi + 68 sayfa

Enerjiye olan talep küresel nüfus artışıyla birlikte her geçen gün artmaktadır. Enerji üretimi yapılırken çevre dostu ve sürdürülebilir olması da önemlidir. Çevre için en iyi alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi potansiyeli yüksek ve sürdürülebilir olması açısından genellikle en yaygın kullanılmaktadır. Güneş enerjisinden Fotovoltaik (PV) paneller aracılığıyla elektrik üretimi yapılmaktadır. PV panellerin ışınlam ve sıcaklık gibi çevresel faktörler sebebiyle maksimum güç verimi düşebilir. PV panellerle birlikte Maksimum Güç Noktası İzleyici (MGNI) kontrolör kullanılmaktadır. MGNI kontrolör çeşitli algoritmalarla kullanılarak maksimum güç noktasını bulmaktadır. PV panelden üretilen maksimum verimi bulabilmek için bu tez çalışmasında Adaptif Bulanık PID yöntemi önerilmiştir. PID (oransal, integral ve türevsel) kontrolör basit ve etkilidir ancak karmaşık sistemlerde tek başına yetersiz kalabilir. Bu karmaşık sistemlerde Bulanık Mantık denetleyici ile kullanılarak parametreleri doğru ve düzgün ayarlanabilir. Çalışma Matlab/Simulink ortamında matematiksel modeli oluşturularak simülasyon sonuçları elde edilmiştir. Bu simülasyon çalışmasında önerilen yöntem ile klasik PID, Değiştir & Gözle (D&G) ve Artan İletkenlik (AI) algoritmaları PV çıkış gücü, gerilimi ve görev döngüsü açısından karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik, Maksimum Güç Noktası İzleyici, PID, Bulanık Mantık, Değiştir&Gözle, Artan İletkenlik

ABSTRACT
**FUZZY LOGIC SUPPORTED ADAPTIVE PID BASED MAXIMUM POWER POINT
TRACKER DESIGN FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEM**

İNCEBAY, Cansel
Master's Thesis, Electrical-Electronic Engineering
Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet Serhat CAN
January 2025, xi + 68 pages

The demand for energy is increasing day by day with global population growth. It is also important that energy production is environmentally friendly and sustainable. The best alternative for the environment is the use of renewable energy sources. Among renewable energy sources, solar energy is generally the most widely used because of its high potential and sustainability. Electricity is produced from solar energy through Photovoltaic (PV) panels. The maximum power efficiency of PV panels may decrease due to environmental factors such as radiation and temperature. A Maximum Power Point Tracker (MPPT) controller is used with PV panels. The MPPT controller finds the maximum power point using various algorithms. In order to find the maximum efficiency to be produced from the PV panel, the Adaptive Fuzzy PID method was proposed in this thesis. The PID (proportional, integral and derivative) controller is simple and effective, but it may be insufficient alone in complex systems. In these complex systems, parameters can be adjusted accurately and smoothly by using Fuzzy Logic controller. The simulation results were obtained by creating a mathematical model in the Matlab/Simulink environment. In this simulation study, the proposed method was compared with the classical PID, Perturb & Observe (D&G) and Incremental Conductance (IR) algorithms in terms of PV output power, voltage and duty cycle.

Keywords: Photovoltaic, Maximum Power Point Tracker, PID, Fuzzy Logic, Perturb&Observe, Incremental Conductance

TEŞEKKÜR

Tez sürecim boyunca bilgi birikimi, değerli görüşleri ve yönlendirmeleriyle rehberlik eden danışmanım Doç. Dr. Mehmet Serhat CAN'a en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Kendisinin desteği ve sabrı, bu çalışmanın ortaya çıkmasında büyük rol oynamıştır. Tez savunmam sırasında yapıcı yorumları ve katkılarıyla çalışmamı zenginleştiren değerli jüri üyeleri Doç. Dr. Cem EMEKSİZ ve Prof. Dr. Ömerülfaruk ÖZGÜVEN hocalarıma teşekkür ederim. Her zaman yanımda olan, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili annem Havva TEKİN ve babam Gürsel TEKİN'e, ayrıca bu süreçte bana olan inancı ve sevgisiyle en büyük destekçim olan eşim Ahmet İNCEBAY'a kalpten teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK SÖZLEŞME	i
JÜRİ KABUL VE ONAY	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar LİSTESİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
SİMGE VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETİ	4
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	7
3.1. PV Hücrelerin Yapısı ve Çalışma Prensipleri	7
3.2. PV Dizinin Güç-Gerilim ve Akım-Gerilim Karakteristik Eğrileri	8
3.3.Maksimum Güç Noktası İzleyici Tekniği (MGNI)	10
3.3.1.Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) Tekniği	12
3.3.2. DA-DA Yükselten Dönüştürücü	13
3.4.MGNI Algoritma Uygulamaları	15
3.4.1.Değiştir & Gözle Algoritması (D&G)	16
3.4.2.Artan İletkenlik (AI) Algoritması	17
3.4.3.Bulanık Mantık Denetleyici (BMD).....	18
3.4.4. Adaptif Bulanık PID Denetleyici	19
4. BENZETİM ÇALIŞMALARI	26
4.1 Benzetim Çalışması 1	28
4.2 Benzetim Çalışması 2	36
4.3 Benzetim Çalışması 3	43
4.4 Benzetim Çalışması 4	50
4.5 Benzetim Çalışması 5	58
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	64
6. KAYNAKÇA	65
7.ÖZGEÇMİŞ	68

TABLÖLAR LİSTESİ

<u>Tablo No</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 3. 1. SunPower SPR-305E-WHT-D model panele ait modül verileri	10
Tablo 3. 2. SunPower SPR-305E-WHT-D model panele ait model parametreleri.....	10
Tablo 3. 3. Örnek bir BMD kural tablosu	19
Tablo 3. 4. C_d 'yi ayarlamak için kural tabanı	22
Tablo 3. 5. C_p 'yi ayarlamak için kural tabanı	23
Tablo 4. 1. Yükselten Dönüştürücü devre parametreleri.....	27
Tablo 4. 2 Benzetim Çalışması 1'den elde edilen sonuçlar tablosu	32
Tablo 4. 3 Benzetim Çalışması 2'den elde edilen sonuçlar tablosu.....	39



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil No	Sayfa
Şekil 1. 1. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli	2
Şekil 1. 2. Türkiye kurulu gücünün yıllar itibariyle gelişim grafiği.....	2
Şekil 3. 1. PV hücre, panel, dizi oluşumları.....	7
Şekil 3. 2. PV hücrenin eşdeğer devresi	8
Şekil 3. 3. SunPower SPR-305E-WHT-D model panelin sıcaklığa bağlı I-V ve P-V karakteristik eğrileri	9
Şekil 3. 4. SunPower SPR-305E-WHT-D model panelin ışınlıma bağlı I-V ve P-V karakteristik eğrileri	10
Şekil 3. 5. MGNİ tekniği ile maksimum güç noktası izleme temel blok şeması	11
Şekil 3. 6. PV panelin MGN'sinin grafiği.....	12
Şekil 3. 7. PWM sinyalleri	13
Şekil 3. 8. DA-DA yükselten dönüştürücü devre şeması	14
Şekil 3. 9. Yarıiletken anahtarın kesim durumu.....	14
Şekil 3. 10. D&G algoritması.....	16
Şekil 3. 11. Artan iletkenlik algoritması	18
Şekil 3. 12. BMD temel yapısı	19
Şekil 3. 13. Adaptif Bulanık PID denetleyici şeması.....	20
Şekil 3. 14. CP ve CD'nin hata üyelik fonksiyonları (E).....	23
Şekil 3. 15. CP ve CD'nin hata değişimi üyelik fonksiyonları (ED)	24
Şekil 3. 16. CP ve CD çıkış fonksiyonu	24
Şekil 3. 17. a) ve b) CD için oluşturulan kuralların yüzey görünümü	25
Şekil 3. 18. a) ve b) CP için oluşturulan kuralların yüzey görünümü	25
Şekil 4. 1. Şebekeye bağlı genel PV dizi Matlab/Simulink modeli.....	27
Şekil 4. 2. Önerilen Adaptif Bulanık PID bloğunun iç yapısı.....	28
Şekil 4. 3. PV dizinin güç-gerilim grafiği	29
Şekil 4. 4. PV dizisi sabit 25°C sıcaklık ve 1000 W/m ² , 500 W/m ² , 250 W/m ² ışınlım grafiği	29
Şekil 4. 5. Benzetim Çalışması 1'in PV panel çıkış gücü grafiği	31
Şekil 4. 6. Benzetim Çalışması 1'in PV gerilim grafiği.....	34
Şekil 4. 7. Benzetim Çalışması 1'in Görev döngüsü grafiği	36

Şekil 4. 8. PV dizisi güç-gerilim grafiği.....	36
Şekil 4. 9. 1000 W/m ² sabit ışınlım altında 55°C, 35°C, 25°C ve 0°C değişken sıcaklık grafiğidir. Bu grafiğe göre deneyde elde edilmesi gereken sonuçlar değerlendirilmiştir.	37
Şekil 4. 10. Benzetim Çalışması 2'nin PV panel çıkış gücü	39
Şekil 4. 11. Benzetim Çalışması 2'nin PV gerilim grafiği.....	41
Şekil 4. 12. Benzetim Çalışması 2'nin Görev döngüsü grafiği	43
Şekil 4. 13. Benzetim Çalışması 3'ün farklı ışınlım ve sıcaklık grafikleri	44
Şekil 4. 14. Benzetim Çalışması 3'ün PV panel çıkış gücü	46
Şekil 4. 15. Benzetim Çalışması 3'ün PV gerilim grafiği	48
Şekil 4. 16. Benzetim Çalışması 3'ün Görev döngüsü.....	50
Şekil 4. 17. Benzetim Çalışması 4'ün farklı ışınlım ve sıcaklık grafiği.....	51
Şekil 4. 18. Benzetim Çalışması 4'ün PV çıkış gücü.....	53
Şekil 4. 19. Benzetim Çalışması 4'ün PV gerilim grafiği	55
Şekil 4. 20. Benzetim Çalışması 4'ün Görev döngüsü grafiği	57
Şekil 4. 21. Benzetim Çalışması 5'in sıcaklık ve ışınlımın ani değişim grafiği.....	58
Şekil 4. 22. Benzetim Çalışması 5'in PV çıkış gücü.....	60
Şekil 4. 23. Benzetim Çalışması 5'in gerilim grafikleri.....	62
Şekil 4. 24. Benzetim Çalışması 5'in görev döngüsü grafikleri.....	63

SİMGE VE KISALTMALAR

Simge Açıklama

V_{oc}	: Açık devre gerilimi
k	: Boltzman sabiti
$y(t)$	: Çıkış sinyali
q	: Elektron yükü
GW	: Gigawatt
$e(t)$	: Hata sinyali
n	: İdeallik faktörü
K_i	: İntegral kazancı
T_i	: İntegral zaman sabiti
I_{sc}	: Kısa devre akımı
kW	: Kilovat
$u(t)$	: Kontrol sinyali
MW	: Megawatt
K_p	: Oran kazancı
I_{pv}	: PV hücreden üretilen akım
R_s	: PV hücre iç direnci
$r(t)$	: Referans sinyali
R_{sh}	: Şönt direnci
I_0	: Ters doygunluk akımı
K_d	: Türev kazancı
T_d	: Türev zaman sabiti

<u>Kısaltma</u>	<u>Açıklama</u>
------------------------	------------------------

AC:	Alternatif Akım
-----	-----------------

AI:	Artan İletkenlik algoritması
-----	------------------------------

BMD:	Bulanık Mantık Denetleyici
------	----------------------------

PWM:	Darbe Genişlik Modülasyonu
------	----------------------------

D&G:	Değiştir & Gözle Algoritması
------	------------------------------

DA:	Doğru akım
-----	------------

PV:	Fotovoltaik
-----	-------------

T:	Frekans değeri
----	----------------

GA:	Genetik Algoritma
-----	-------------------

GKO:	Guguk Kuşu Optimizasyonu Algoritması
------	--------------------------------------

GES:	Güneş Enerji Santrali
------	-----------------------

HES:	Hidroelektrik santrali
------	------------------------

D:	İletim oranı
----	--------------

DT:	İletim süresi
-----	---------------

MGNİ:	Maksimum Güç Noktası İzleyici
-------	-------------------------------

MGN:	Maksimum Güç Noktası
------	----------------------

PID:	Oransal-İntegral-Türev Denetleyici
------	------------------------------------

PSO:	Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması
------	---

RES:	Rüzgar Enerji Santrali
------	------------------------

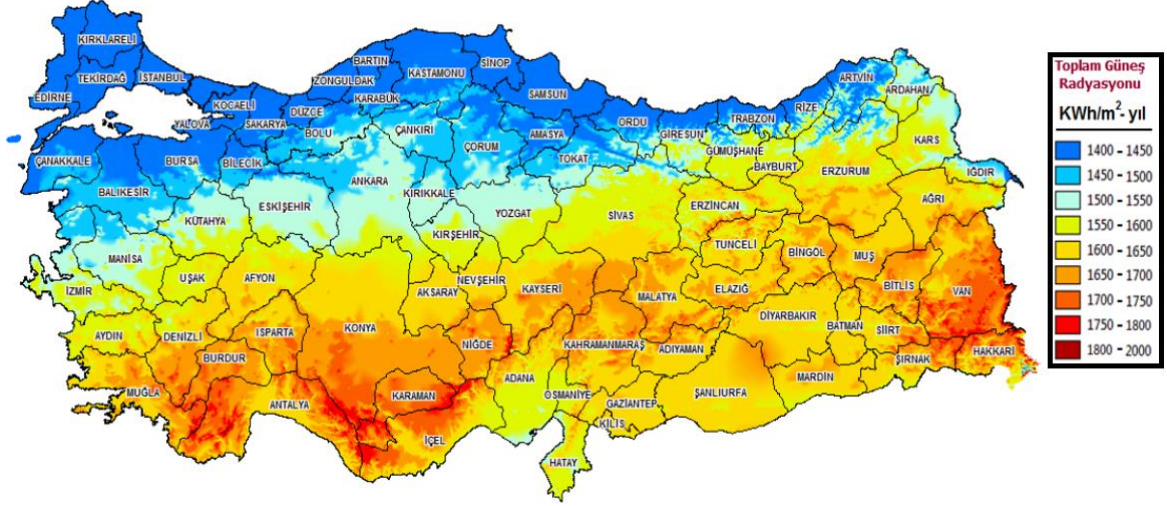
TEİAŞ:	Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
--------	------------------------------

ANFIS:	Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi
--------	--

YSA:	Yapay Sinir Ağı Algoritması
------	-----------------------------

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında gelişen teknoloji, artan konforlu yaşam koşulları ve küresel nüfus artışıyla birlikte enerjiye olan talep her geçen gün artmaktadır. Enerji elektrik veya ısı enerjisi olarak kullanılmaktadır. Enerjinin bir kısmı güneş enerji santrali (GES), rüzgar elektrik santrali (RES), hidroelektrik santrali (HES) ile elektrik üretimi veya fosil yakıtlar ile ısı enerji üretimi yapılarak kullanılmaktadır. Elektrik üretimi yapılırken doğaya zarar vermeden enerji üretimi yapılması büyük önem taşımaktadır. Çevre için en iyi alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaktadır. Dünya genelinde yenilenebilir enerji kaynakları diğer kaynaklara göre zararlı gazlara neden olmayıp çevre dostu olmasından dolayı daha fazla tercih edilmektedir. Dünyada kullanılabilecek yenilenebilir enerji kaynakları rüzgar, güneş, jeotermal, biyokütle, hidroelektrik, dalga, gel-git ve hidrojenden oluşmaktadır. Enerji kaynakları arasında potansiyeli yüksek olduğu için en yaygın kullanılan enerji kaynağı güneştir. Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci yani hidrojen gazının helyuma dönüşmesi olayı ile açığa çıkan ısıma enerjisidir. Güneş enerjisi sürdürülebilir olması ve maliyetleri düşürmesi açısından en çok tercih edilen enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi evlerin çatılarına kurularak doğrudan su ısıtılması ya da güneş panelleri aracılığıyla elektrik üretimi yapılarak kullanılabilmektedir. Ülkemizin her bir köşesine kolaylıkla ulaşabilmesi, temiz bir kaynak olması, karbon emisyonlarını azaltması, kimyasal atık oluşturmaması açısından elektrik üretiminde büyük bir avantaj sağlamaktadır. Dünya genelinde hızla büyüyerek teknolojik gelişmeler sayesinde daha verimli ve uygun maliyetli hale getirilmektedir. Dünyada 2023 yılında güneş panellerinden üretilen enerjinin kapasitesi 347 GW'a ulaşmıştır. Çin ülkeler arasında ilk sırada yer alarak kapasitenin 216.9 GW'ı oluşturmuştur (IRENA,2024). Türkiye coğrafi konumu gereği güneş enerjisi potansiyeli oldukça yüksek bir ülke olduğu için ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat ve ışıınım değeri $1.527,46 \text{ kW/m}^2$ olarak hesaplanmıştır (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022). Türkiye'nin 2024 Şubat ayında toplam kurulu gücü 107.370 MW'a ulaşırken, güneş kurulu gücü de 11.930 MW'a yükselmiştir (TEİAŞ, 2024 Şubat ayı raporu).



Şekil 1. 1. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024)



Şekil 1. 2. Türkiye kurulu gücünün yıllar itibariyle gelişim grafiği (TEİAŞ, 2023)

Güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirmek için güneş panellerinden yararlanılmaktadır. Fotovoltaik (PV) sistem güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmesi prensibine dayanmaktadır (Ulus, 2022). PV panellerden istenilen enerji miktarını sağlayabilmek için seri ve paralel olarak çok sayıda panelin bağlandığı sistemler oluşturulmaktadır. Bu sistemler sayesinde istenilen enerjiye ulaşılmaktadır. Enerji üretimi oluşabilecek birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Bunlar panel üzerine gelen bulutlanma, kar ve yağmur yağması gibi faktörlerdir. Ayrıca, güneş ışınım değeri, ışınım açısı ve ortam sıcaklığı gibi parametrelere bağlı

olarak maksimum güç değeri değişkenlik göstermektedir. Panel üzerine düşen ışınlam sıcaklık miktarının değişmesi farklı maksimum güç noktaları oluşturmakta bunu önlemek için Maksimum Güç Noktası İzleyici (MGNI) kullanılmaktadır. Her zaman en yüksek verimi almayı bir diğer ifade ile en yüksek güçte enerji kazanmak için MGNI'ye ihtiyaç vardır. MGNI elde edilen akım ve gerilim değerlerinin üzerinde çeşitli algoritmalar uygulayarak bu değerleri maksimum güç noktasına ulaştırılmasını sağlamaktadır. MGNI tekniği, güneş panelinin ışınlam ve sıcaklık gibi değişen faktörlere göre çıkış gücünü bir DC/DC dönüştürücü ve kontrolcü devre kullanarak maksimum noktada kullanılabilmesini sağlamaktadır (Sezer, 2022). Yükselten dönüştürücü en çok kullanılan DC/DC dönüştürücüdür. Üretilen enerji DC/DC çevirici sayesinde yüke aktarımı sağlanmaktadır. MGNI zaman tepkisi, değişen atmosfer koşullarında kararlılık, izleme hızı, küçük salınımlar gibi performansla sahip olması büyük avantaj sağlamaktadır. MGNI kontrol sistemi, PV modülünün sağladığı çıkış gücünü en üst düzeye çıkarmak için kullanılabilir (Djanka, 2024).

Enerji üretiminde gücün yüke aktarımında enerji kayıpları yaşanmaktadır. Enerji kayıplarını en aza indirmek için algoritmalar geliştirilerek çalışmalar yapılmıştır. Bu algoritmalar Değiştir & Gözle (D&G), Artırımlı Direnç, İletim Oranı Sabitleme, Parçacık Sürü Optimizasyonu, Bulanık Mantık gibi yöntemler olarak sıralanabilir. Bu tez çalışmasında enerji kayıplarını en az seviyeye indirmek sistemin güç çıkışını maksimize etmek için Bulanık Mantık destekli Adaptif (uyarlamalı) PID (Oransal-İntegral-Türev) tabanlı MGNI tasarımı önerilmiştir. PID, kontrol sistemlerinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir ve istenilen hedefe ulaşmak için gerekli ayarlamaları orantısal, integral ve türev bileşenleri üzerinden yaparak en geniş kapsamlı kontrol sağlamaktadır. PID gerçek-zaman uygulamalarında gösterdiği iyi performansından dolayı çoğunlukla tercih edilmektedir. PID kontrol tekniği kullanılırken parametreleri en uygun değere ayarlanması önemlidir ancak sistemin kararsızlaşması durumunda kararsız hale gelir (Åström ve Hägglund, 2001). Bu durumda bulanık mantık kullanılarak hata payını azaltmak önemli olmaktadır. Bulanık mantık sisteme girilen üyelik fonksiyonları ile PID parametreleri üzerinde değişiklik yaparak sistemi daha doğru şekilde ayarlar. Tez çalışması Matlab/Simulink ortamında modeli oluşturularak yürütülmüştür. Bu çalışmada güneş enerjisi üretimi için değişken çevre koşulları altında en verimli şekilde enerji elde etmek için güç elektroniği elemanları kullanılmaktadır. Sistem bir PV panel, bir DC-DC yükseltici dönüştürücü, bir maksimum güç noktası izleme denetleyicisinden oluşmaktadır. Önerilen çalışma güneş enerjisi üretimi sırasındaki sıcaklık ve ışınlam gibi değişimlere daha hızlı yanıt vererek sistemin verimliliğini artırmaktadır.

2. KAYNAK ÖZETİ

Bilim insanları tarafından artan enerji ihtiyacının karşılanmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar fosil yakıtların sınırlı olması ve sera gazı salınımının artmasına alternatif olarak çevre dostu kaynakların geliştirilmesi daha iyi verim alınması üzerine yapılan çalışmalardır. Bu başlık altında birçok akademisyen ve araştırmacının yapmış olduğu tez çalışması ve makale incelemeleri yapılmıştır.

Sedat B. (2016) tez çalışmasında yeni bir D&G algoritması tasarımı yaparak geleneksel D&G algoritmasını karşılaştırmıştır. Yeni tasarlanan D&G algoritmasının geleneksel D&G algoritmasına göre daha küçük adımlarda bile maksimum güç noktasını daha hızla bulmaktadır.

Gülsüm Nazlı A. (2019) çalışmasında D&G metodu, bulanık mantık metodu ve Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım metodu tabanlı MGNİ algoritmalarının karşılaştırmalarını yaparak en iyi algoritmayı belirlemiştir. Matlab/Simulink ortamında tasarlayarak karşılaştırmıştır. Önermiş olduğu yöntemin kısmi gölgelenme koşullarında verimliliğin ve izleme hızının daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Tolga K. (2019) tez çalışmasında MGNİ algoritmalarından D&G ve AI yöntemini eşit koşullarda ayrı ayrı çalıştırarak D&G yönteminde ortalama güç 12,96 W, AI yönteminde ortalama güç 12,53 W olarak elde etmiştir. Geliştirilen bu yöntemde iki algoritma beraber çalıştırılmıştır. Bu yöntemde ayrı ayrı elde edilen sonuçların ortalaması olan 12,84 W sonucunu elde etmiştir. Adaptif olan bir algoritmadan ise 12,33 W elde ederek önerdiği yöntem ile kıyaslamasını yapmıştır.

Halmat S. (2021), tezinin amacında farklı MGNİ algoritmalarını ısıtım ve sıcaklık değişimi altında derinlemesine analiz ederek test etmiştir. Başarılı MGN takibi için D&G, AI ve Tepe Tırmanma algoritmalarının kullanımını önermektedir. D&G algoritmasının diğer iki algoritmadan daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir.

Gümüş, Z., & Demirtaş, M. (2021) kısmi gölgelenme altında MGNİ'nin D&G, Parçacık Sürü Optimizasyon (PSO) ve Guguk Kuşu Optimizasyon (GKO) algoritmaları ile çalıştırılmasını kıyaslamışlardır. Karşılaştırmada PSO ve GKO algoritmasının MGN'ye ulaşmada daha başarılı olduğu, D&G algoritmasının maksimum noktada başarısız olduğunu gözlemlemiştir.

Yüksek güçte enerji üretimi yapılırken gücün taşınabilmesi için devre elemanlarının yüksek güce dayanıklı olması gerekir. Yüksek güçlerde çalışma artıran devrelerinin çektikleri akımda dalgalanmalara sebep olur bu da MGNİ algoritmasının yanlış çalışmasına neden olarak hatalı

MGN'de çalışarak dalgalanmalara sebep olur (Alper, 2021). Dalgalanmaları azaltmak için Alper Ç. (2021) tezinde iç içe geçmiş dönüştürücü önermiştir.

Semra T. (2021) Genetik Algoritma (GA) tabanlı MGNİ algoritması önermiştir. Ani atmosferik değişimlerde MGN'den uzaklaştığı durumda önermiş olduğu yöntem diğer yöntemlere göre yerel optimumlara takılma ihtimali daha düşüktür.

Sinan S. (2023), yaptığı doktora tezinde hızlandırılmış P&O MGNİ algoritması geliştirmiştir. Bu yöntem ani hava değişiminde maksimum güç noktasını hızlı yakalayan ve yüksek radyasyon değişiminde hızlı cevap veren bir yöntemdir. Çift katmanlı düşürücü tip DC-DC çevirici ve adaptif MGNİ kullanarak verimliliği artırmayı hedeflemiştir. MGN'yi değişken koşullarda bu yöntemle daha hızlı yakalamıştır.

Gözdenur A. (2023) PSO Tabanlı PID Denetleyici Tasarımı adlı çalışmasında problem çözümlerine daha hızlı cevap veren PSO algoritmasını PID tasarımında kullanarak çalışma yürütmüştür. Önerilen modelde bir problemin matematiksel modeli (Transfer Fonksiyonu (TF)) kullanılarak beklenen çıkış kontrol edilerek performanslarını analiz etmiştir (Aydın, 2023).

Ahmet F. M. (2023) yaptığı tez çalışmasında PV sistem için Bulanık Mantık ve P&O algoritmalarını kullanarak değişken ve sabit ortam koşulları için ayrı ayrı deneyerek kıyaslamasını yapmıştır. Çalışmasına güneş ışığındaki değişiklikler için testler uygulamıştır. Uyguladığı testte değişken ortam koşulu için bulanık mantık ile oluşturmuş olduğu MGNİ algoritması daha iyi performans gösterirken, sabit ortam şartlarında ise P&O algoritmasının daha etkili olduğunu ortaya koymuştur.

Zedan S. M. M. (2023) yaptığı tez çalışmasında PV panelin verimini en yüksek seviyede elde etmeyi amaçlayarak Yapay Sinir Ağı (YSA) çıkışını referans değer olarak kullanan PID denetleyici tabanlı bir MGNİ yöntemi önermektedir. Önermiş olduğu yöntemi geleneksel D&G ve AI algoritmaları ile benzetim çalışmaları yaparak kıyaslamıştır. Bunun sonucunda önerdiği yöntemin çıkış gücü, gerilimi ve görev döngüsü diğer yöntemlere göre daha iyi performans göstermiştir

Sümeyye B. (2024) önerdiği yöntemde maksimum güç noktasına erişimde model tabanlı hibrit MGNİ algoritması kullanılmış. Model tabanlı MGNİ ile D&G algoritmasının MGN'ye yakınsama süreleri, MGN çevresinde ortaya çıkan salınımların önerdiği yöntemde daha avantajlı olduğunu gözlemlemiştir

Mehmet Y. (2024) yaptığı tez çalışmasında kısmi gölgelenme koşulları altında çalışan PV sistemlerin verimliliğinin ve yakınsama süresinin iyileştirilmesi için yeni bir hibrit MGNİ

yönteminin geliştirilmesini ve uygulanmasını amaçlamıştır. Önermiş olduğu yöntemi D&G algoritması ve GKO algoritması ile karşılaştırmıştır. Gerçek zamanlı olarak deneysel uygulamasını yaparak önerdiği yöntemin daha kısa yakınsama süresinde ve yüksek verim elde ettiğini gözlemlemiştir.

Rania G. Mohamed ve ark. (2024) yaptıkları makalede kısmi gölgelenme koşulları altında PV panellerin performansını artırmaya yönelik MGNİ tasarımı önermişlerdir. Aİ ve Kesirli Açık Devre Gerilimi algoritmalarını kullanarak değişen gölgelerde MGNİ'nin daha hızlı yakınsaması amaçlanmıştır.

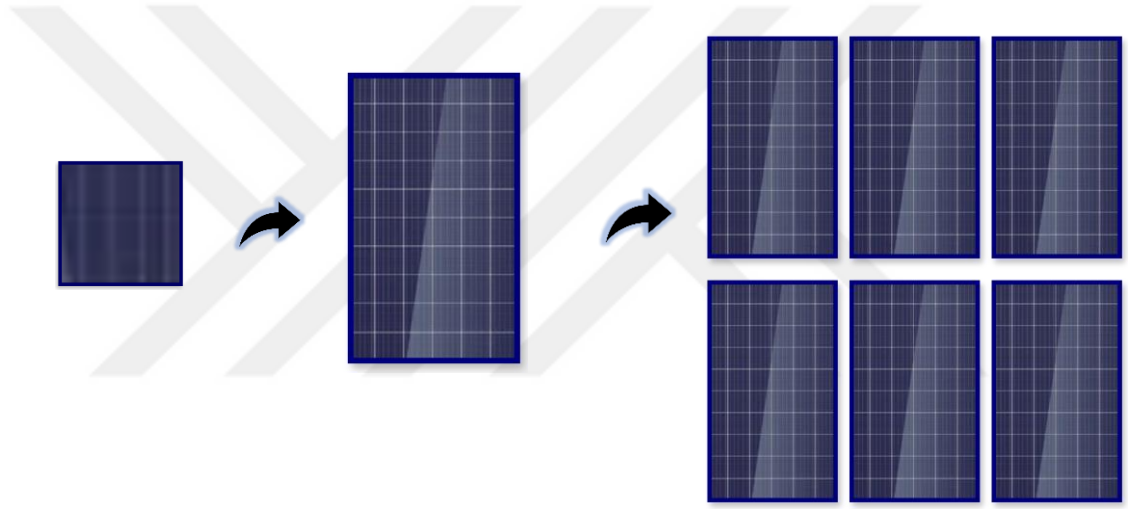
Naser, A. T ve ark (2024) yaptıkları makale çalışmasında MGNİ optimizasyon algoritmalarının ışıyım, sıcaklık ve yük değişimleri gibi durumlarda ayırım yapamayıp yüksek yakınsama hızları gibi dezavantajları olduğu için bu sorunları azaltmak adına MGNİ tabanlı iyileştirilmiş coot(????) optimizasyon algoritması önermişlerdir.

Abdirahim A. A (2024) yapmış olduğu tezinde kısmi gölgelenme gibi zor şartlar altında çalışan PV sistem performansını artırmak daha iyi verim alabilmek için Değiştirilmiş GKO geleneksel D&G algoritmasıyla birleştirerek bir MGNİ tasarımı önermiştir. Önermiş olduğu yöntemi D&G, değiştirilmiş D&G, GKO ve hibrit D&G-GKO gibi algoritmalarla karşılaştırıldığında değiştirilmiş GKO-D&G algoritmasının daha başarılı olduğunu gözlemlemiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

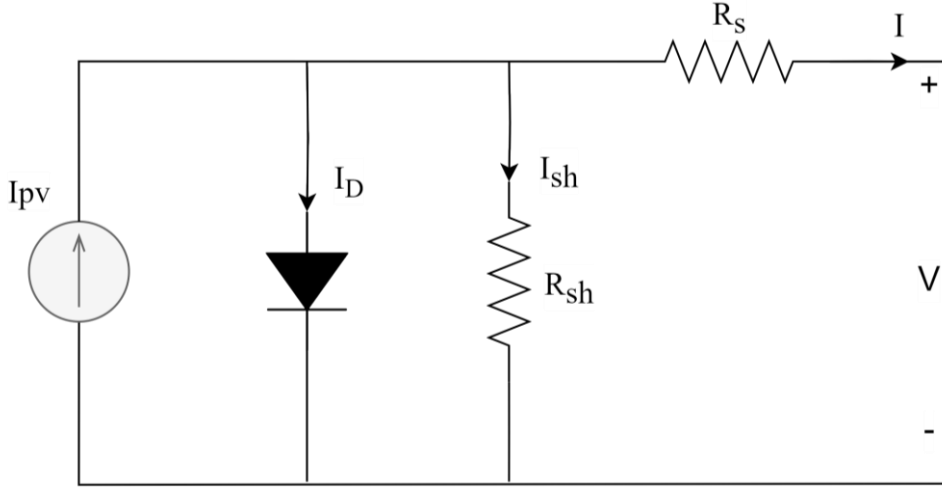
3.1. PV Hücrelerin Yapısı ve Çalışma Prensipleri

Becquerel ilk kez 1839 yılında güneş ışığının metal yüzeye çarpmasıyla elektrik akımı ürettiğini keşfetmiştir. Bu keşifle birlikte PV hücrenin temel prensiplerinin anlaşılmasını ve geliştirilmesini sağlamıştır. Fotovoltaik kavramı ışık anlamına gelen ‘photo’ ile voltaj anlamına gelen ‘voltaic’ kelimelerinden türetilmiştir. PV hücre yapıları genel olarak P ve N tipi yarı iletken malzemelerden oluşmaktadır. PV paneller üzerine düşen güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren yarı iletken elemanlardır. Bir PV hücrenin çıkış voltajı yaklaşık olarak 0.5 volt civarında olduğu için tek bir PV hücreden enerji üretmek yeterli değildir. Güç çıkışını artırmak için hücreler seri veya paralel bağlanarak PV panelleri, PV paneller birleşimiyle diziler oluşturulmaktadır. Şekil 3.1’de PV hücre, panel ve dizi oluşumları verilmiştir.



Şekil 3. 1. PV hücre, panel, dizi oluşumları

PV panellerden üretilen güç ışıma ve sıcaklığa bağlıdır. PV panellerden maksimum güneş ışımasını alabilmesi için doğru açı ile güneşe yönlendirilerek uygun bir şekilde yerleştirilmelidir. Güneş ışığı, PV hücrelere çarptığında, fotonlar yarı iletken malzemenin içinde bulunan elektronlar serbest kalarak elektrik akımı oluşturur ve enerji üretirler. PV panel doğru akım ve gerilim üretmektedir. Üretilen bu akım, alternatif akıma dönüştürülerek akülerde depolanır. Ardından bina gereksinimi için kullanılabileceği gibi, şehir şebekesine de aktarılmaktadır. Şekil 3.2’de gösterilen PV hücresinin eşdeğer devresi bir akım kaynağı, diyot, seri direnç ve paralel direnç içermektedir.



Şekil 3. 2. PV hücrenin eşdeğer devresi

PV panelin I-V karakteristiğini tanımlayan matematiksel genel denklemleri gösterilmiştir.

$$I_{pv} = I_{pv} - I_s \left[e^{\left(\frac{V + R_s * I_{pv}}{n * k * T_c} \right)} - 1 \right] - \left(\frac{V + R_s * I_{pv}}{R_{sh}} \right) \quad (3.1)$$

$$I = I_{pv} - I_0 \left(e^{\frac{q(V + I * R_s)}{nkT_c}} - 1 \right) \quad (3.2)$$

$$V = \frac{nqT_c}{q} L_n \left(\frac{I_{pv} + I_0 - 1}{I_0} \right) - I * R_s \quad (3.3)$$

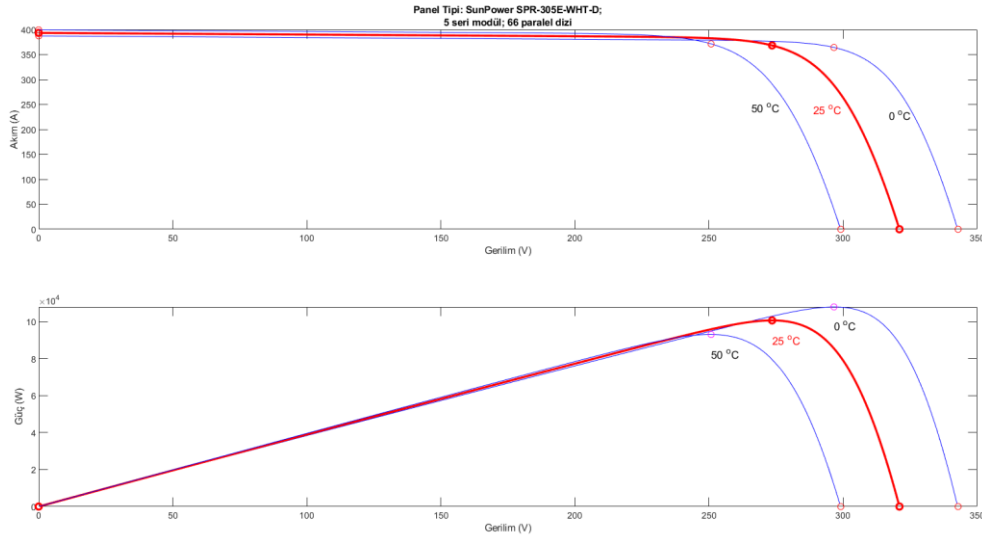
$$I_0 = I_s \left(e^{\frac{q(V_{pv} + I_{pv} R_s)}{nkT_c}} - 1 \right) \quad (3.4)$$

Burada PV hücre tarafından üretilen akımı I_{pv} , hücredeki iç direnci R_s , şönt direnci R_{sh} , n ideallik faktörü, Boltzman sabiti k, T Kelvin cinsinden çalışma sıcaklığı, q elektron yükü, I_0 ters doygunluk akımını ifade etmektedir.

3.2. PV Dizinin Güç-Gerilim ve Akım-Gerilim Karakteristik Eğrileri

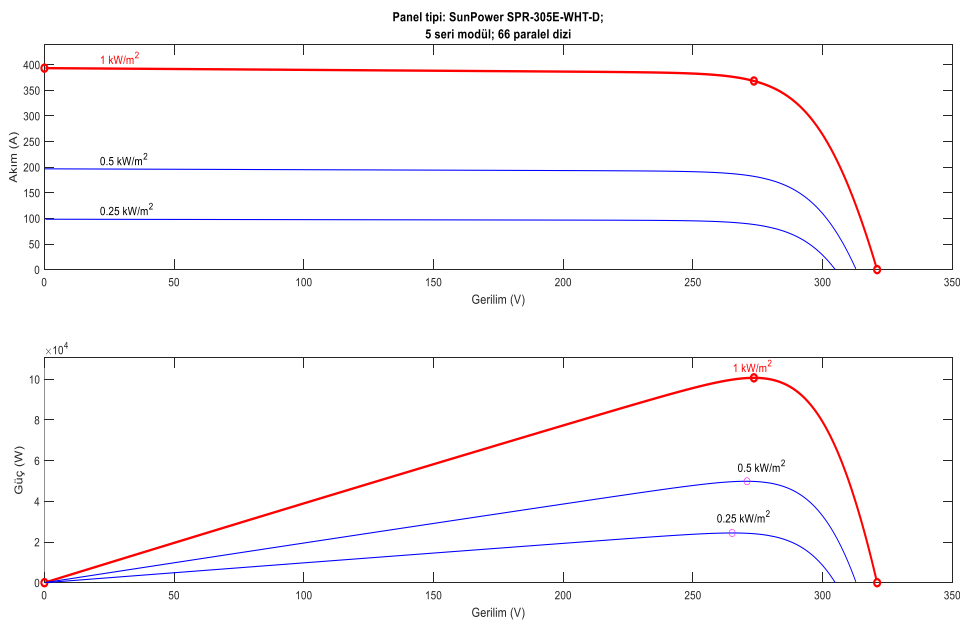
PV panelin elektriksel karakteristiği sıcaklık ve ışıyım etkisiyle belirlenmektedir. Güç- gerilim ve akım-gerilim karakteristik eğrileri panelin kalitesini ve performansını belirlemede önemli bir göstergedir. PV modülden elde edilen güç modül akımı ve geriliminin çarpımı şeklinde tanımlanmaktadır. Belirli bir akım ve gerilim değeri için sağlanan maksimum güç noktası 1000 W/m^2 ışıyım ve 25°C modül sıcaklığı standart test koşullarında belirlenmektedir (Gümüş, Z., & Demirtaş, M. 2021:855). Bu çalışmada kullanılan PV modül SunPower SPR-305E-WHT-D modelidir. PV modülün sabit 1000 W/m^2 ışıyım değerinde farklı sıcaklık altında (25°C , 45°C ,

50°C) akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristik eğrileri Şekil 3.3'te verilmiştir. Şekil 3.3'te görüldüğü gibi aynı gerilim değerinde sıcaklık arttıkça panelin çıkış gücü ve akımı azalmaya başlamaktadır. Buna göre panelin çıkış gücü ile sıcaklık ters orantılı olduğu görülmektedir.



Şekil 3. 3. SunPower SPR-305E-WHT-D model panelin sıcaklığa bağlı I-V ve P-V karakteristik eğrileri

Bu çalışmada kullanılan SunPower SPR-305E-WHT-D model PV modülün sabit 25°C sıcaklıkta farklı ışınım değerleri için (1000 W/m^2 , 500 W/m^2 , 250 W/m^2) akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristik eğrileri Şekil 3.4'te verilmiştir. Şekil 3.4'e göre aynı gerilim değerinde ışınım arttıkça panelin çıkış gücü ve akımı artmaktadır. Bu durumda panelin çıkış gücü ile ışınım doğru orantılı olmaktadır.



Şekil 3. 4. SunPower SPR-305E-WHT-D model panelin ışıma bağlı I-V ve P-V karakteristik eğrileri

Bu çalışmada kullanılan PV panelin parametreleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de gösterilmiştir.

Tablo 3. 1. SunPower SPR-305E-WHT-D model panele ait modül verileri

Maksimum Güç	305.226 W
Modül başına hücre sayısı N_{cell}	96
Açık devre voltajı V_{oc}	64.2 V
Kısa devre akımı I_{sc}	5.96 A
Maksimum güç noktasında voltaj V_{mp}	54.7 V
Maksimum güç noktasında akım I_{mp}	5.58 A
Sıcaklık katsayısı V_{oc} (%/°C)	-0.2727
Sıcaklık katsayısı I_{sc} (%/°C)	0.061745

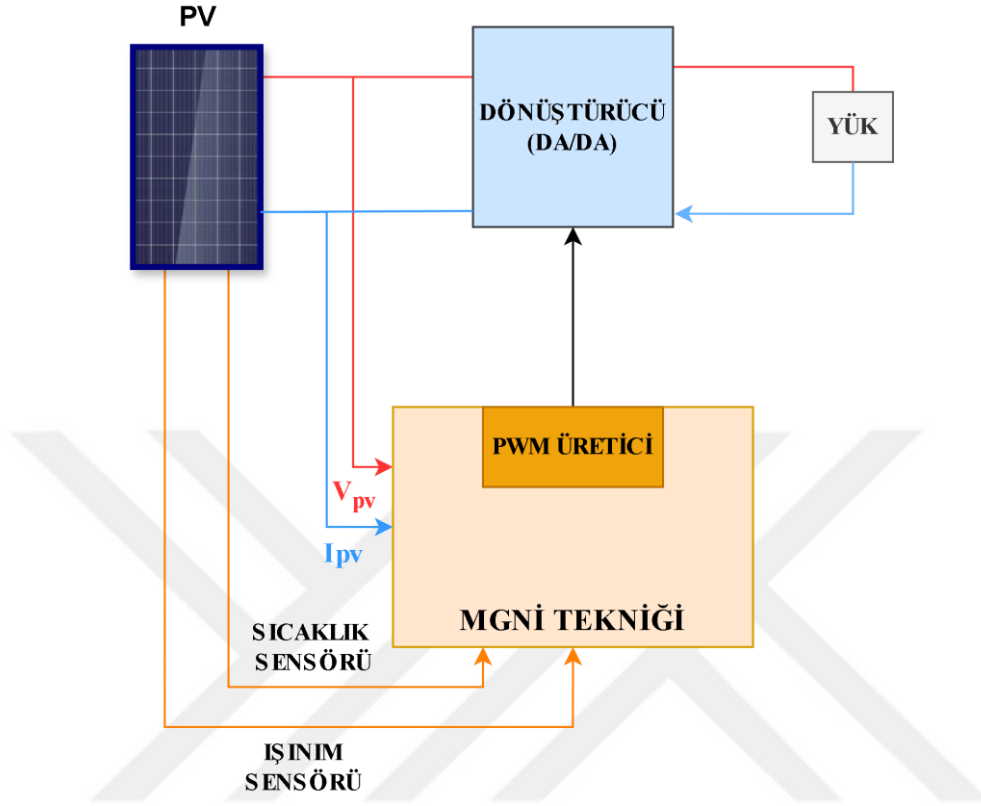
Tablo 3. 2. SunPower SPR-305E-WHT-D model panele ait model parametreleri

Işık kaynaklı akım I_L	5.9657 A
Diyot doyma akımı I_0	$6.3076e^{-12}$ A
Diyot ideallik faktörü	0.94489
Şönt direnç R_{sh} (ohm)	393.2054
Seri direnç R_s (ohm)	0.37428

3.3.Maksimum Güç Noktası İzleyici Tekniği (MGNI)

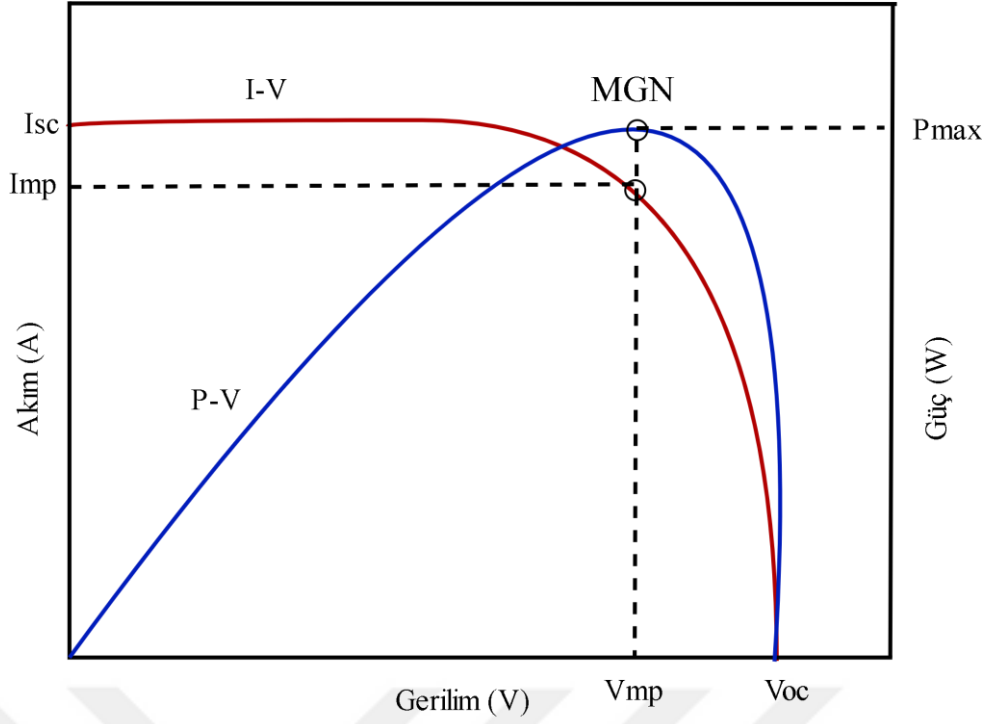
PV panellerden üretilen güç panelin üzerine düşen ışıma ve sıcaklık etkisiyle sürekli değişkenlik göstermektedir. Maksimum güç noktası panelin en yüksek üretebildiği çıkış gücüne karşılık gelen akım ve gerilimdir. Akım ve gerilim de ışıma ve sıcaklık etkisiyle farklı noktalarda izlenmektedir. Bu değişkenliğin etkisiyle MGN sürekli olarak değişmektedir. Panellerde maksimum güç noktasının izlenmesi önemli olduğundan MGNI bu değişkenliği

sürekli izleyerek maksimum güç noktasını bulmaktadır. MGN değişkenlik gösterdiği için çalışma noktasını bulurken çeşitli MGNİ algoritma yöntemleri kullanılmalıdır. Şekil 3.5'te MGNİ temel blok şeması verilmiştir. Bu blok şemasında PV panel ile yük arasında MGNİ kontrolör, PWM ve DA-DA dönüştürücü bulunmaktadır.



Şekil 3. 5. MGNİ tekniği ile maksimum güç noktası izleme temel blok şeması

Şekil 3.6 PV panelin akım ve gerilim değerlerine bağlı olarak üretmiş olduğu maksimum gücü göstermektedir. PV panelin performansı ışıınım ve sıcaklığa bağlı olduğundan akım ve gerilim de buna göre değişkenlik gösterir.



Şekil 3. 6. PV panelin MGN'sinin grafiği

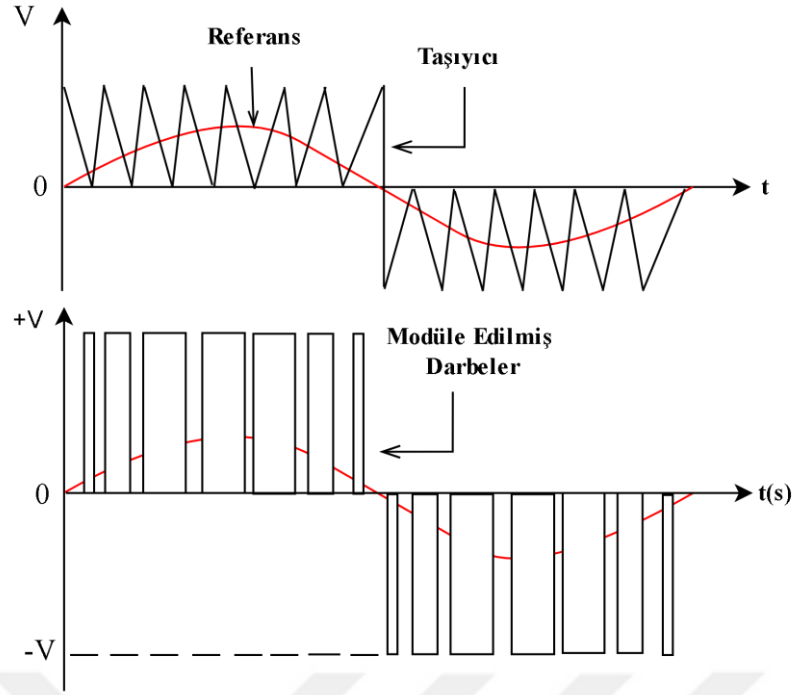
Grafikte I_{sc} kısa devre akımını, I_{MPP} üretilen en yüksek akımı, V_{oc} açık devre gerilimini, V_{MPP} üretilen en yüksek gerilimi ifade etmektedir.

PV panelin ürettiği maksimum güç Eşitlik (3.5)'teki gibi ifade edilir:

$$P_{MPP} = I_{MPP} * V_{MPP} \quad (3.5)$$

3.3.1. Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) Tekniği

PWM tekniği, sinyalin ortalama gücünü, cihazların performansını ve verimliliğini kontrol etmek için kullanılan bir yöntemdir. PWM elektrik ve elektronikte birçok alanda, farklı amaçlar için kullanımı oldukça yaygındır. Geçmişte daha önceden temel elektronik devre elemanlarıyla analog şekilde kullanılırken gelişme göstererek mikrodenetleyiciler ile kullanılarak uygulanmaktadır (Endiz & Akkaya, 2021). PWM ile MGNİ tekniği PV panelini bataryalara bağlayarak bu batarya geriliminin kontrolünü sağlar (Sezer, 2022). PWM'in amacı istenilen çıkış dalga şeklini üretirken az harmonik içermesi ve anahtarlama kayıplarının minimum olmasıdır (Yılmaz, 2024). Enerji kaybının çok düşük olması sayesinde invertörler ve dönüştürücülerde kullanılmaktadır.



Şekil 3. 7. PWM sinyalleri (Selvabharathi ve ark, 2018)

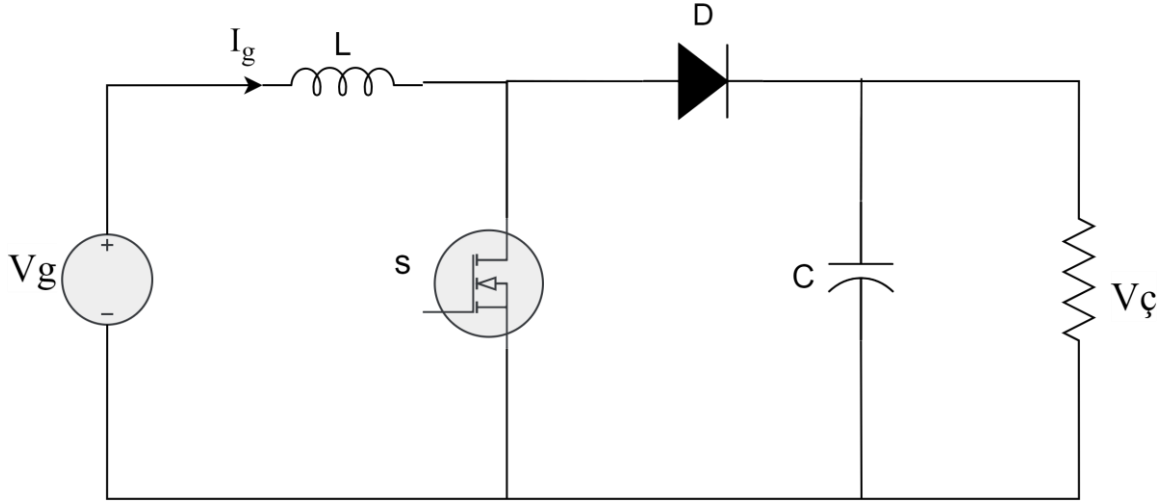
PWM sinyalinde örneğin %50 görev döngüsü demek, periyodun yarısında sinyalin açık ve yarısında da kapalı olduğu anlamına gelmektedir. PWM tekniğinde açık ve kapalı olması durumunda görev döngüsü Eşitlik (3.6)'daki gibi ifade edilir;

$$\text{Görev Döngüsü} = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} * 100 \quad (3.6)$$

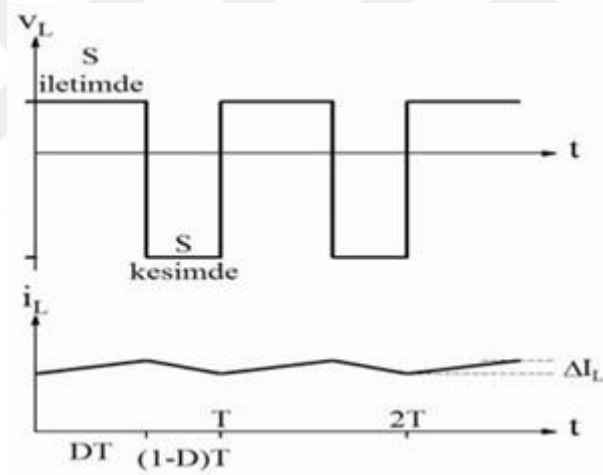
3.3.2. DA-DA Yükselten Dönüştürücü

DA-DA yükselten dönüştürücü endüstri alanında oldukça yaygın kullanılmaktadır. Yük gerilimini sabit tutarak MGN'de çalışmasını sağlamak için PV dizisi ile invertör arasında bir DA-DA yükselten dönüştürücü kullanılır (Murad, 2023). Girişteki DA gerilimini endüktansta biriken enerjiyi kullanarak çıkışta daha yüksek bir DC gerilime dönüştüren elektronik devredir. Şekil 3.8'de tek transistörlü yükselten dönüştürücünün devre şeması verilmiştir. Bu devre anahtar olarak bir mosfet ve diyot bulundurmaktadır. Devrenin kontrol mekanizması, yarı iletken güç anahtarının kapalı ve açık konuma getirilerek çalıştırılması ile gerçekleştirilmektedir (Büyükkelek, 2024). Anahtar iletimdeyken akım bobin üzerinden geçerek bobin üzerinde manyetik alan etkisiyle enerji oluşur ve bu enerji depolanır. Bu durumda bobin gerilimi giriş gerilimine eşit ($V_L = V_g$) olmaktadır. Anahtar kesimdeyken bobin

üzerindeki şarj akımı D diyotu üzerinden yüke doğru akar, bobin üzerindeki gerilim giriş ve çıkış gerilimlerinin farkına ($V_L = V_g - V_\varsigma$) eşit olur (Demirtaş ve ark 2008).



Şekil 3. 8. DA-DA yükselten dönüştürücü devre şeması



Şekil 3. 9. Yarıiletken anahtarın kesim durumu (Çoruh ve ark, 2008)

D: İletim oranı

T: Frekans değeri

DT: İletim süresi

(1-D)T: Anahtarın kesimde olduğu süre

Bu dönüştürücünün voltaj kazancı Eşitlik (3.7) ile ifade edilmektedir:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1-d} \quad (3.7)$$

Endüktansın giriş akımı ifadesi:

$$I_g = \frac{1}{1-D} I_\varsigma \quad (3.8)$$

Çıkış gerilimi dalgalanma ifadesi:

$$\Delta V_O = \frac{1}{f_p C} D I_\varsigma \quad (3.9)$$

Endüktans ve kapasitör hesabı sırasıyla Eşitlik (3.10) ve Eşitlik (3.11)'deki ile ifade edilebilir (Güler ve Irmak, 2019):

$$L_f = \frac{0.1U^2}{2\pi fP_p} \quad (3.10)$$

$$C_f = \frac{0.05P_p}{2\pi fU^2} \quad (3.11)$$

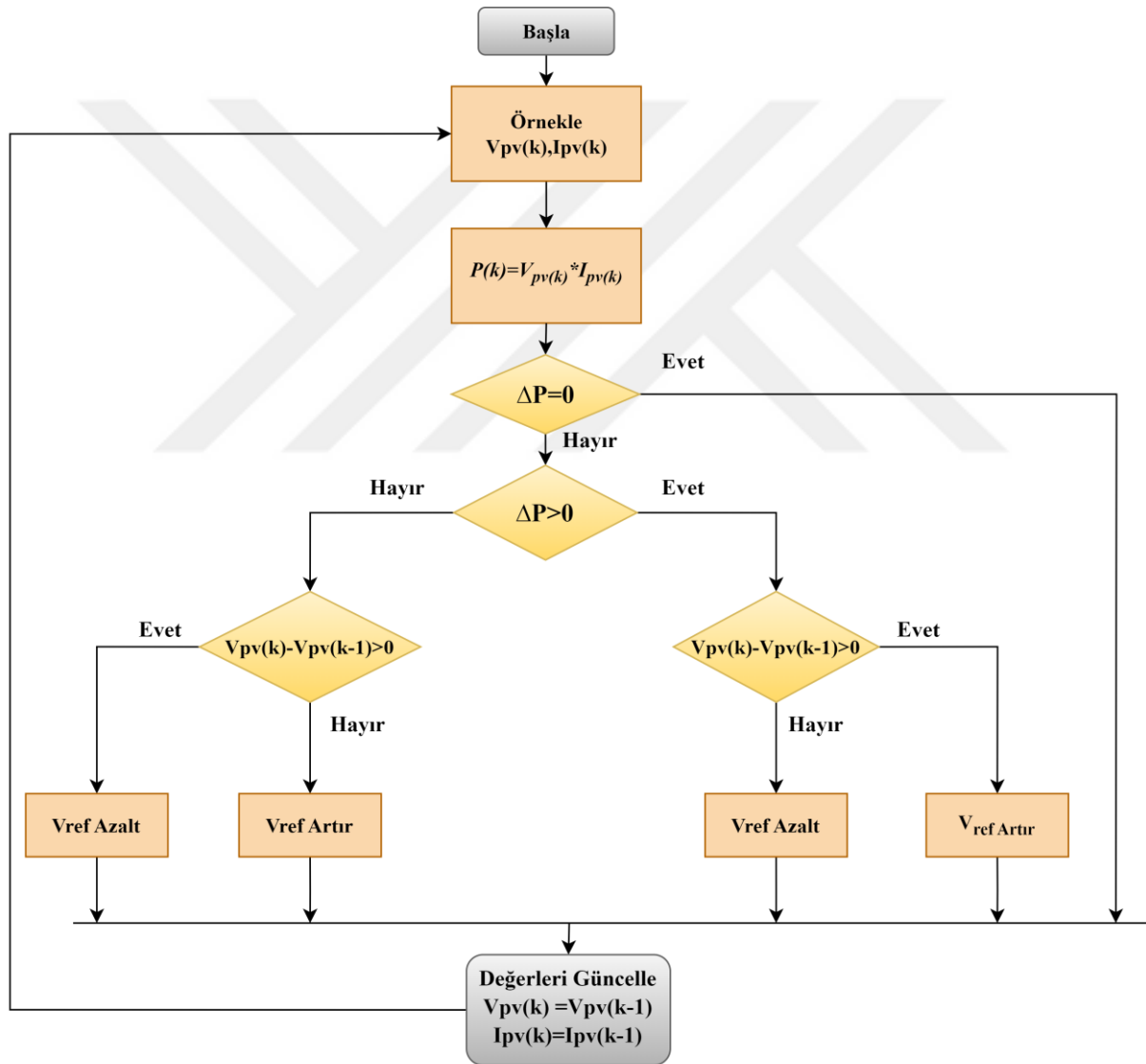
3.4.MGNİ Algoritma Uygulamaları

MGNİ algoritmaları, PV sistemlerinden elde edilen maksimum gücü yakalamayı sağlayan kontrol yöntemleridir. Güneş panelleri ısıtım ve sıcaklığa bağlı olarak farklı akım ve gerilim değerlerinde çalıştığı için MGNİ algoritmaları bu değişkenlikleri sürekli izleyerek sistemin maksimum noktada çalışmasını sağlamaktadır. Sürekli olarak değişkenlik gösteren çevresel koşullarda PV panellerden maksimum güç üretimi yapabilmek için MGNİ algoritmaları kullanılmaktadır (Yılmaz, 2024). Bu algoritmalar sayesinde panel maksimum noktada çalıştığı için verimliliği artırmaktadır. MGNİ algoritmaları seçilirken güneş ışığındaki ani değişimlere hızlı yanıt verebilmesi, gerilim ve akım gibi parametre değişimlerinde algoritmanın uyum sağlayabilmesi dikkate alınmalıdır. Literatürde çok sayıda algoritma yöntemi bulunmaktadır. Geleneksel MGNİ algoritmaları arasında D&G, Aİ, Açık Devre Gerilimi, Kısa Devre Akımı gibi yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler basit ve kolay uygulanabilmesi, hızlı geri bildirim sunabilmesi, düşük maliyetli olması, geniş uygulama alanlarında kullanılması gibi avantajlara sahiptir. Dezavantajları ise karmaşık sistemlerde verimsizleşebilir, yapılan ölçüm sonuçları, sıcaklık, nem gibi çevresel dış etkenlerden kolayca etkilenebilir. Yapay Sinir Ağları, Bulanık Mantık Kontrolü ve PSO gibi akıllı algoritma yöntemleri gölgelenmenin olması gibi çevresel etkilerde global MGN değeri bulma yeteneğine sahiptirler (Kandemir, 2020). Bu tez

çalışmasında kullanılan MGNİ algoritmaları uyarlamalı bulanık PID, D&G ve Aİ yöntemleridir. Bu başlık altında kullanılan yöntemlerden bahsedilmiştir.

3.4.1. Değiştir & Gözle Algoritması (D&G)

D&G algoritması basit ve anlaşılır bir MGNİ yöntemidir. Bu algoritma sistemdeki parametreleri değiştirdikten sonra bu değişikliğin sistem üzerinde neler etki ettiğini gözlemleyerek sonuçları analiz etmeyi amaçlar. D&G algoritmasının maksimum güç noktasına ulaşip ulaşamadığı tam anlaşılamaz yani çalışma noktası maksimum güç noktasının etrafında hareket ederek çalışır (Keskin, 2019). Temel D&G algoritmasının akış şeması Şekil 3.10 'da gösterilmiştir.



Şekil 3. 10. D&G algoritması

D&G algoritmasının amacı çıkış gücünü en uygun değerde tutmaktır (Lüy ve ark, 2021). D&G algoritmasında ilk olarak panelden elde edilen akım ve gerilim değerleri ölçülür ve ölçülen bu değerler ile panel güç P_k değeri hesaplanır. $\Delta P = 0$ ise döngü tekrar başa döner. Eğer $\Delta P > 0$ ise ve $V_{(k)}$ değeri $V_{(k-1)}$ değerinden büyük ise V_{ref} artırılır ancak $V_{(k)}$ değeri $V_{(k-1)}$ değerinden küçük ise V_{ref} azaltılır. $\Delta P < 0$ ise eğer $V_{(k)}$ değeri $V_{(k-1)}$ değerinden büyük ise V_{ref} azaltılır. Eğer $V_{(k)}$ değeri $V_{(k-1)}$ değerinden küçük ise V_{ref} artırılır.

3.4.2. Artan İletkenlik (Aİ) Algoritması

Aİ yöntemi değişken atmosfer koşullarında hızlı adaptasyon ve doğruluk gösterdiği için yaygın olarak kullanılan bir MGNİ yöntemidir (Altıntaş ve ark, 2021). Aİ algoritması genellikle MGNİ ile maksimum güç üretimi yapabilmek için kullanılan yöntem türüdür. Aİ algoritması, PV panelin çıkış gücünün eğiminin sıfır olması MGN'yi, eğimin pozitif olduğu yer MGN'nin solunu, eğimin negatif olduğu yer ise MGN'nin sağını ifade etmektedir (Badak ve Yıldız, 2021). Aİ algoritmasının çalışma mantığı gerilim ve akım değerlerindeki değişimi analiz etmektir. Bir PV sistem için çıkış gücünün gerilime göre türevi Eşitlik (3.12)'de ifade edilebilir:

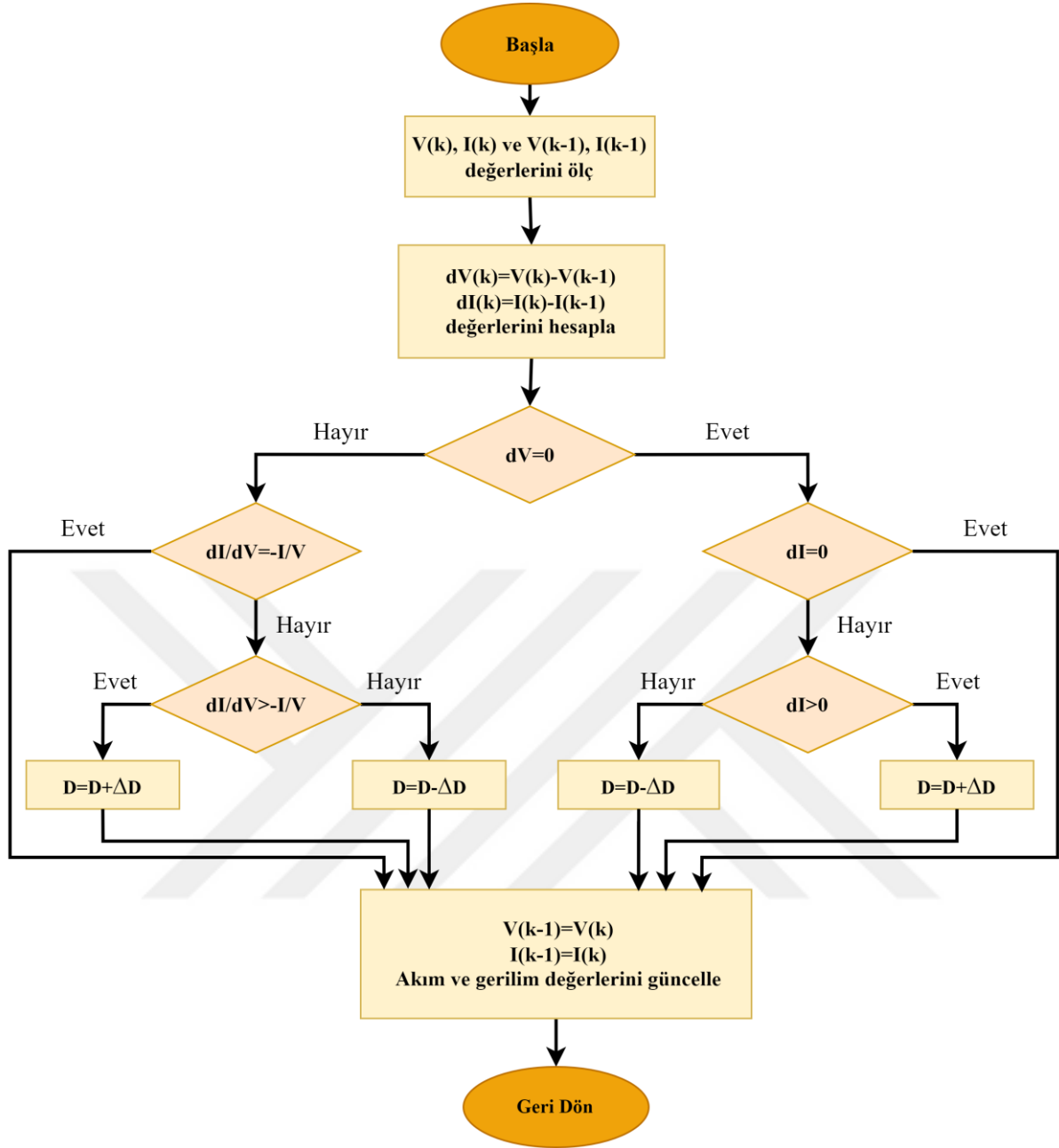
$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} = I + V \frac{\Delta I}{\Delta V} \quad (3.12)$$

$$\frac{dP}{dV} = 0 \quad \text{MGN'de} \quad (3.13)$$

$$\frac{dP}{dV} > 0 \quad \text{MGN'nin solunda} \quad (3.14)$$

$$\frac{dP}{dV} < 0 \quad \text{MGN'nin sağında} \quad (3.15)$$

Şekil 3.11'de Aİ algoritmasının akış diyagramı verilmiştir. Algoritmada öncelikle PV panelin akım ve gerilimi ölçülür, akım ve gerilim değişimleri hesaplanır. Gerilim değişimi (dV) '0' a eşitse, akım değişimi (dI) de '0' ise, kontrol gerilimi ya da D değiştirilmez. Eğer dI '0' dan büyükse, D artırılır, değilse D azaltılır.

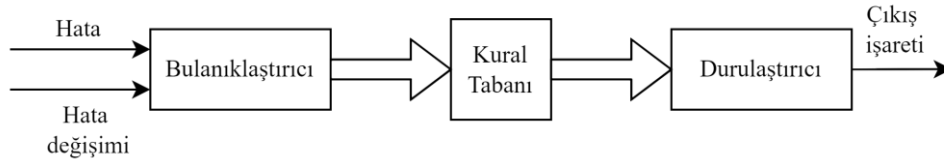


Şekil 3. 11. Artan iletkenlik algoritması

3.4.3. Bulanık Mantık Denetleyici (BMD)

Bulanık mantık, insan benzeri karar verme gibi mantıksal uygulamalarla, bilgisayara yardım edebilen bir mantık devrimidir (Kıyak ve Kahvecioğlu, 2003). 1965 yılında California Berkeley Üniversitesinden L.A.Zadeh'in bulanık mantık üzerine çalışmaları olan ilk makalelerini yayınlamasıyla duyulmuştur (Ertuğrul, 2006). Bulanık Mantık'ın birçok uygulama alanı vardır özellikle otomatik kontrol sistemlerinde, bazı makine öğrenme algoritmalarıyla birlikte kullanılmaktadır. Sabit koşullar altında MGN' yi hızlı izleyebilir ve MGN' ye ulaştıktan sonra daha az salınım yapar, daha iyi dinamik ve kararlı durum performansı gösterir (Karagözoğlu ve

Duranay, 2023). Belirsizlikleri tanımlamak en önemli özelliği olmuştur. Örneğin büyük, orta ve küçük gibi ifadeler kullanarak bu ifadeleri kümelere dönüştürüp sayısal değer belirler. Bulanık mantık denetleyicinin temel taşı bulanık kümelerden oluşmaktadır (Yılmaz ve Şahin, 2023).



Şekil 3. 12. BMD temel yapısı

Şekil 3.12’de BMD yapısı bulanıklaştırıcı, kural tabanı ve durulaştırıcı bloklarından oluşmaktadır. Bulanıklaştırıcı kendisine uygulanan kesin girişleri bulanık değerlere çevirerek kural tabanı ünitesine gönderir. Burada bulanık kurallarla işlenir ve durulaştırıcı ünitesine gönderildikten sonra ise bulanık sonuçlar kesin sayıya dönüştürülür (Yanmaz ve Altaş, 2008). Genellikle BMD’nin üyelik fonksiyonları kontrol hatası (e) ve bu hatanın değişimi ($\dot{e}$) şeklindedir. Bu üyelik fonksiyonları ile kural tabanı tablosu oluşturulur (Yanmaz ve Altaş, 2008). Tablo 3.3 ‘te örnek bir BMD kural tablosu gösterilmiştir.

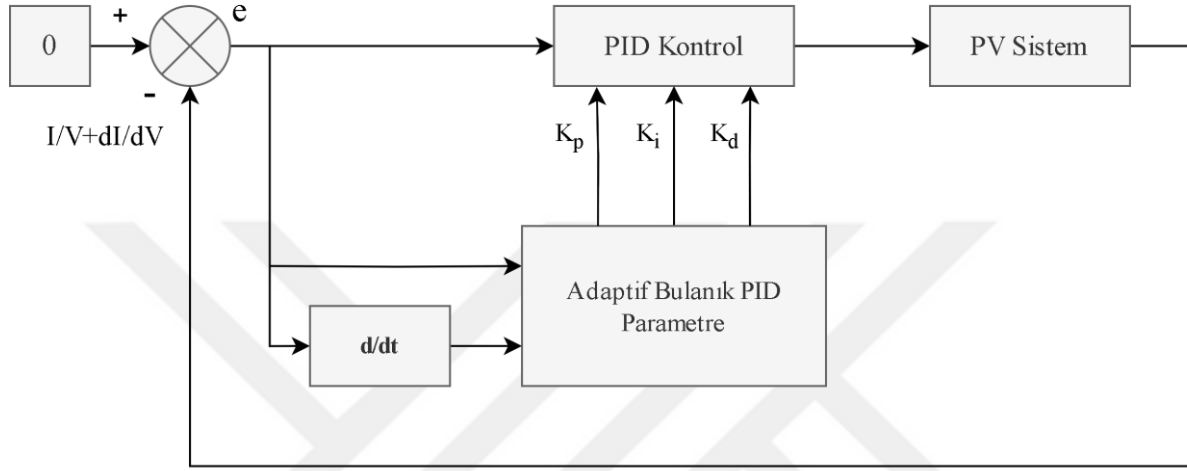
Tablo 3. 3. Örnek bir BMD kural tablosu (Bay ve Uysal, 2012)

$\dot{e} \backslash e$	NB	NO	SF	PO	PB
NB	NB	NB	NO	NO	SF
NO	NB	NO	NO	SF	PO
SF	NO	NO	SF	PO	PO
PO	NO	SF	PO	PO	PB
PB	SF	PO	PO	PB	PB

3.4.4. Adaptif Bulanık PID Denetleyici

Adaptif kontrol, parametreleri değişkenlik gösteren sistemleri kontrol etmek ve daha iyi performans için kontrol sistemleri tasarlanırken kullanılan kontrol yöntemidir (Yavuzsoy ve ark., 2023). PID kontrolörü, endüstriyel, otomasyon ve kontrol yöntemlerinde kullanılan geri

beslemeli kontrol yöntemidir. PID kontrolör basit ve etkili olması avantajlarıdır. Dezavantajı ise karmaşık sistemlerde yetersiz kalmasıdır. Bu karmaşık sistemde parametreleri doğru ayarlamak için Bulanık Mantık denetleyici gibi kontrolör yöntemleri ile birlikte desteklenerek kullanılmaya başlanmıştır. PID kontrolörün K_p , K_i , K_d olmak üzere 3 adet giriş parametresi vardır. Bu parametreler bulanık mantık kuralları ile en uygun şekilde ayarlanmaktadır. Şekil 3.13'te PID kontrolün bulanık mantık ile desteklendiği şema gösterilmektedir.



Şekil 3. 13. Adaptif bulanık PID denetleyici şeması

Eşitlik (3.16)'te K_p oransal parametresi $e(t)$ hata sinyali ile çarpılır, K_i integral parametresi hata sinyallerinin toplanıp $e(t)$ hata sinyali ile çarpılmasıyla, K_d türev parametre ise hata sinyalinin değişimi $e(t)$ hata sinyali ile çarpılmasıyla ve son olarak hepsinin toplanması ile $u(t)$ PID kontrolör çıkış değeri elde edilmektedir. Geleneksel PID denetleyici çıkışı Eşitlik (3.16) ve hata sinyali Eşitlik (3.17)'deki ile ifade edilir:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3.16)$$

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (3.17)$$

Burada:

$u(t)$: kontrol sinyali

$e(t)$: hata sinyali

$y(t)$: çıkış sinyali

$r(t)$: referans sinyali

Eşitlik 3.16'in Laplace domenine göre denklemi Eşitlik 3.18'deki gibidir;

$$U(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (3.18)$$

$$K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right) \quad (3.19)$$

$$K_p T_d = K_d \quad (3.20)$$

$$T_d = \frac{K_d}{K_p} \quad (3.21)$$

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} \quad (3.22)$$

İntegral zaman sabiti (T_i), türev zaman sabitine (T_d) ve α katsayısına göre şu şekilde belirlenir;

$$T_i = \alpha T_d \quad (3.23)$$

$$K_i = \frac{K_p}{\alpha T_d} = K_p^2 / (\alpha K_d) \quad (3.24)$$

K_p ve K_d 'nin sırasıyla öngörülen ($K_{p \max}, K_{p \min}$) ve ($K_{d \max}, K_{d \min}$) aralıklarında olduğu varsayılır. Orantısal, integral ve türevsel kazanç olan K_p ve K_d değerleri şu şekilde ifade edilir (Dash ve ark., 1998):

$$K_p = (1 - C_p) K_{p \max} + C_p K_{p \min} \quad (3.25)$$

$$K_d = (1 - C_d) K_{d \max} + C_d K_{d \min} \quad (3.26)$$

Burada C_p ve C_d , kontrolörün orantılı ve türev kazançlarının min-maks aralığı için katsayılarıdır. C_p ve C_d değer aralığı Eşitlik (3.27) ve Eşitlik (3.28)'de verilmiştir (Dash ve ark., 1998):

$$0 < C_p < 1 \quad (3.27)$$

$$0 < C_d < 1 \quad (3.28)$$

Burada kullanılan yaklaşım, denetleyici parametreleri oluşturmak için bulanık kuralları kullanılır. Her girdi ve çıktı değişkeni yedi bulanık kümeye sahiptir ve 49 kural oluşturulmuştur. Oluşturulan bu kural P.K. Dash ve ark. (1998) tarafından yayınlanan makaleden Türkçeye çevrilerek alınmıştır. C_p ve C_d parametrelerini hesaplamak için CB (C_p -büyük) ve CK (C_p -küçük) seçilerek Tablo 3.4'te gösterilen üyelik fonksiyonları ile karakterize edilmektedir. Burada kullanılan üyelik fonksiyonları, NB (Negatif Büyük), NO (Negatif Orta), NK (Negatif Küçük), SF (Sıfır), PK (Pozitif Küçük), PO (Pozitif Orta), PB (Pozitif Büyük) şeklinde ifade edilmektedir. 2 giriş ve 1 çıkıştan oluşan Mamdani bulanık çıkarım sistemi kullanılmıştır.

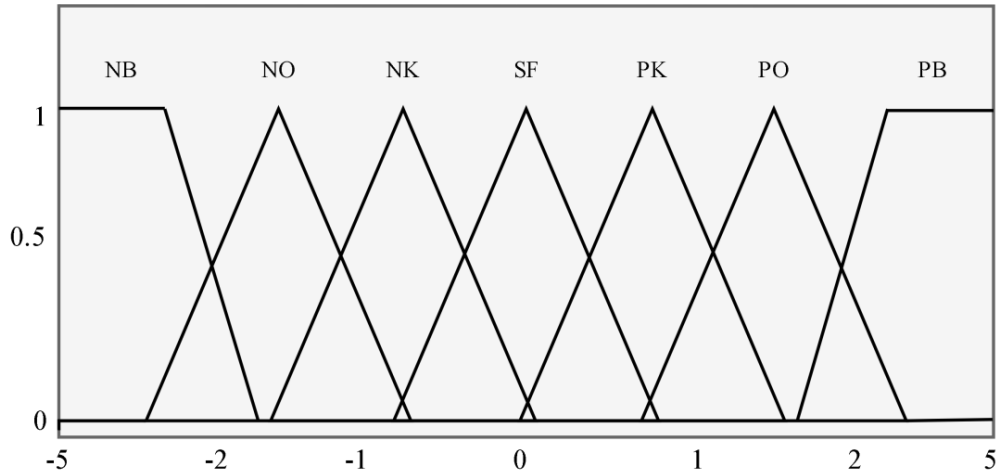
Tablo 3. 4. C_d 'yi ayarlamak için kural tabanı (Dash ve ark., 1998)

$\begin{matrix} e \\ e \end{matrix}$	NB	NO	NK	SF	PK	PO	PB
NB	CK	CK	CK	CK	CK	CK	CK
NO	CB	CB	CK	CK	CK	CB	CB
NK	CB	CB	CB	CK	CB	CB	CB
SF	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB
PK	CB	CB	CB	CK	CB	CB	CB
PO	CB	CB	CS	CK	CK	CB	CB
PB	CK	CK	CK	CK	CK	CK	CK

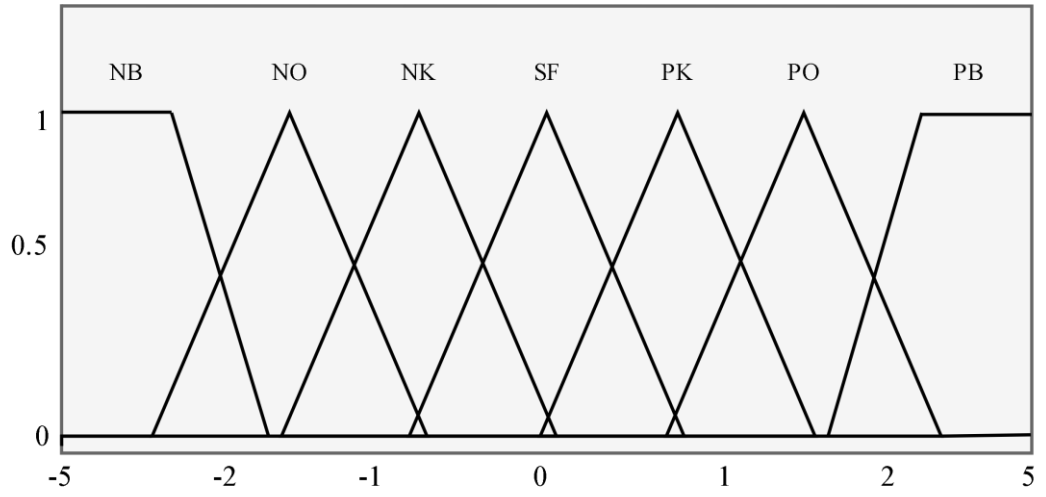
Tablo 3. 5. C_p 'yi ayarlamak için kural tabanı (Dash ve ark., 1998)

$\begin{matrix} \acute{e} \\ e \end{matrix}$	NB	NO	NK	SF	PK	PO	PB
NB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB
NO	CK	CB	CB	CB	CB	CB	CK
NK	CK	CK	CB	CB	CB	CK	CK
SF	CK	CK	CK	CB	CK	CK	CK
PK	CK	CK	CB	CB	CB	CK	CK
PO	CK	CB	CB	CB	CB	CB	CK
PB	CB	CB	CB	CB	CB	CB	CB

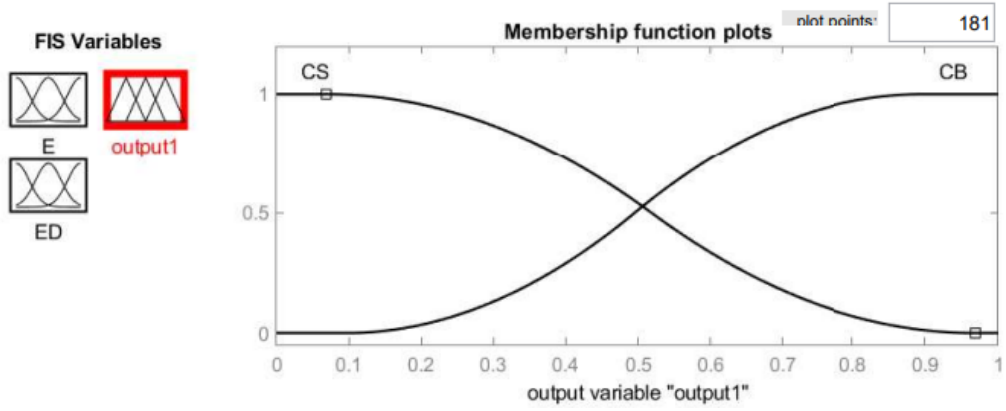
Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'te verilen üyelik fonksiyonları $[-5 \ 5]$ ve Şekil 3.16'te verilen çıkış üyelik fonksiyonları $[0 \ 1]$ evrensel küme aralığındadır. Burada NO, NK, SF, PK, PO üyelikleri için üçgen tipi seçilmiştir. NB için Z şeklinde, PB için ise S şeklinde üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Şekil 3. 17'de CD için ve Şekil 3. 18'de CP için kural yüzeyi düz görünümde ve üç boyutlu olarak gösterilmiştir.



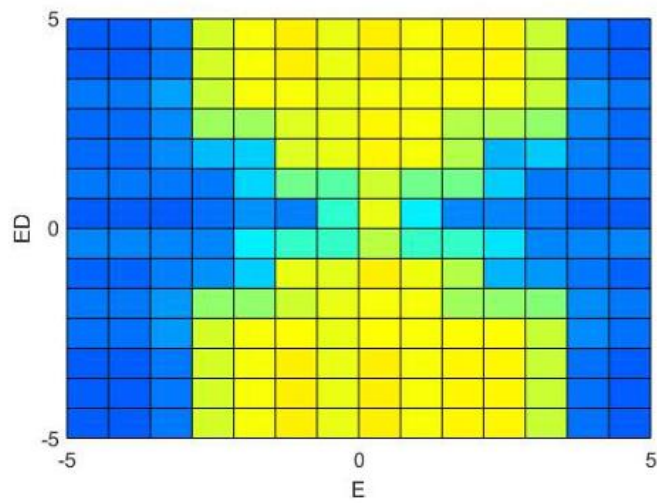
Şekil 3. 14. CP ve CD'nin hata üyelik fonksiyonları (E)



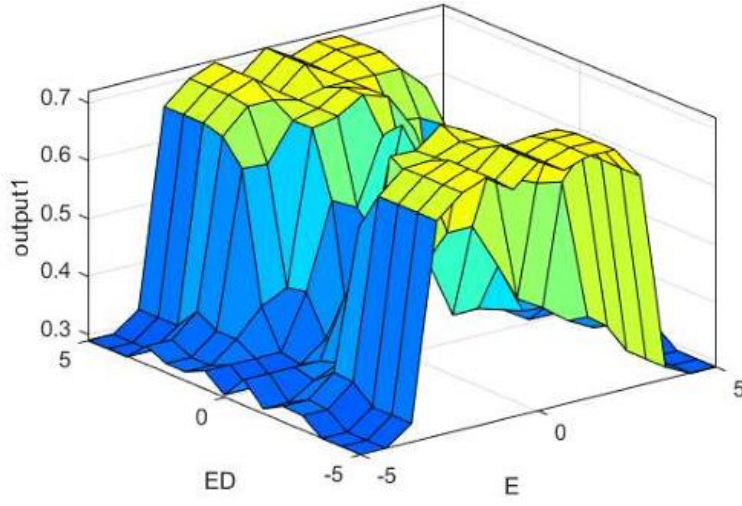
Şekil 3. 15. CP ve CD'nin hata değişimi üyelik fonksiyonları (ED)



Şekil 3. 16. CP ve CD çıkış fonksiyonu

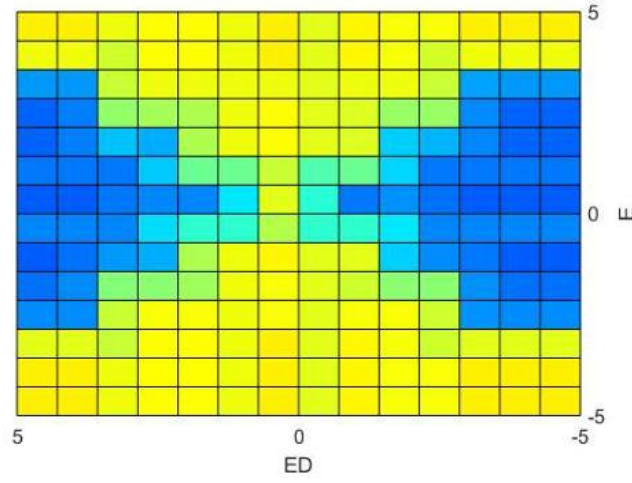


a)

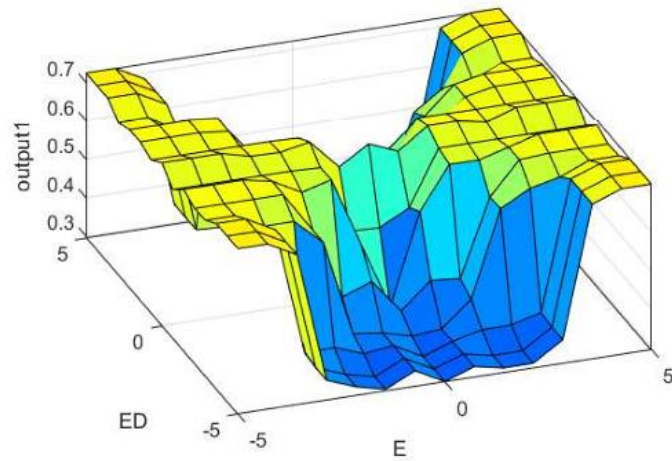


b)

Şekil 3. 17. a) ve b) CD için oluşturulan kuralların yüzey görünümü



a)

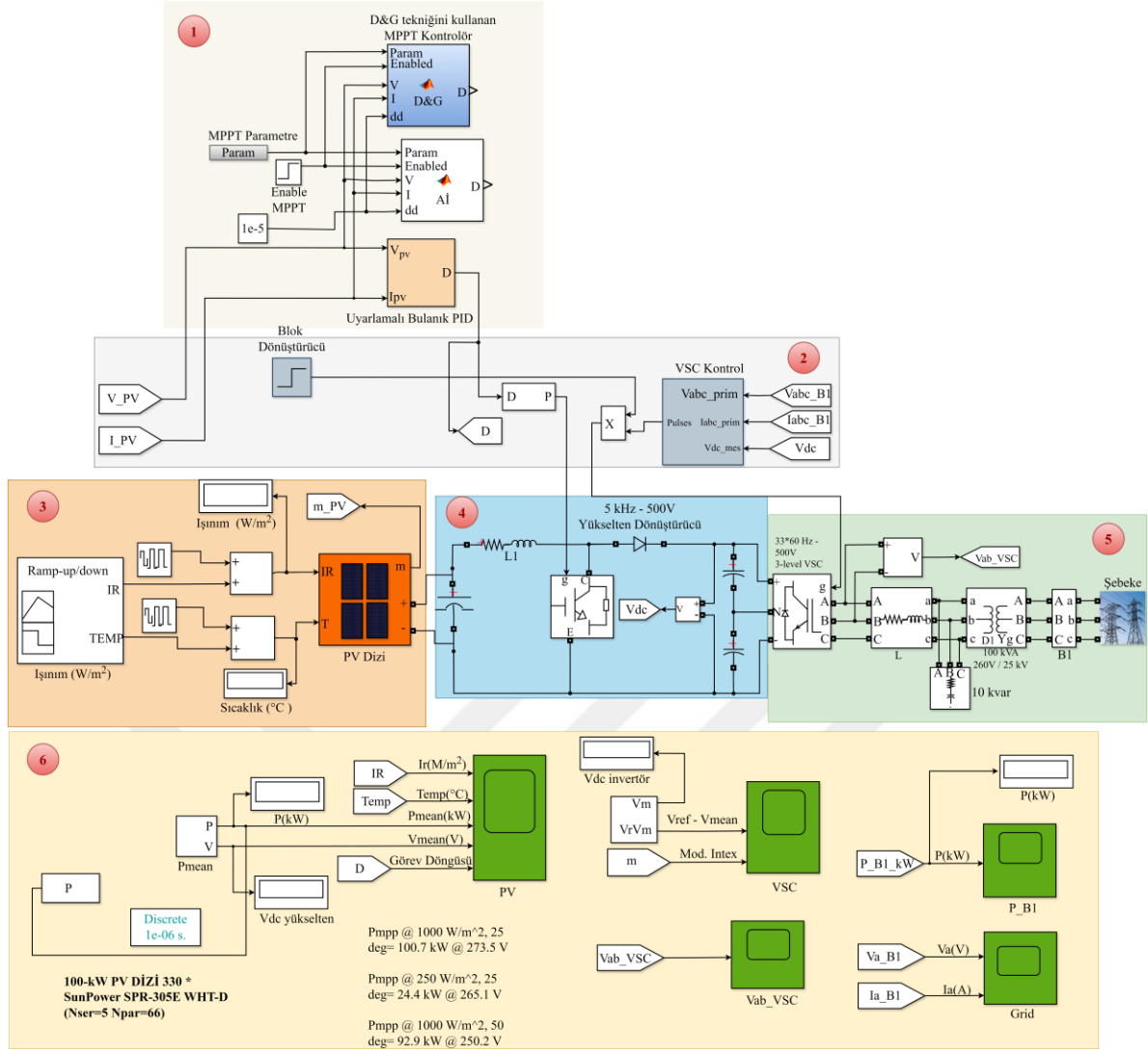


b)

Şekil 3. 18. a) ve b) CP için oluşturulan kuralların yüzey görünümü

4. BENZETİM ÇALIŞMALARI

Buraya kadar olan başlıklar altında çalışmanın temelinden, kullanılan yöntem ve materyallerden detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Bu başlık altında ise bu tez çalışması için önerilen yöntem ve elde edilen sonuçlardan bahsedilmiştir. Kullanılan program Matlab/Simulink üzerinden simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın modeli Şekil 4.1’de gösterilmektedir. Modelde Panel dizisi, Adaptif Bulanık PID, D&G, AI algoritmaları, DC-DC dönüştürücü, 3 fazlı invertör ve bunların bağlı olduğu şebeke bulunmaktadır. 1 numaralı bölümde MGNİ kontrolörü ile birlikte kullanılan Adaptif Bulanık PID, D&G ve AI algoritmaları bulunmaktadır. Önerilen Adaptif Bulanık PID bloğunun iç yapısı Şekil 4.2’de verilmiştir. 2. bölümde görev döngüsü bloğu, akım ve gerilim blokları 1.bölümde bulunan algoritmalara bağlanmıştır. 3.bölümde SunPower SPR-305E-WHT-D modelden oluşan 5 seri ve 66 paralel PV dizisine bağlı ışınım ve sıcaklık sinyal üreticileri bulunmaktadır. 4. bölümde DA-DA yükselten dönüştürücü vardır. Yükselten dönüştürücü bobin, kapasitör, MOSFET ve diyottan oluşmaktadır. Dönüştürücünün devre parametreleri Tablo 4. 1’de verilmiştir. Bu dönüştürücünün anahtarlama elemanı MOSFET’in gate girişine görev döngüsü bağlanır ve tetikleme yaparak sinyal üretir. 5 numaralı bölümde DA’yı AC’ ye çeviren 3 fazlı invertör ve enerji nakil hattı bulunmaktadır. 6. bölgede sistemin çalışması için önemli bloklar vardır ve üretilen güç, çalıştırılan gerilim ile sistem hakkında genel bilgiler gösterilmiştir. Sistemin çalışması için bazı önemli bloklar gösterilmektedir. Bu çalışma için 5 farklı benzetim çalışmaları uygulanmıştır.

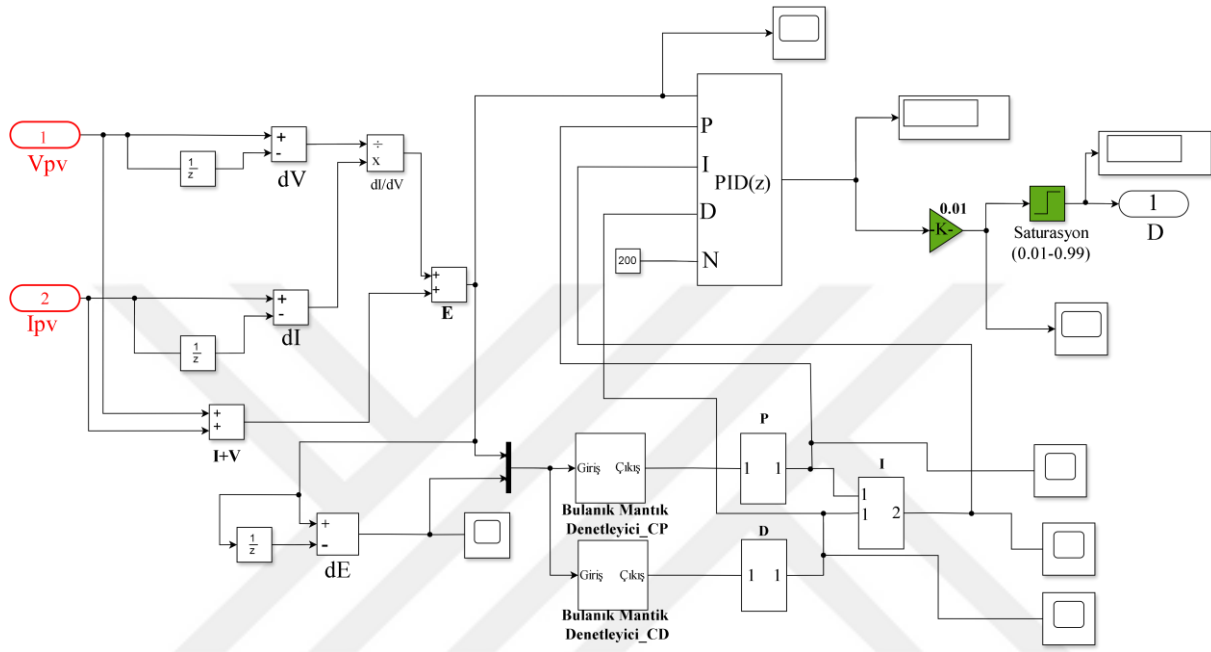


Şekil 4. 1. Şebekeye bağlı genel PV dizi Matlab/Simulink modeli

Tablo 4. 1. Yükselten Dönüştürücü devre parametreleri

Bobin (L)	5e-3 mH
Resistans (R)	0.005 ohm
Diyot	1e-4 ohm
Giriş Kondansatörü	100e-06 uF
Çıkış Kondansatörü	12000e-06 uF

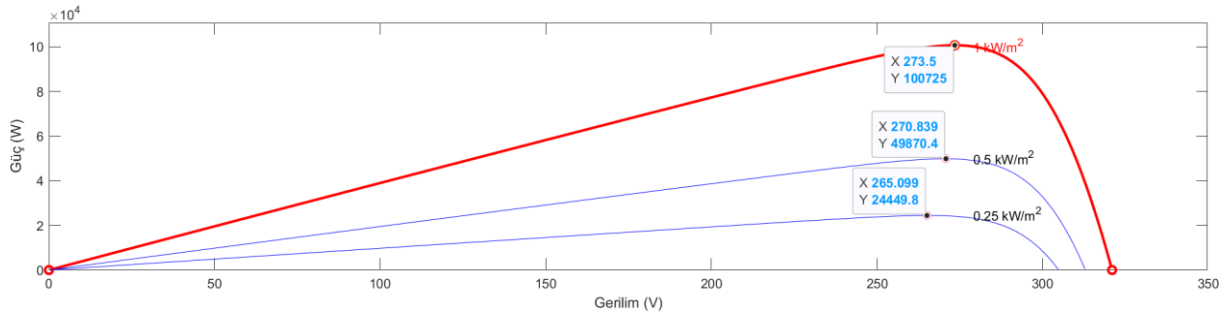
Şekil 4. 2 ‘de Adaptif Bulanık PID bloğunun iç yapısı görülmektedir. Burada 2 tane Bulanık Mantık Denetleyici bloğu vardır. Bu bloklar PID parametreleri olan K_p , K_i ve K_d değerlerini Eşitlik (3.24) (3.25) ve (3.26)’ da verilen denklemlere göre bulanık mantık kurallar tabanı ile ayarlamaktadır. Matlab/Simulink üzerinde $K_{d_{\max}} = 1.2000e-04$, $K_{d_{\min}} = 3.0000e-05$, $K_{p_{\max}} = 6.1520$ ve $K_{p_{\min}} = 1.5380$ değerleri bulunmuştur. Klasik PID için $K_p = 3.076$, $K_i = 130$ ve $K_d = 6e-05$ değerleri kullanılmıştır.



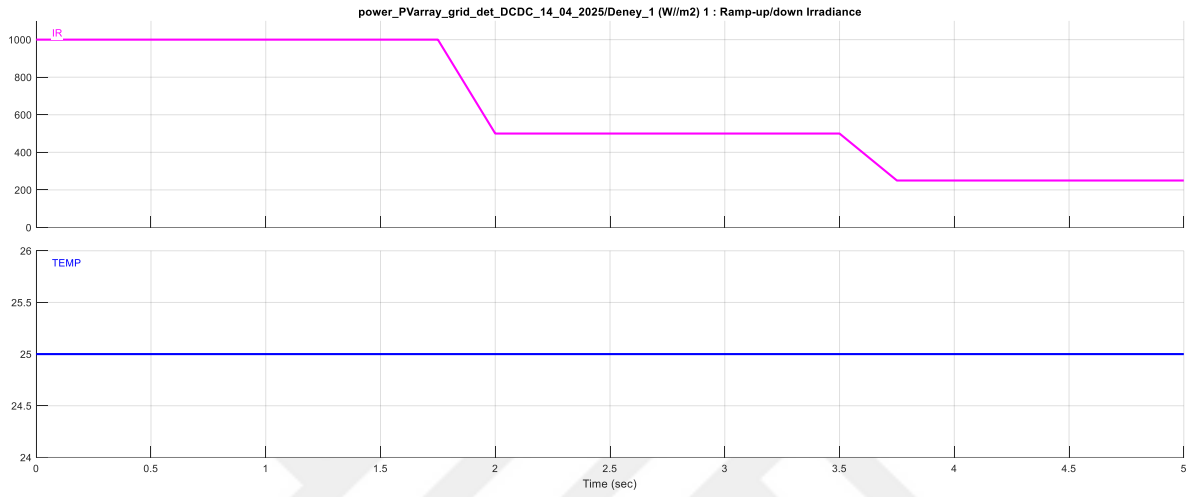
Şekil 4. 2. Önerilen Adaptif Bulanık PID bloğunun iç yapısı

4.1 Benzetim Çalışması 1

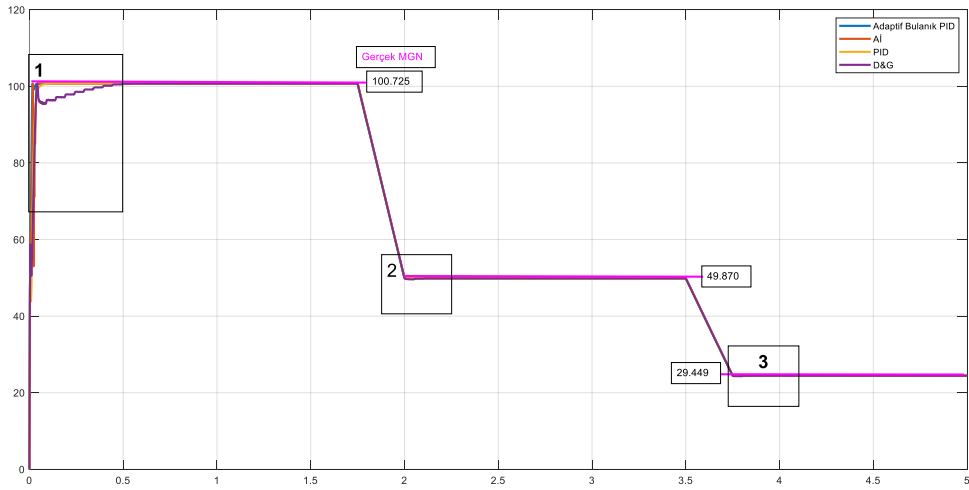
Bu çalışmada kullanılan SunPower SPR-305E-WHT-D model panelin 5 seri ve 66 paralel dizinin sabit 25°C ve 1000 W/m², 500 W/m², 250 W/m² ışıınım değerlerinde güç-gerilim grafiği Şekil 4.3’te verilmiştir. Şekil 4.3’te PV dizisinin sabit 25°C sıcaklıktayken 1000 W/m² ışıınımda 100.72 kW, 500 W/m² ışıınımda 49.87 kW ve 250 W/m² ışıınımda 24.44 kW değerlerinde güç üretmiştir. Deneysel çalışma 1’de, benzetim süresi t=5 s’de 25°C sabit sıcaklık altında 1000 W/m², 500 W/m², 250 W/m² değişen ışıınım değerlerinde Matlab/Simulink’te simülasyon sonuçları elde edilmiştir. Şekil (4.5), (4.6) ve (4.7) ‘de verilen şekiller PV güç, gerilim ve görev döngüsü yönünden elde edilen grafikleri göstermektedir.



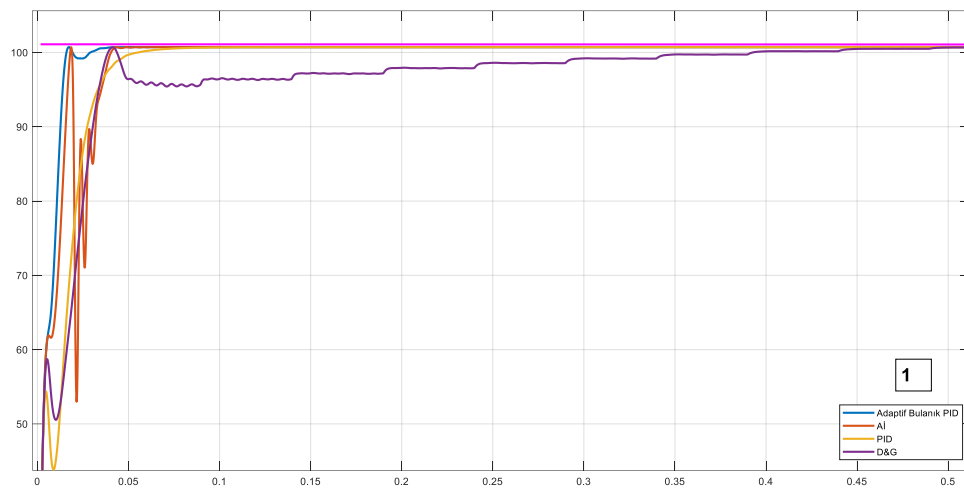
Şekil 4. 3. PV dizinin güç-gerilim grafiği



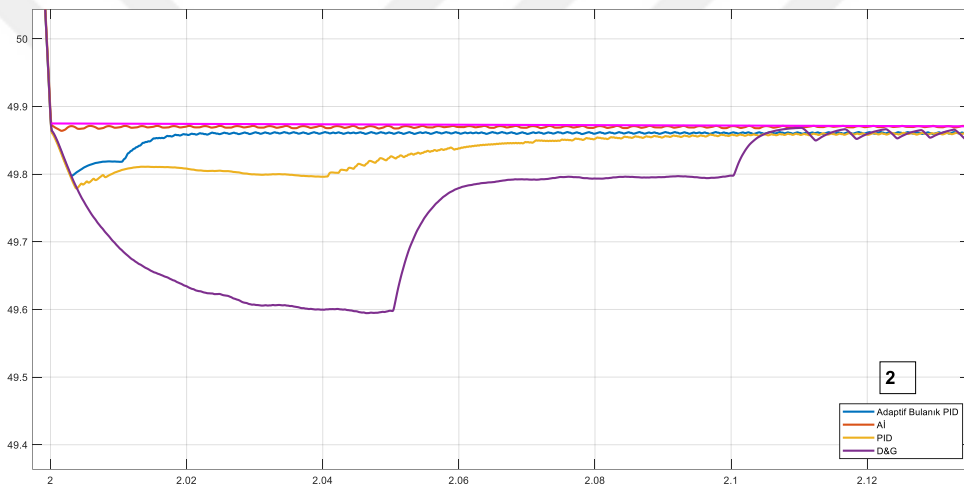
Şekil 4. 4. PV dizisi sabit 25°C sıcaklık ve 1000 W/m² , 500 W/m² , 250 W/m² ışınlım grafiği



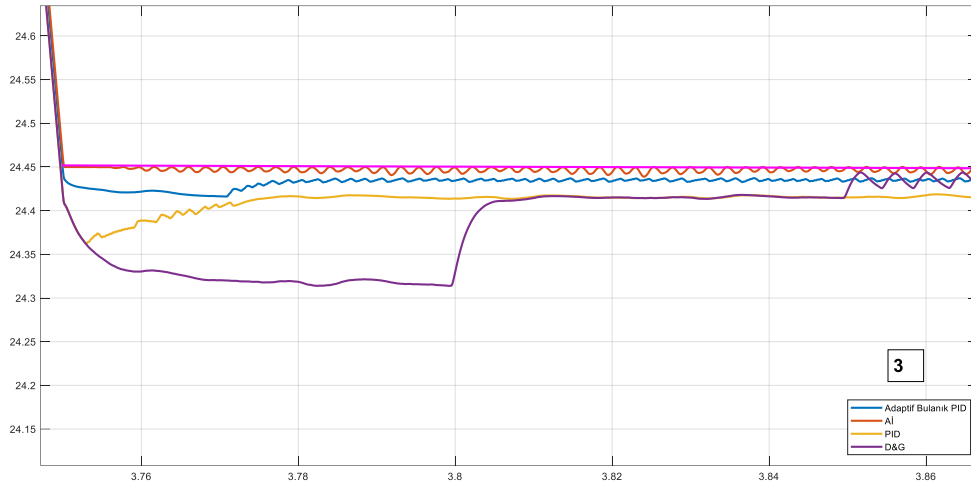
a)



b)



c)



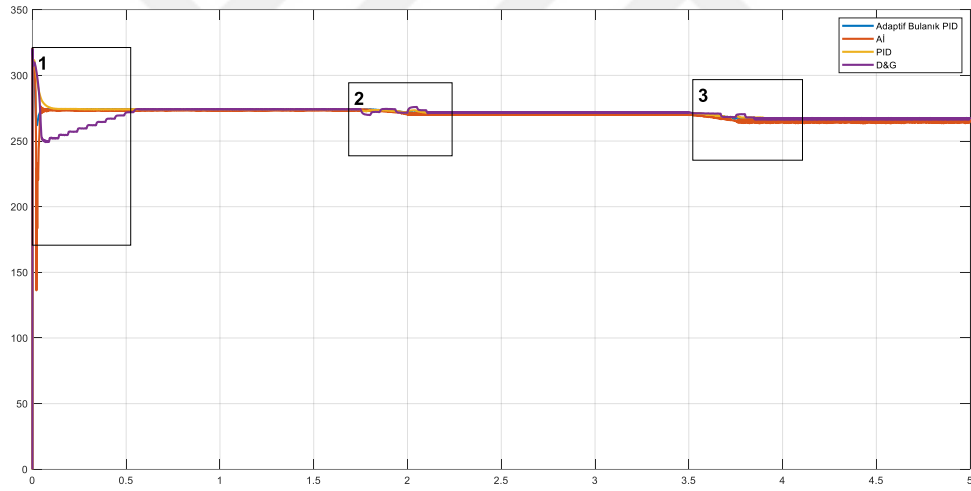
d)

Şekil 4. 5. Benzetim Çalışması 1'in PV panel çıkış gücü grafiği

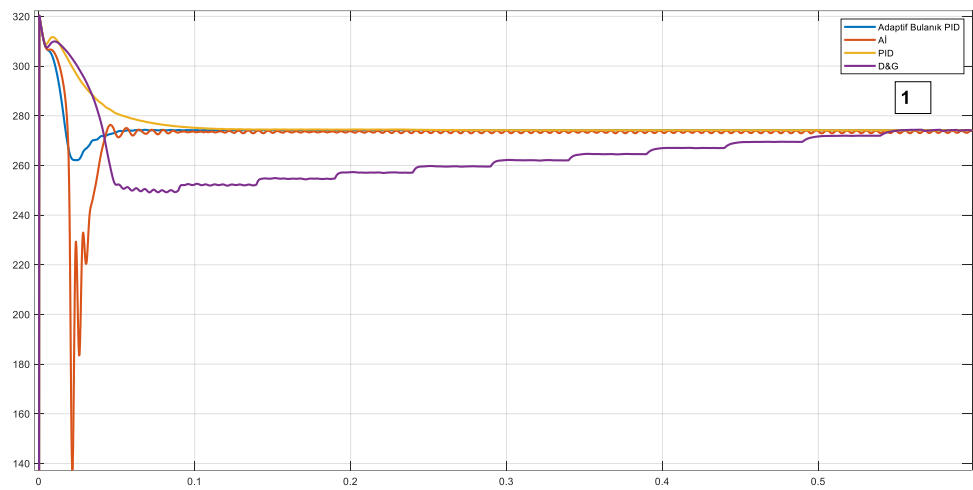
Şekil 4.5'te PV dizinin çıkış gücü için elde edilen sonuçlar önerilen Adaptif Bulanık PID yöntemi ile klasik PID, D&G ve Aİ algoritmaları karşılaştırılmıştır. Şekil 4.5'te görüldüğü üzere başlangıç koşullarında Adaptif Bulanık PID algoritması en hızlı ve kararlı şekilde maksimum güç noktasına ulaşmıştır. Klasik PID, D&G ve Aİ yöntemlerinin başlangıçta salınım yaptığı ve MGN'ye ulaşmada daha yavaş kaldığı görülmektedir. Önerilen yöntemle elde edilen güç sabit 25°C sıcaklıktayken 1000 W/m^2 ışıнімda 100.71 kW , 500 W/m^2 ışıнімda 49.86 kW , 250 W/m^2 ışıнімda ise 24.43 kW değerine ulaşarak SunPower SPR-305E-WHT-D model panelin üretmiş olduğu değerlerine yaklaşmış olduğunu göstermektedir.

Tablo 4. 2 Benzetim Çalışması 1’den elde edilen sonuçlar tablosu

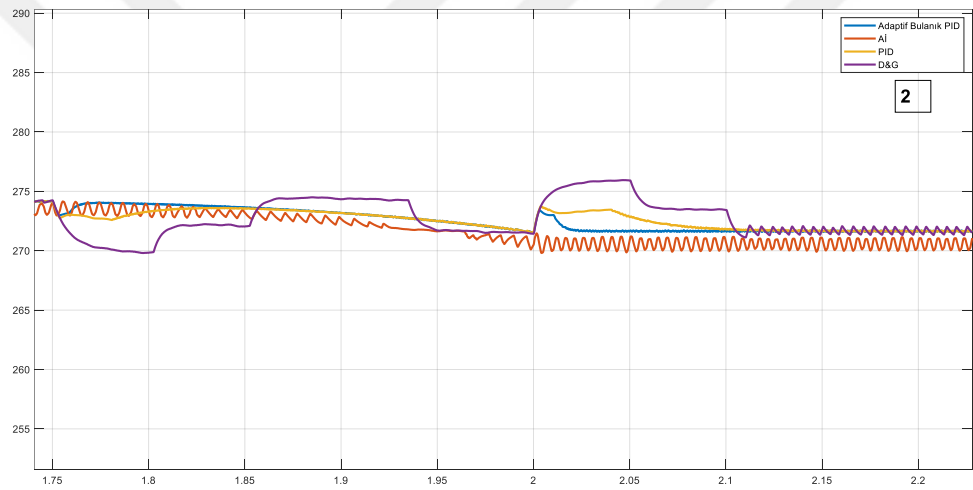
	25 °C		
	1000 W/m ²	500 W/m ²	250 W/m ²
Gerçek (PV panel MGN)	100.725 kW	49.870 kW	24.449 kW
Adaptif Bulanık PID	MGN:100.717 kW Ort. Güç:100.524 kW % oranı:99.99	MGN:49.862 kW Ort. Güç: 49.730 kW % oranı:99.98	MGN:24.436 kW Ort. Güç: 24.282 kW % oranı:99.94
Artan İletkenlik	MGN:100.719 kW Ort. Güç: 100.397 kW % oranı:99.99	MGN:49.867 kW Ort. Güç: 49.823 % oranı:99.99	MGN:24.448 kW Ort. Güç: 24.389 kW % oranı:99.99
Klasik PID	MGN:100.714 kW Ort. Güç: 100.305 kW % oranı:99.98	MGN:49.861 kW Ort. Güç: 49.487 kW % oranı:99.98	MGN:24.435 kW Ort. Güç: 24.042 kW % oranı:99.94
Değiştir & Gözle	MGN:100.711 kW Ort. Güç: 99.956 kW % oranı:99.98	MGN:49.852 kW Ort. Güç: 49.663 kW % oranı:99.96	MGN:24.431 kW Ort. Güç: 24.336 kW % oranı:99.92



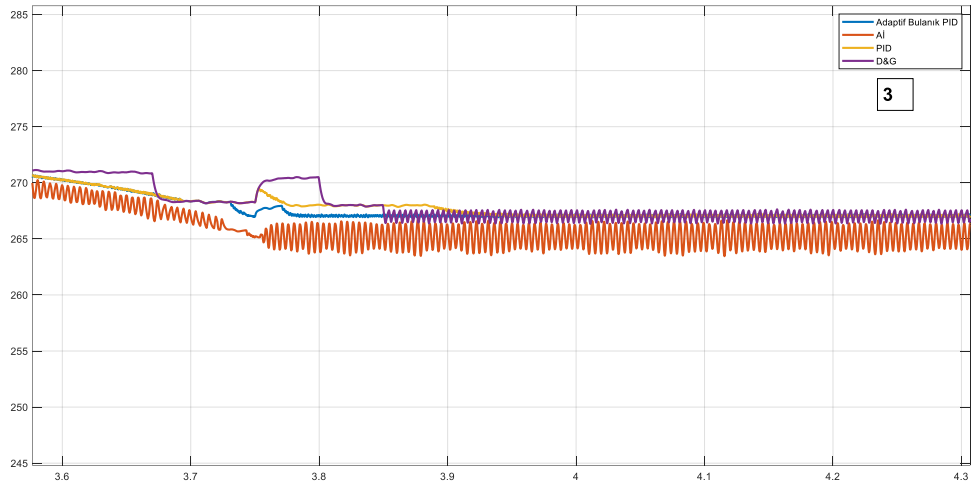
a)



b)



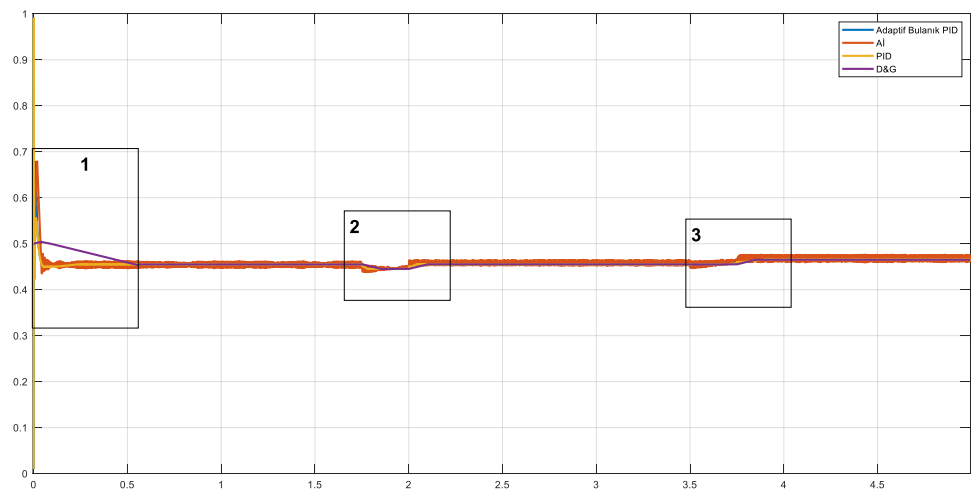
c)



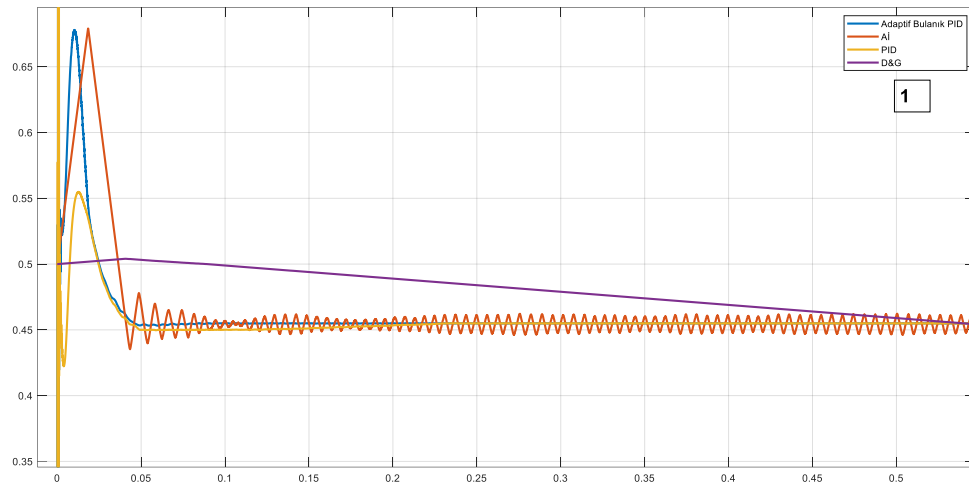
d)

Şekil 4. 6. Benzetim Çalışması 1'in PV gerilim grafiği

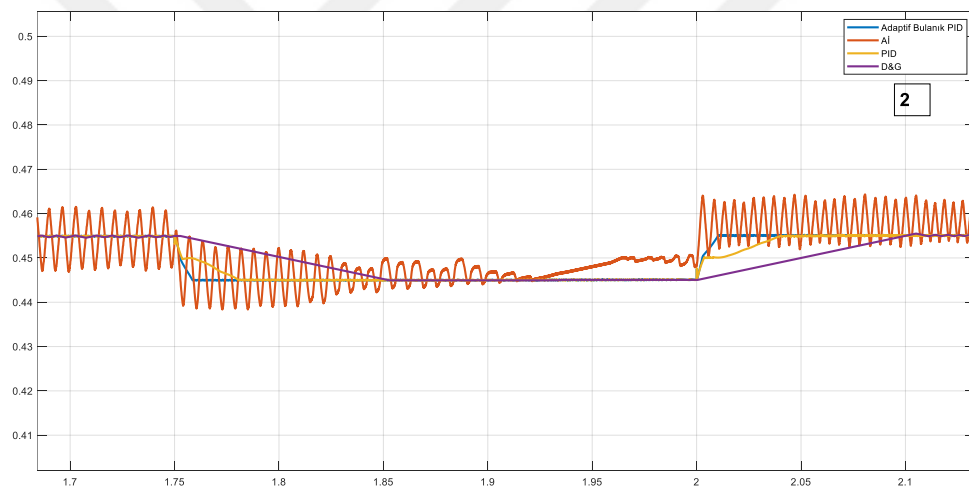
Şekil 4.6 'da PV gerilimi grafiği, Adaptif Bulanık PID yöntemi ile klasik PID, D&G ve AI algoritmalarıyla karşılaştırılmıştır. Diğer yöntemlerin gerilim dalgalanmalarının daha fazla olduğu görülmektedir. Gerilim grafiğinde AI algoritması en çok dalgalanma yapan yöntem olmuştur. Adaptif Bulanık PID yönteminin sabit 25°C sıcaklıktayken 1000 W/m^2 ışıınımda 273.5 V, 500 W/m^2 ışıınımda 270.8 V, 250 W/m^2 ışıınımda ise 265 V değerine ulaşarak SunPower SPR-305E-WHT-D model panelin üretmiş olduğu değerlerine yaklaştığını göstermektedir.



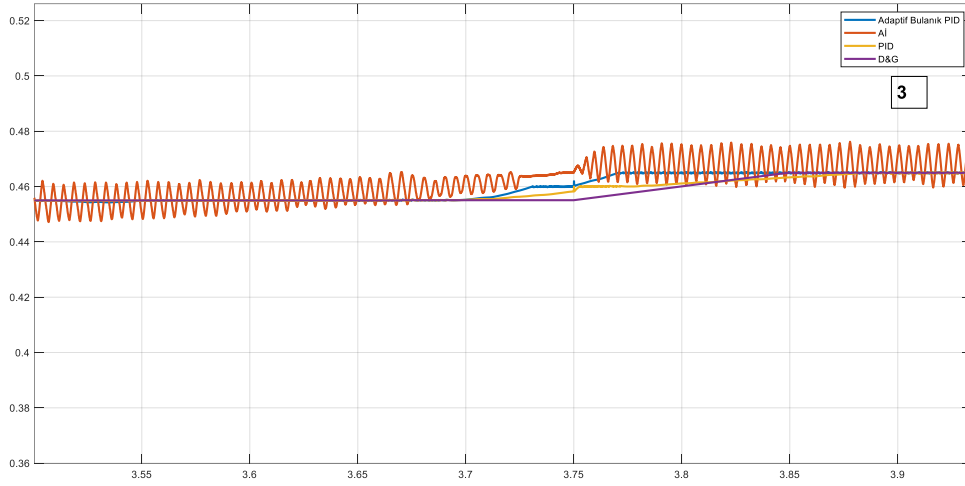
a)



b)



c)



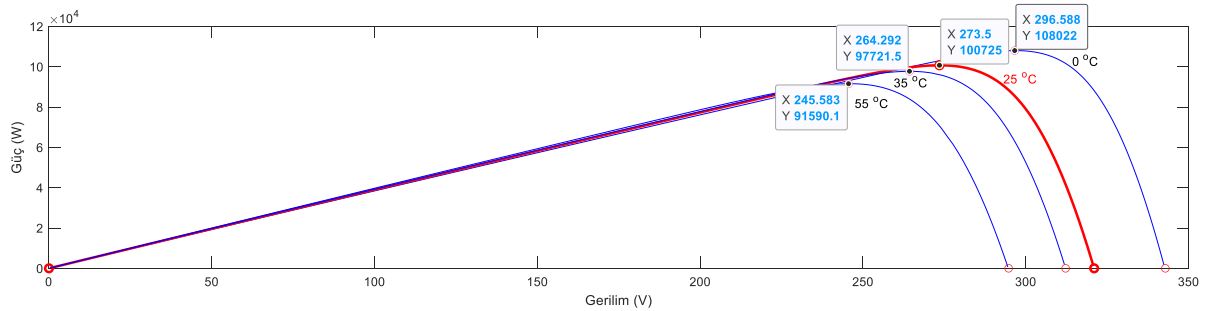
d)

Şekil 4. 7. Benzetim Çalışması 1'in Görev döngüsü grafiği

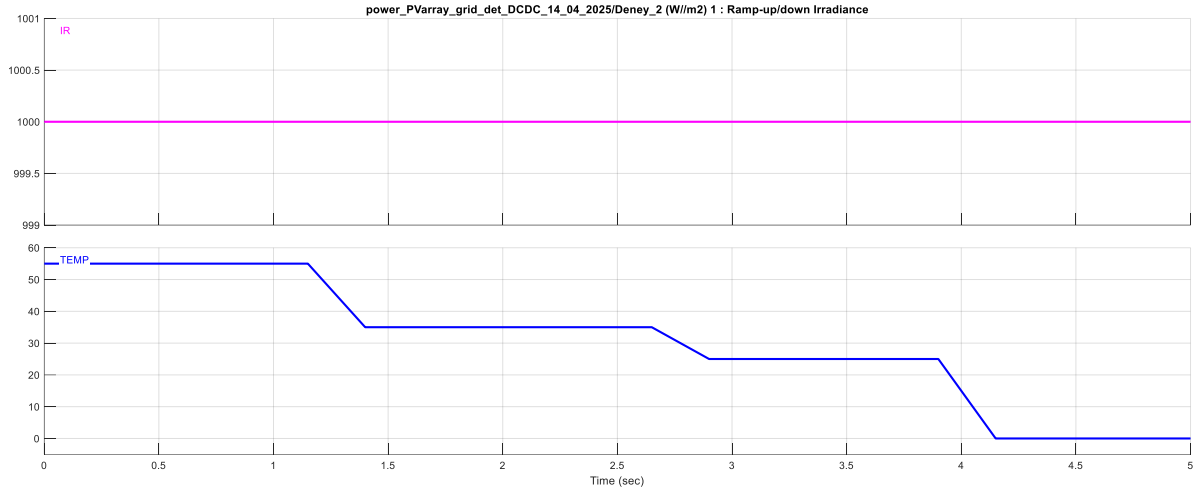
Şekil 4.7' de görev döngüsü grafiği verilmiştir. Burada, AI yönteminin çok fazla dalgalanma yaptığı görülmektedir. AI algoritmasının dalgalanma yapması enerji kayıplarına sebebiyet verecektir. Önerilen yöntem daha az dalgalanma ve salınım yaparak kararlı davranmıştır.

4.2 Benzetim Çalışması 2

Şekil 4.8'de PV dizisi güç-gerilim grafiği gösterilmiştir. Bu grafiğe göre SunPower SPR-305E-WHT-D model panelden oluşan 5 seri ve 66 paralel dizinin sabit 1000 W/m^2 ışınlımdayken 0°C sıcaklıkta 108 kW, 25°C sıcaklıkta 100.7 kW, 35°C sıcaklıkta 97.72 kW ve 55°C 'de 91.59 kW değerlerinde güç üretmiştir. Benzetim Çalışma 2'de 1000 W/m^2 sabit ışınlım altında 55°C , 35°C , 25°C ve 0°C değişken sıcaklık değerlerinde PV çıkış gücü, PV gerilim ve görev döngüsü açısından önerilen yöntem ile klasik PID, D&G ve AI yöntemleri karşılaştırılmıştır.

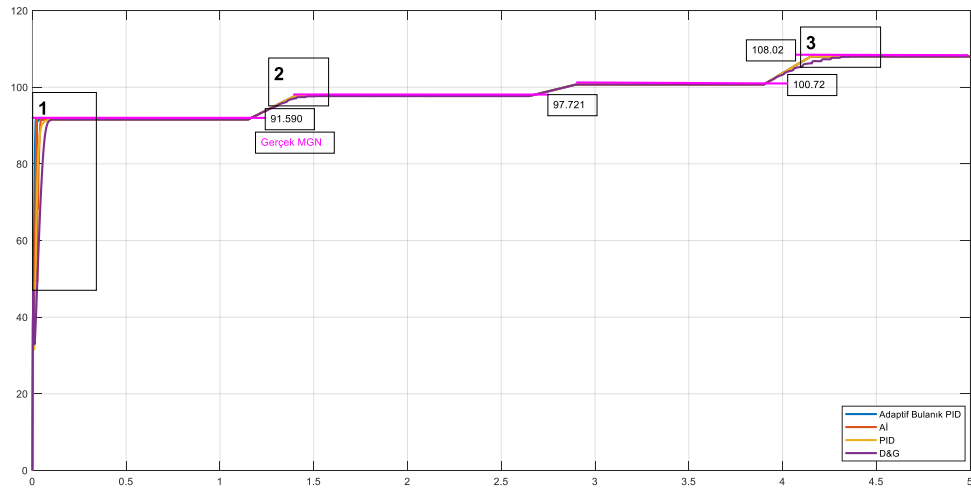


Şekil 4. 8. PV dizisi güç-gerilim grafiği

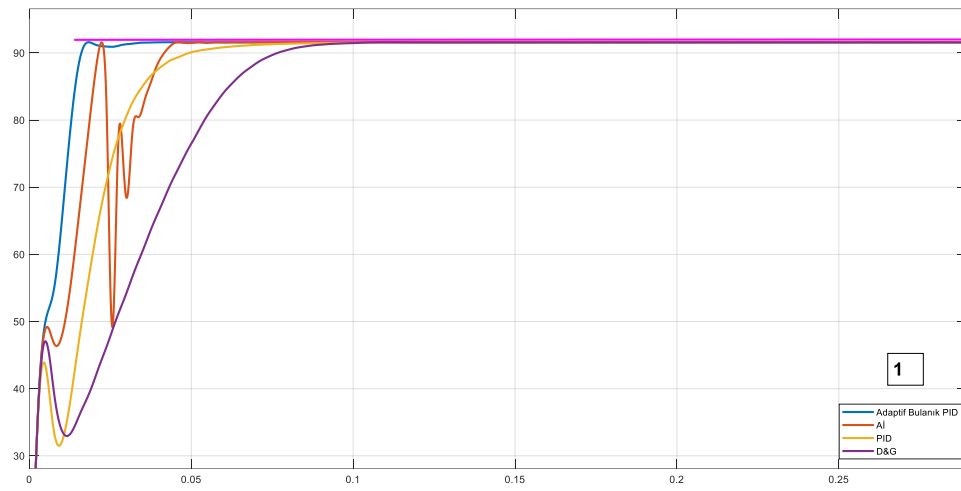


Şekil 4. 9. 1000 W/ m² sabit ışınlm altında 55°C, 35°C, 25°C ve 0°C değışken sıcaklık grafiği

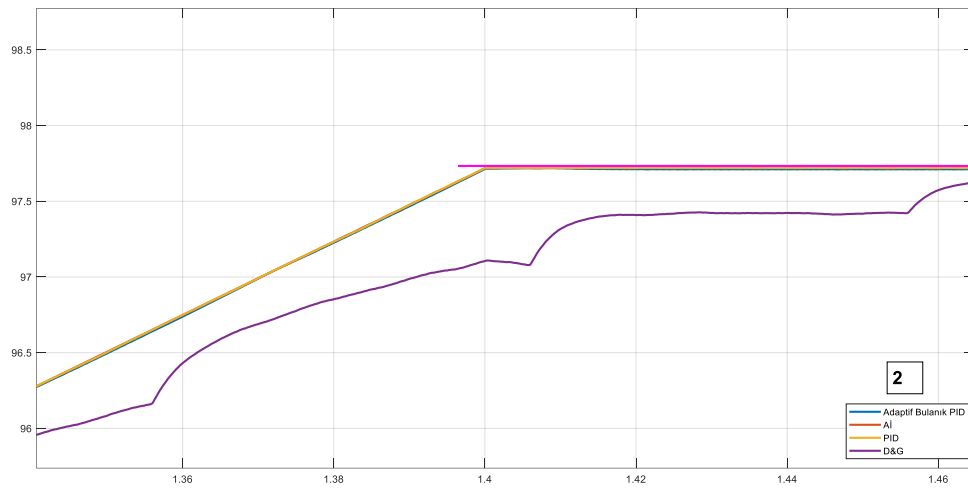
Şekil 4.9’da sıcaklık ve ışınlm değeri verilmiştir. Bu grafiğe göre deneyde elde edilen sonuçlar değeriendirilmiştir.



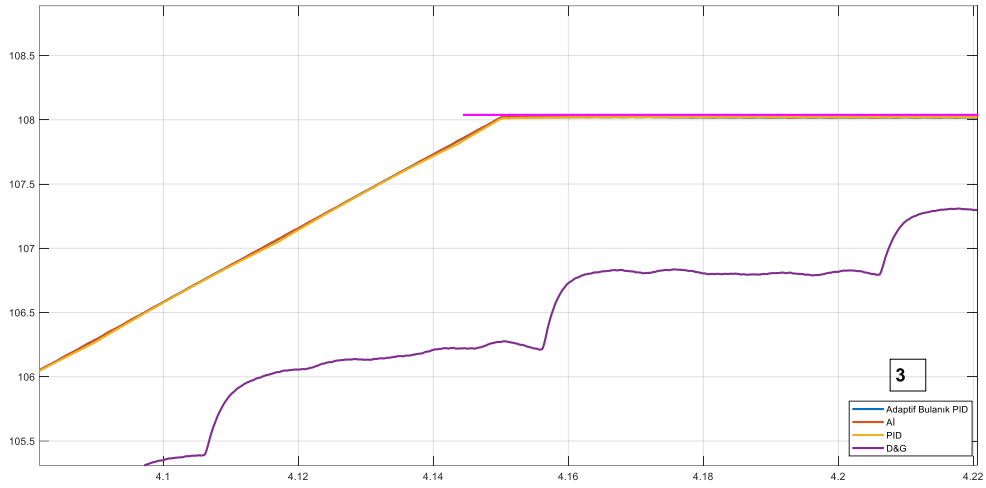
a)



b)



c)



d)

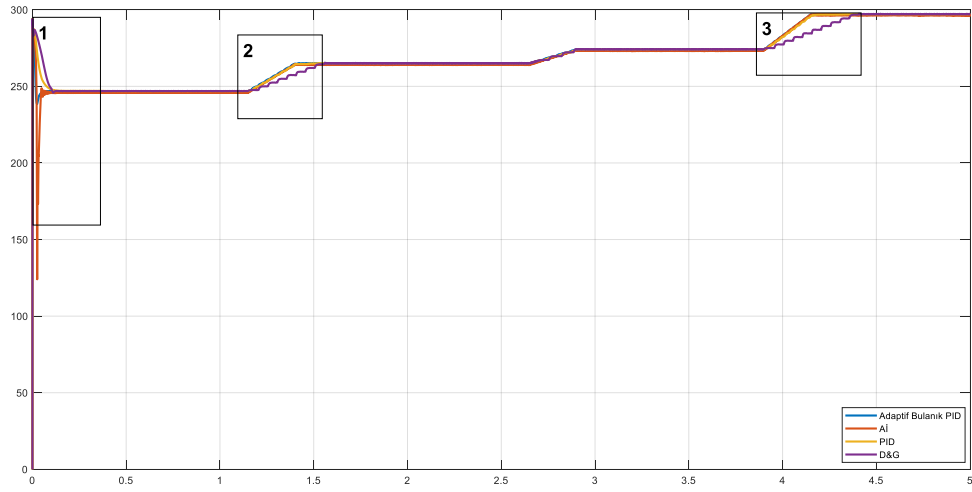
Şekil 4. 10. Benzetim Çalışması 2'nin PV panel çıkış gücü

Şekil 4.10 çıkış gücü grafiğine göre önerilen yöntem salınım yapmadan 91.5 kW değerine ulaşarak devam etmiştir. AI ve D&G algoritmalarının ise salınım yaparak başladığı görülmektedir. 2 ve 3 ile numaralandırılmış kısımlarda D&G yöntemi salınım yapmaktadır.

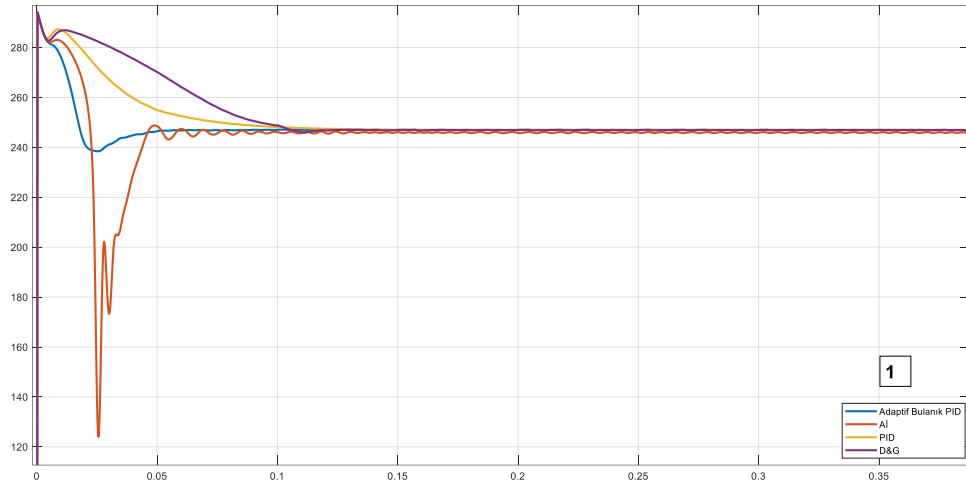
Tablo 4. 3 Benzetim Çalışması 2'den elde edilen sonuçlar tablosu

	1000 W/m ²			
	55 °C	35 °C	25 °C	0 °C
Gerçek (PV Panel MGN)	91.590 kW	97.721 kW	100.72 kW	108.02 kW
Adaptif Bulanık PID	MGN:91.585 Kw Ort. Güç: 91.385 kW % oranı:99.99	MGN:97.711 kW Ort. Güç: 97.527 kW % oranı:99.98	MGN:100.71 kW Ort. Güç:100.524 kW % oranı:99.99	MGN:108.01 kW Ort. Güç: 107.840 kW % oranı:99.99
Artan İletkenlik	MGN:91.590 kW Ort. Güç: 91.238 kW % oranı:100	MGN:97.719 kW Ort. Güç: 97.389 kW % oranı:99.99	MGN:100.72 kW Ort. Güç:100.397 kW % oranı:100	MGN:108.01 kW Ort. Güç: 107.708 kW & oranı:99.99
Klasik PID	MGN:91.573 kW Ort. Güç: 91.121 kW % oranı:99.98	MGN:97.710 kW Ort. Güç: 97.279 kW % oranı:99.98	MGN:100.71 kW Ort. Güç:100.305 kW % oranı:99.99	MGN:108.01 kW Ort. Güç: 107.651 kW % oranı:99.99
Değiştir & Gözle	MGN:91.572 kW Ort. Güç: 90.821 kW % oranı:99.98	MGN:97.702 kW Ort. Güç: 97.126 kW % oranı:99.98	MGN:100.71 kW Ort. Güç: 99.956 kW % oranı:99.99	MGN:108.01 kW Ort. Güç: 105.956 kW % oranı:99.99

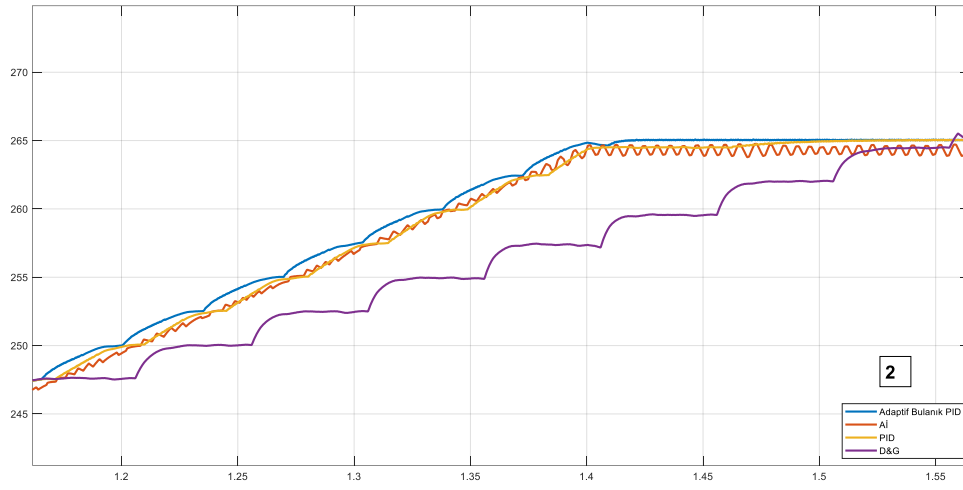
Tablo 4.3'te SunPower SPR-305E-WHT-D model PV panelin ve algoritma yöntemlerinin belli sıcaklık ve ışıınım değerlerinde üretmiş olduğu MGN, ortalama güç ve gerç ek MGN değerine ne kadar yaklaştığını gösteren % oranı verilmiştir.



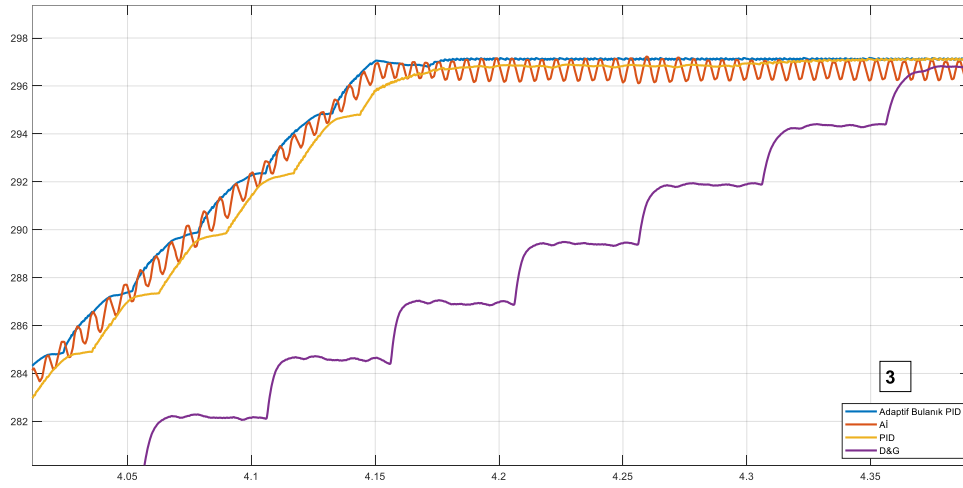
a)



b)



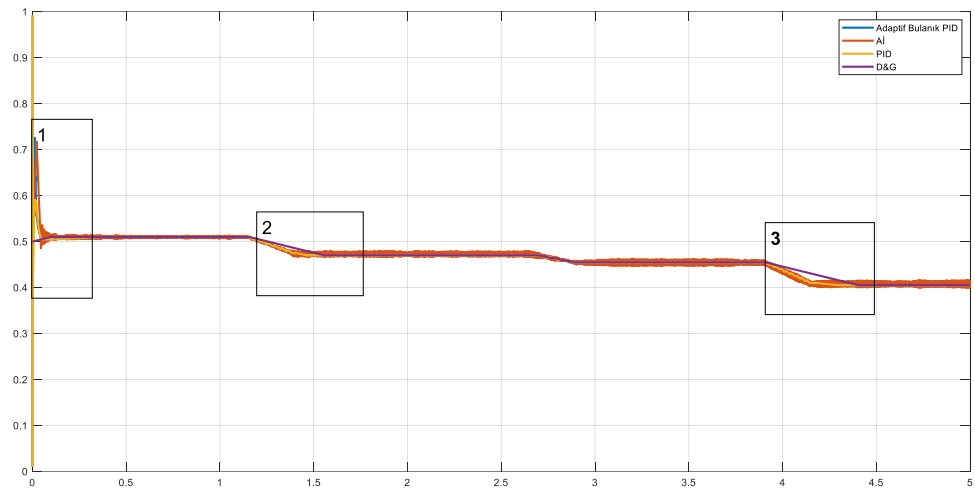
c)



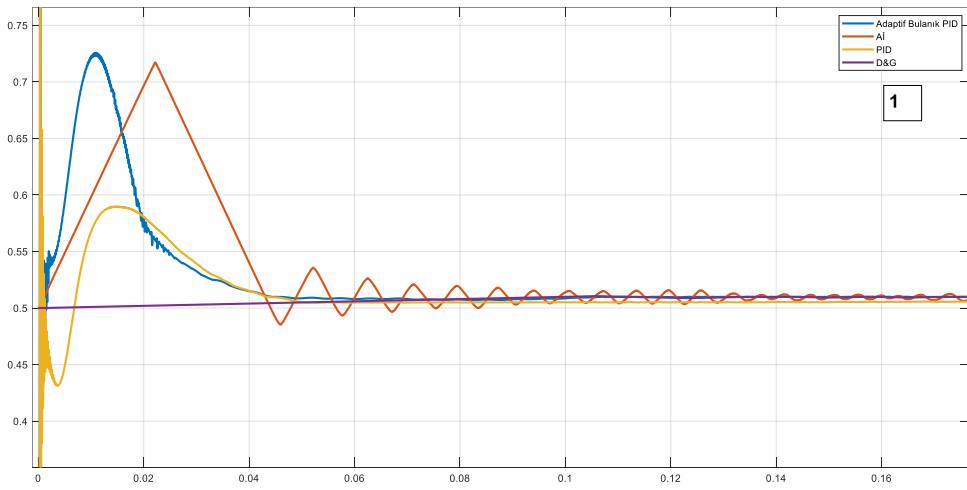
d)

Şekil 4. 11. Benzetim Çalışması 2'nin PV gerilim grafiği

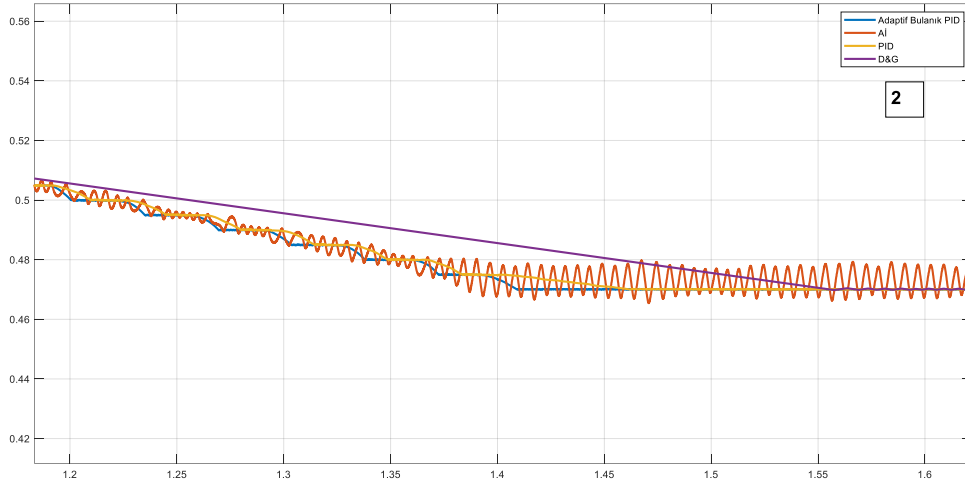
Şekil 4.11'de verilen grafik Benzetim Çalışması 2'den elde edilen gerilim grafiğidir. Burada, Aİ ve D&G algoritmaları çok fazla dalgalanma yapmıştır. D&G algoritması 2 ve 3 numaralı kısımlarda salınım yaparak yavaş kalmıştır. Önerilen yöntemin hızlı olması ve en az dalgalanma yapmasıyla en iyi sonuç verdiği görülmektedir.



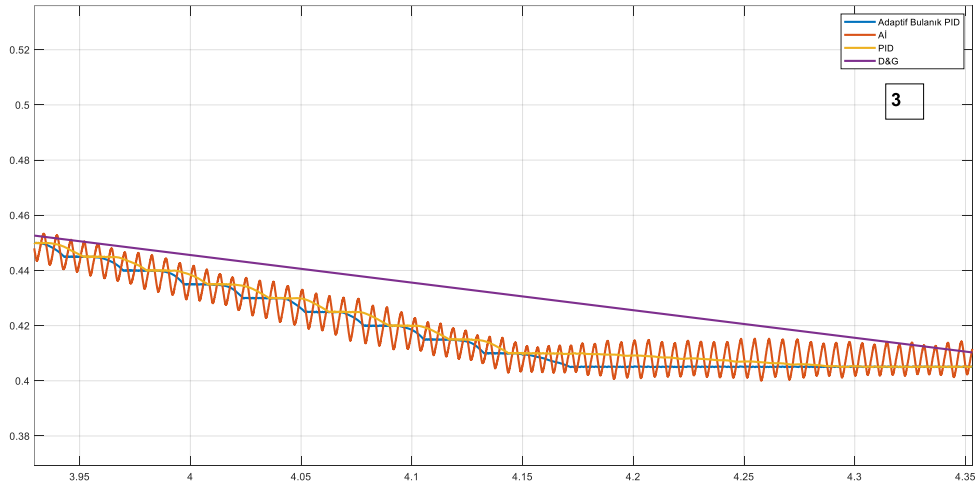
a)



b)



c)



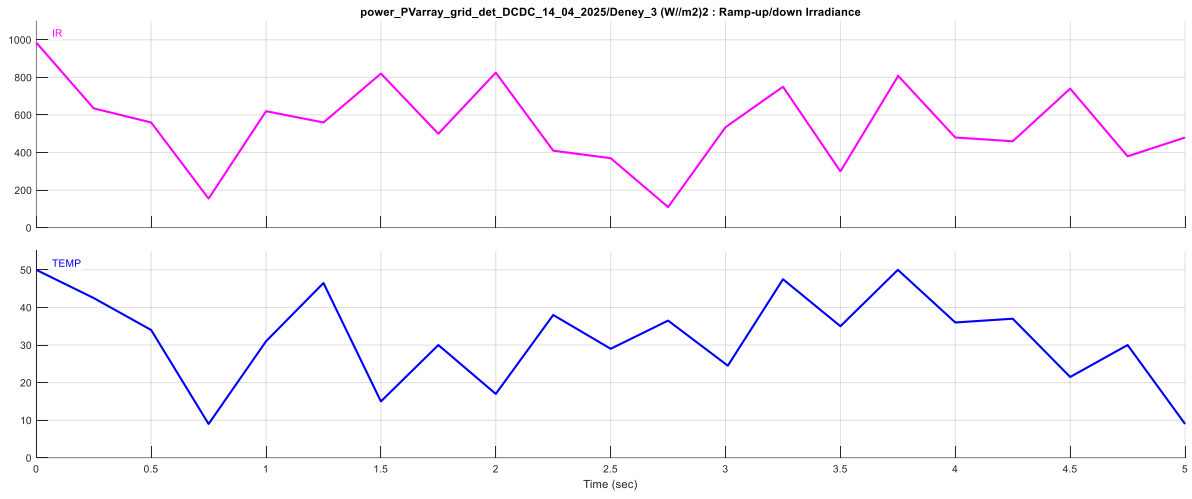
d)

Şekil 4. 12. Benzetim Çalışması 2'nin Görev döngüsü grafiği

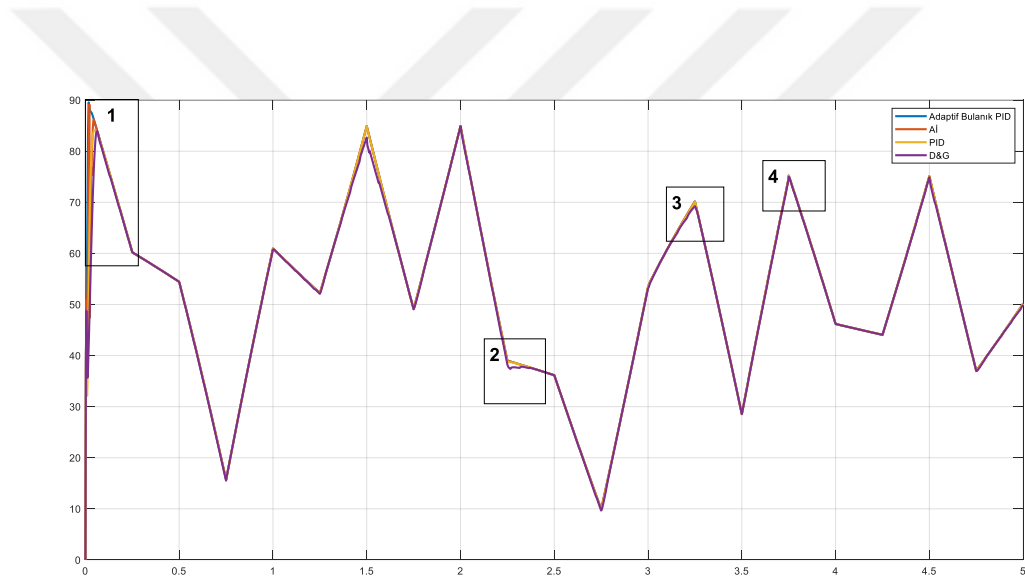
Şekil 4.12'de verilen Benzetim Çalışması 2'nin görev döngüsünde en çok dalgalanma yapan Aİ algoritması olmuştur.

4.3 Benzetim Çalışması 3

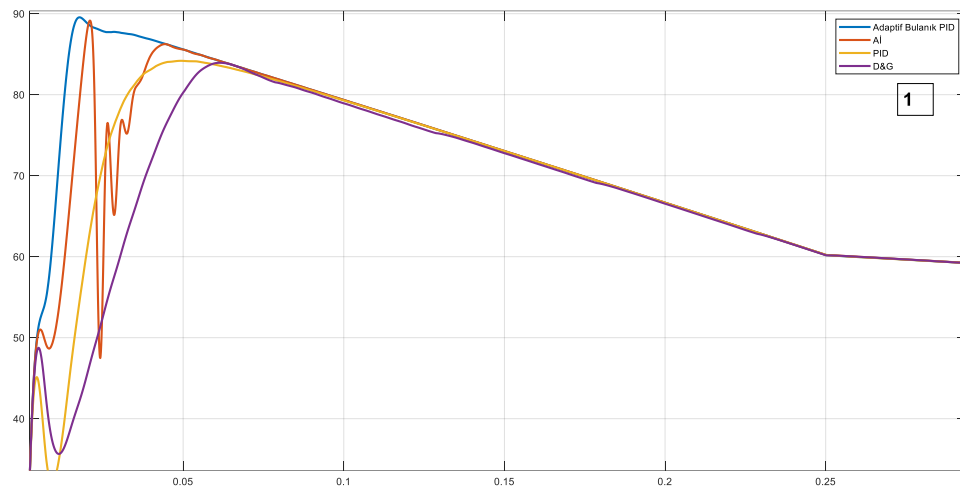
Benzetim Çalışması 3'te PV panelin farklı iklim koşulları altında çalışmasını incelemek için giriş olarak farklı sıcaklık ve ışıınım değerleri uygulanmıştır. Burada farklı ışıınım ve sıcaklık değerleri altında PV çıkış gücü, çıkış gerilimi ve görev döngüsü önerilen yöntem ile klasik PID, D&G ve Aİ yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.13'te farklı ışıınım ve sıcaklık değerleri görülmektedir.



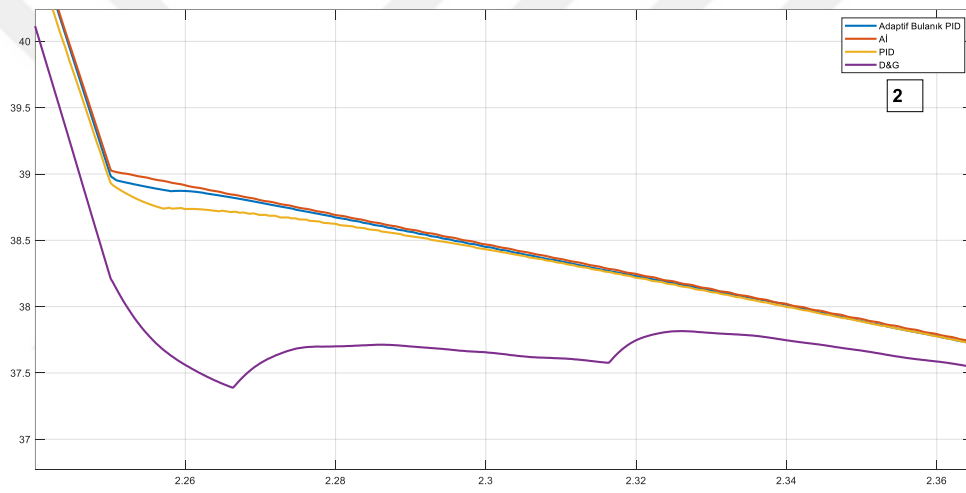
Şekil 4. 13. Benzetim Çalışması 3'ün farklı ışınlım ve sıcaklık grafikleri



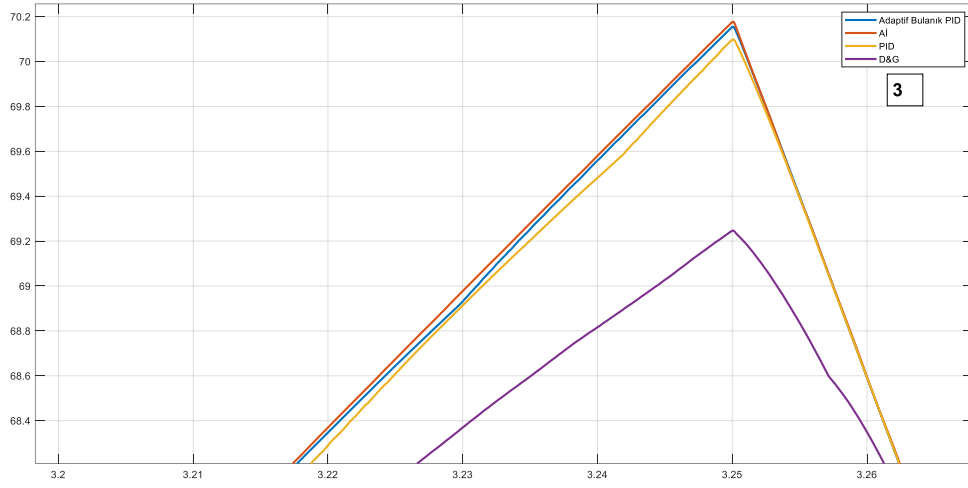
a)



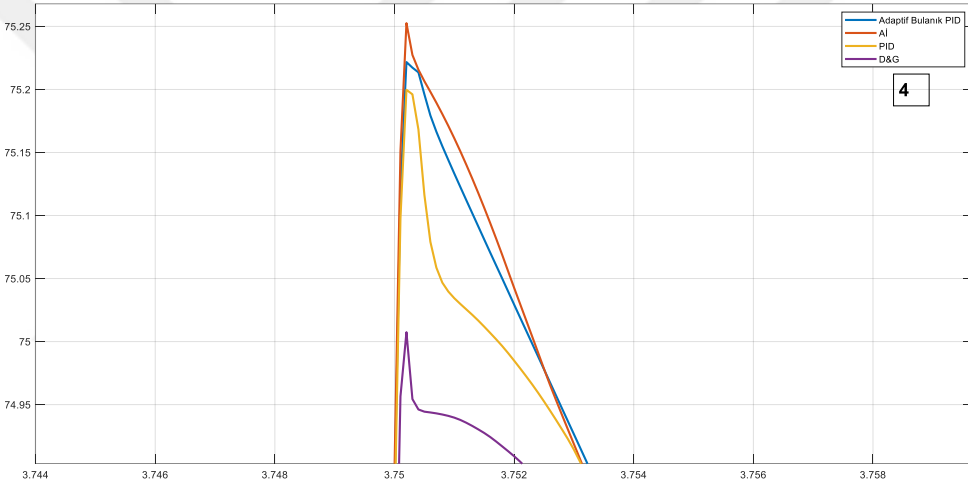
b)



c)



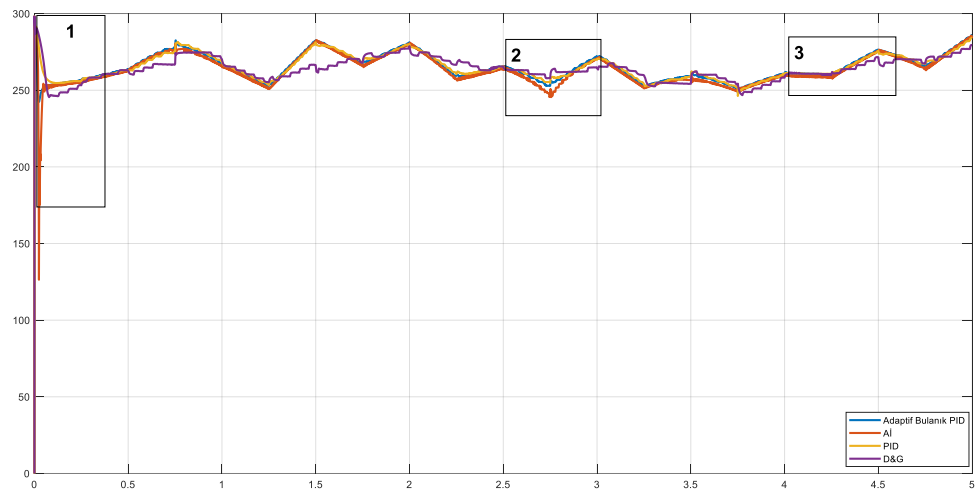
d)



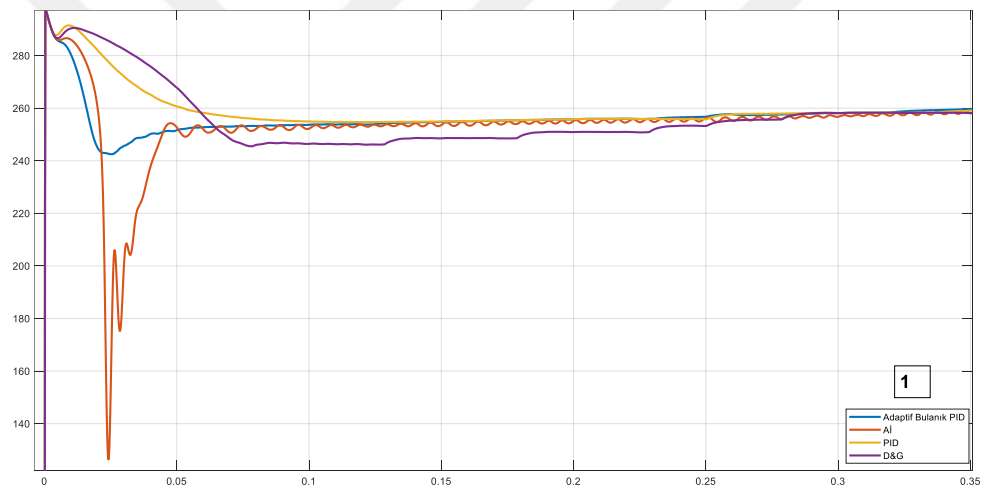
e)

Şekil 4. 14. Benzetim Çalışması 3'ün PV panel çıkış gücü

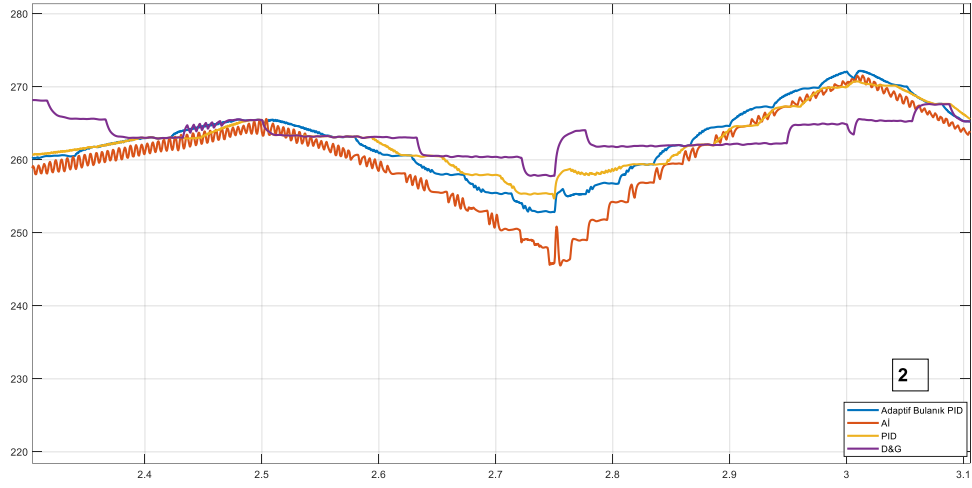
Şekil 4.14'te Benzetim Çalışması 3'ün PV çıkış gücü grafiği verilmiştir. Burada 1 numaralı kısımda görüldüğü gibi klasik PID, D&G ve AI algoritmaları geç tutunarak salınım yaparken Adaptif Bulanık PID yöntemi ise fazla salınım yapmadan hızlı tutunarak devam ettiği görülmektedir. D&G algoritması ani değişimlerde MGN'yi bulmakta yavaş kalmıştır.



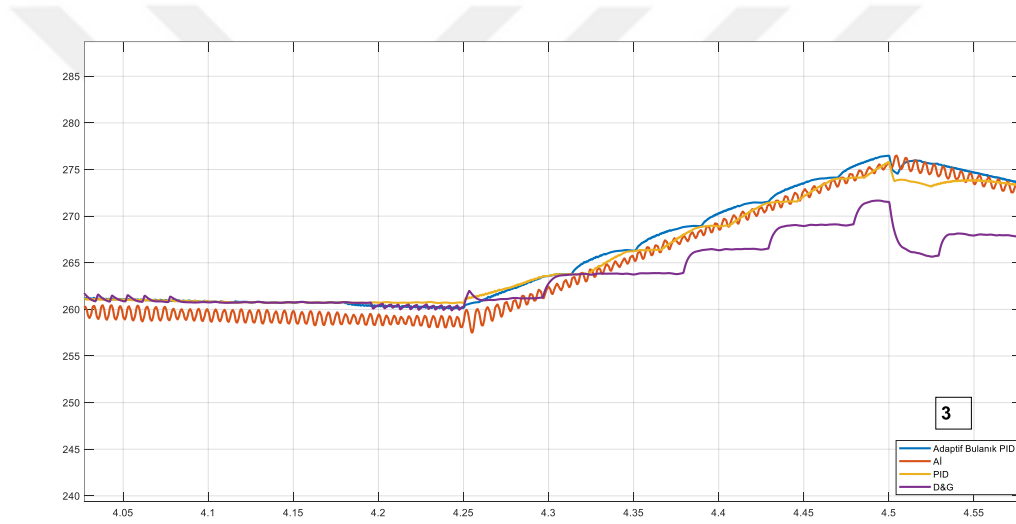
a)



b)



c)

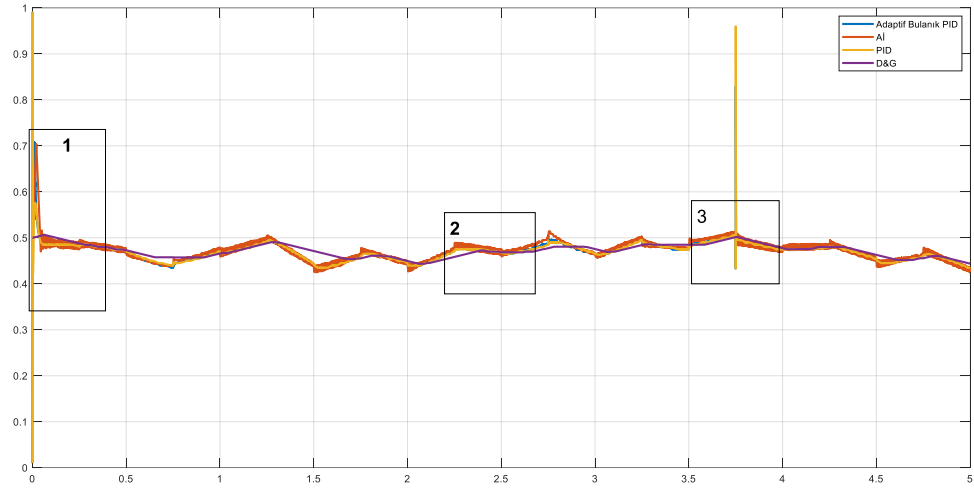


d)

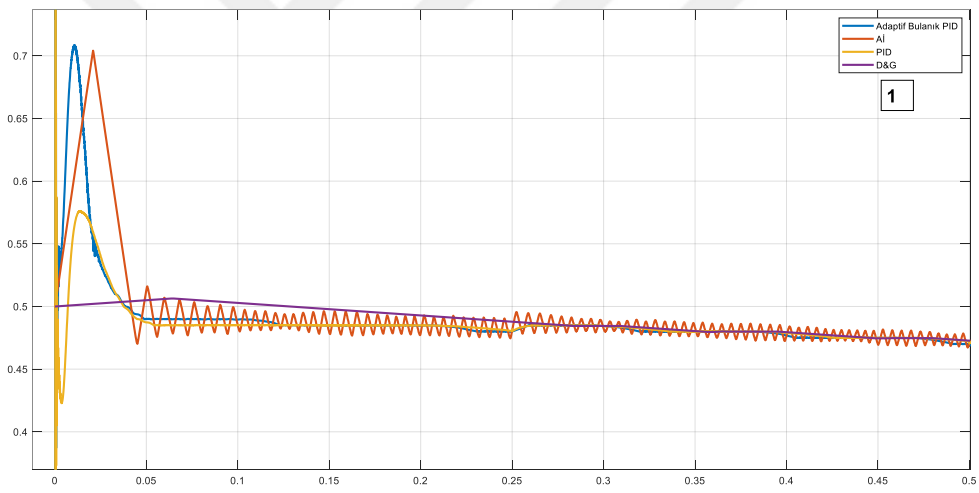
Şekil 4. 15. Benzetim Çalışması 3'ün PV gerilim grafiği

Şekil 4. 15'te Benzetim Çalışması 3'ten elde edilen PV gerilim grafikleri verilmiştir. Burada AI algoritması oldukça fazla dalgalanma yapmıştır. 2 numaralı kısımda D&G algoritması sıcaklığın ve ışıınının değiştiği zamanda salınım yaparak geride kalmıştır. Adaptif Bulanık PID

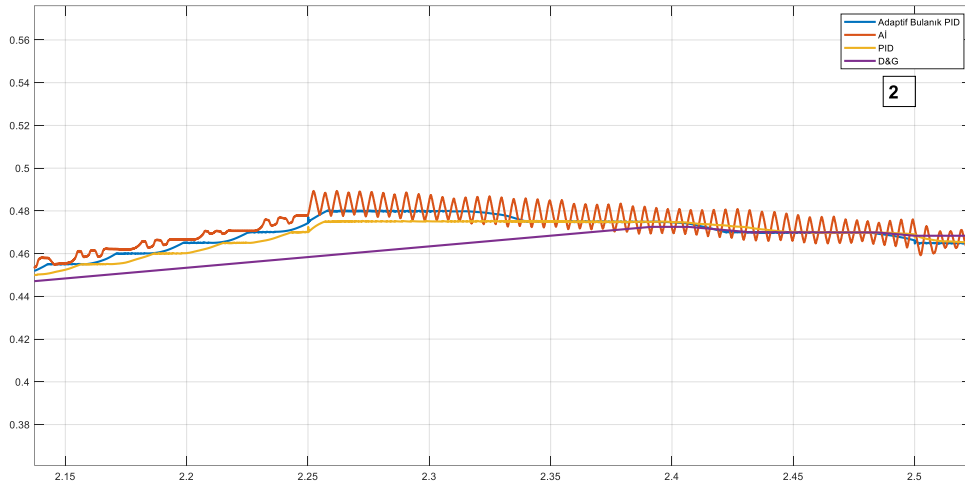
algoritması hızlı bir şekilde MGN gerilim değerine ulaşarak daha sabit kalmıştır.



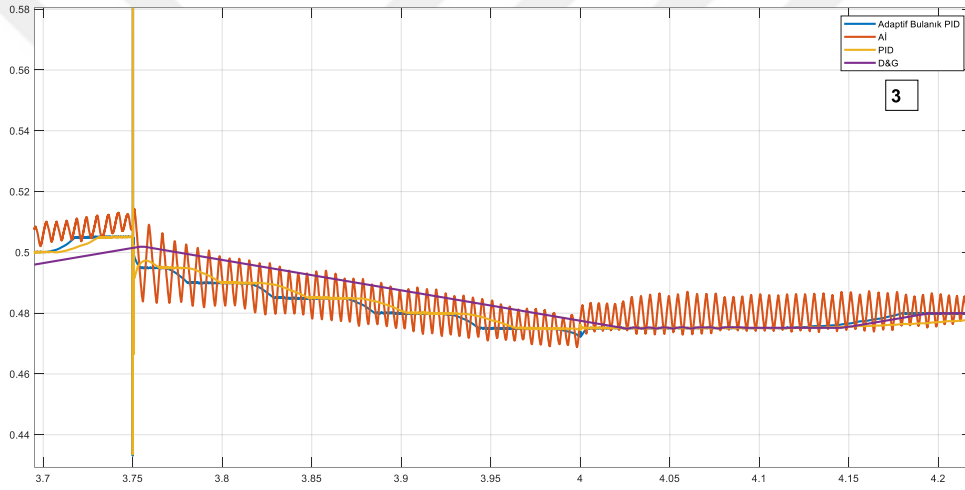
a)



b)



c)



d)

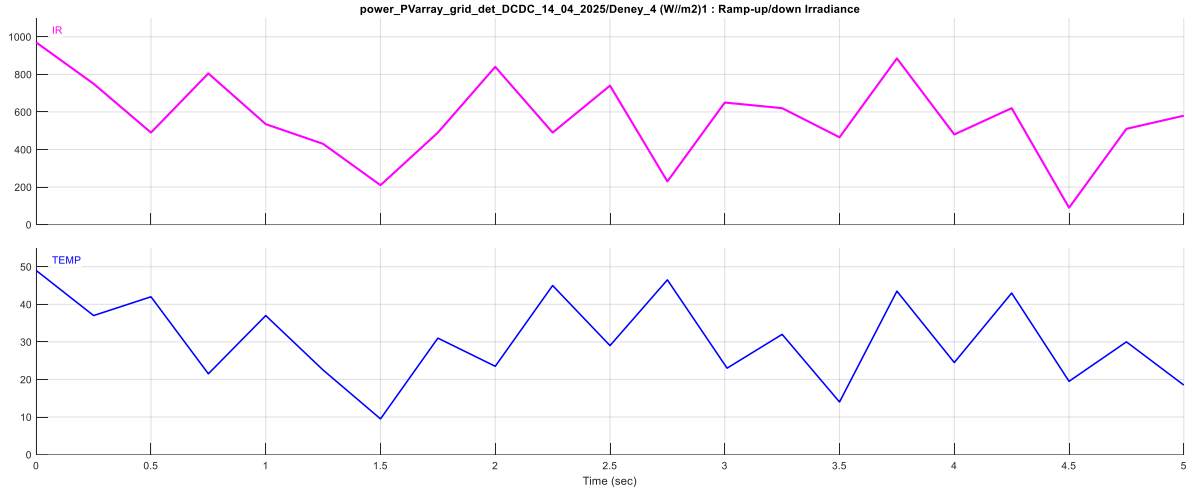
Şekil 4. 16. Benzetim Çalışması 3’ün Görev döngüsü

Şekil 4.16’da Benzetim Çalışması 3’ün görev döngüsü grafikleri verilmiştir. Buna göre en fazla dalgalanma yapan AI algoritması olmuştur. Burada önerilen yöntem farklı sıcaklık ve ısıtım değerlerinde görev döngüsü yönünden minimum seviyede dalgalanma yaparak iyi sonuç vermiştir.

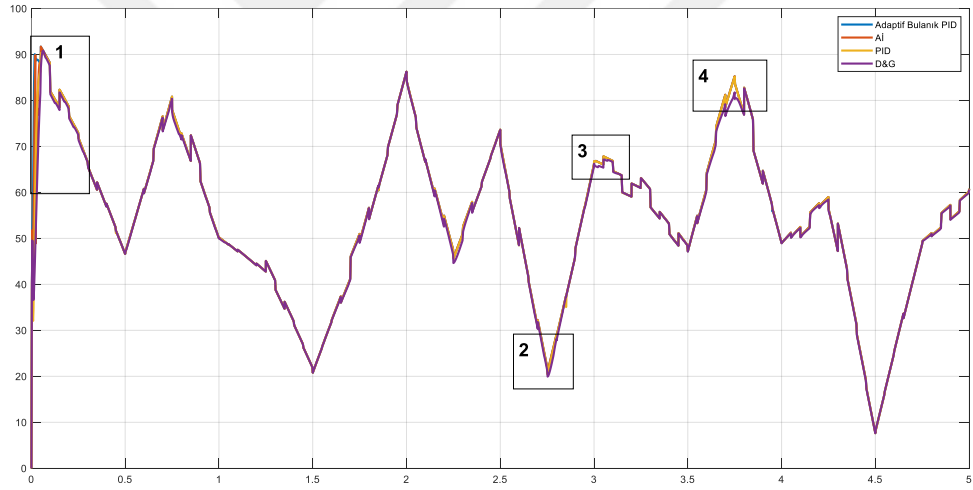
4.4 Benzetim Çalışması 4

Benzetim Çalışması 4’te farklı ısıtım ve sıcaklık değerlerine ek olarak gürültü blokları eklenerek sonuçlar elde edilmiştir. PV çıkış gücü, çıkış gerilimi ve görev döngüsü önerilen yöntem ile klasik PID, D&G ve AI yöntemleri karşılaştırması yapılmıştır. Şekil 4.17’de sıcaklık

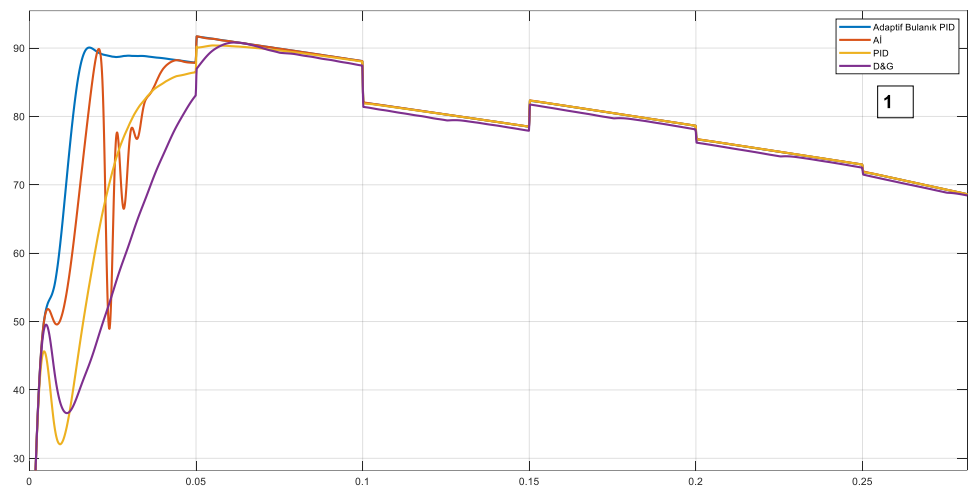
ve ışı nım grafiği verilmiştir. Bu grafiğe göre deney yapılarak sonuçlar grafiksel olarak şekil (4.18), (4.19) ve (4.20)’de verilmiştir.



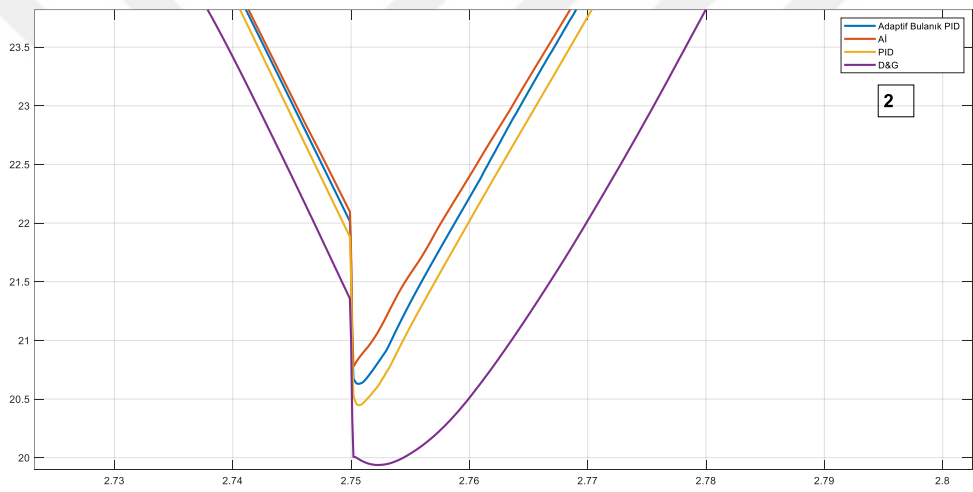
şekil 4. 17. Benzetim alışması 4’n farklı ışı nım ve sıcaklık grafiği



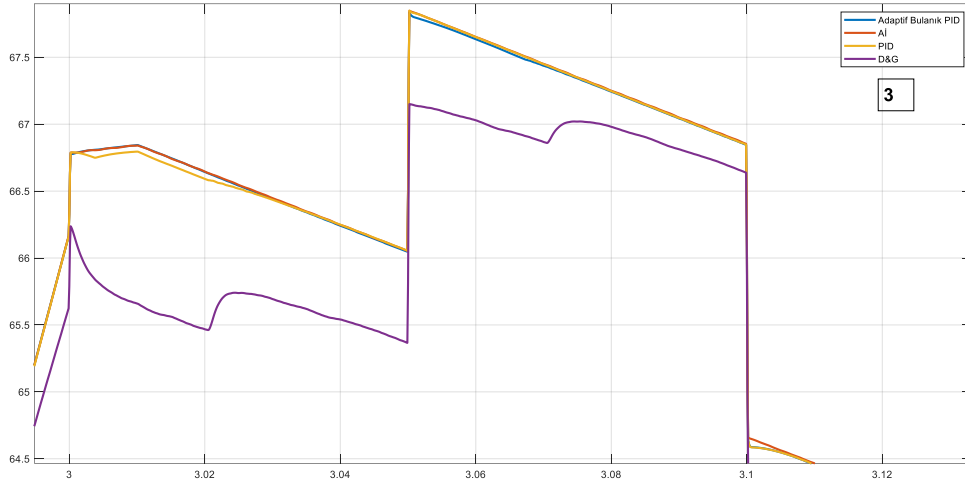
a)



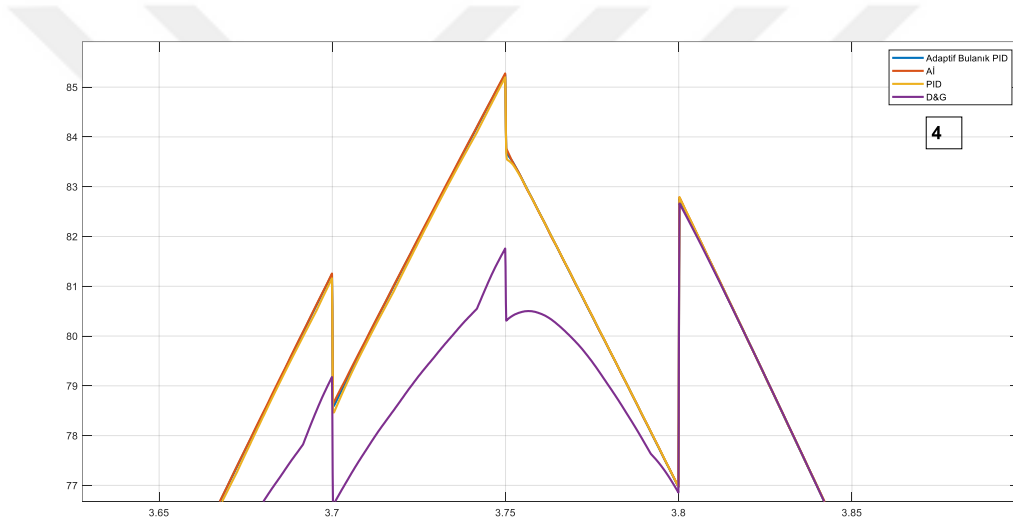
b)



c)



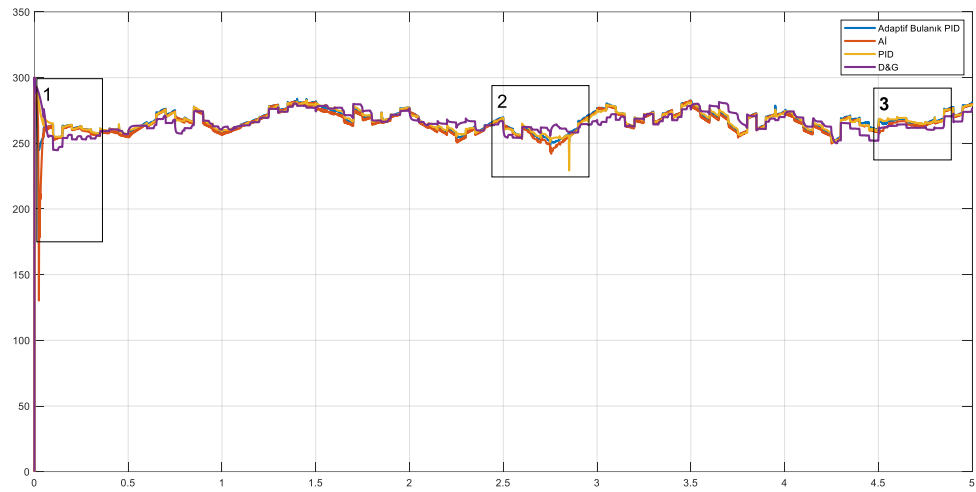
d)



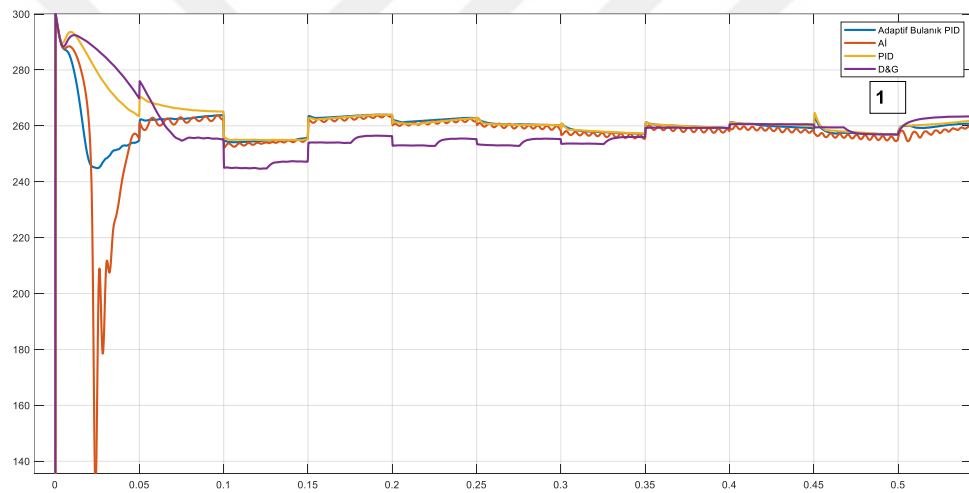
e)

Şekil 4. 18. Benzetim Çalışması 4'ün PV çıkış gücü

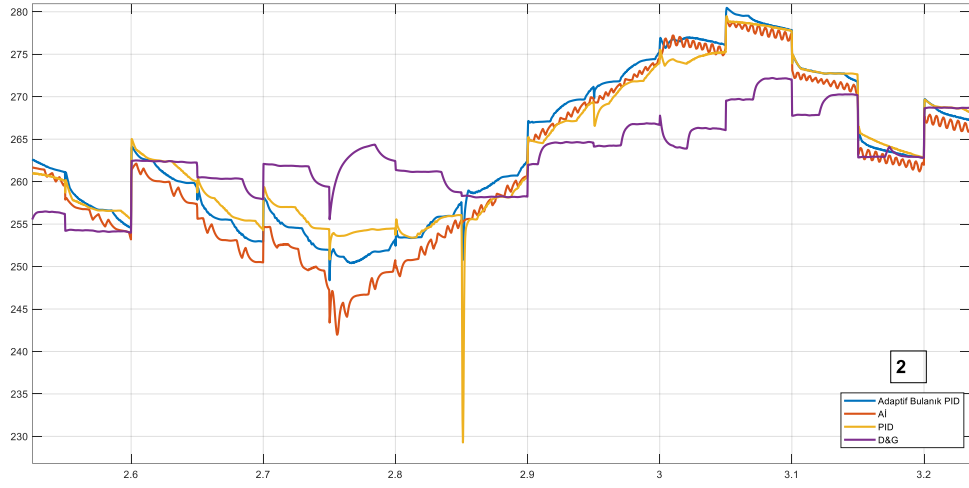
Şekil 4.18' de Benzetim Çalışması 4'ün PV çıkış grafiği verilmiştir. Burada, görüldüğü gibi farklı ışınlam ve sıcaklık altında PV çıkış gücü grafiğinde D&G yöntemi en çok salınım yapan yöntemdir. Sürekli değişen ışınlam ve sıcaklık altında panelin çıkış gücü de sürekli değişkenlik göstermektedir.



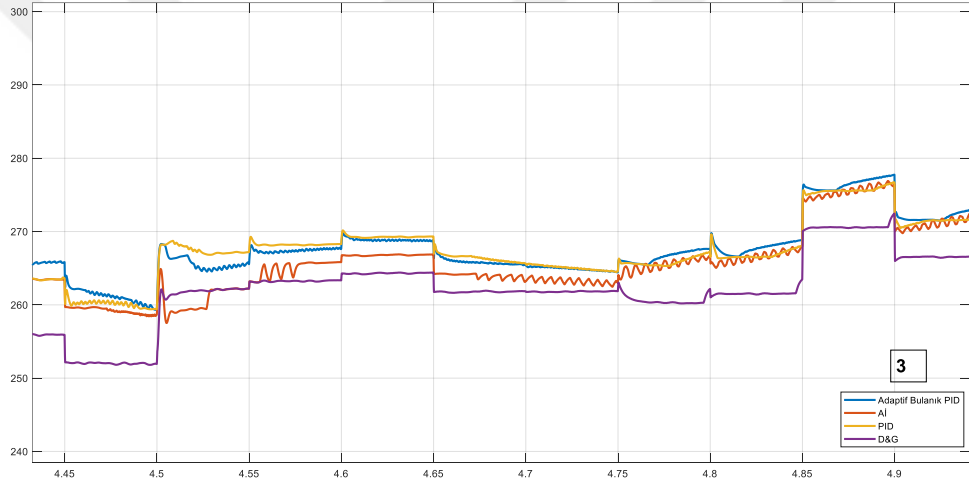
a)



b)



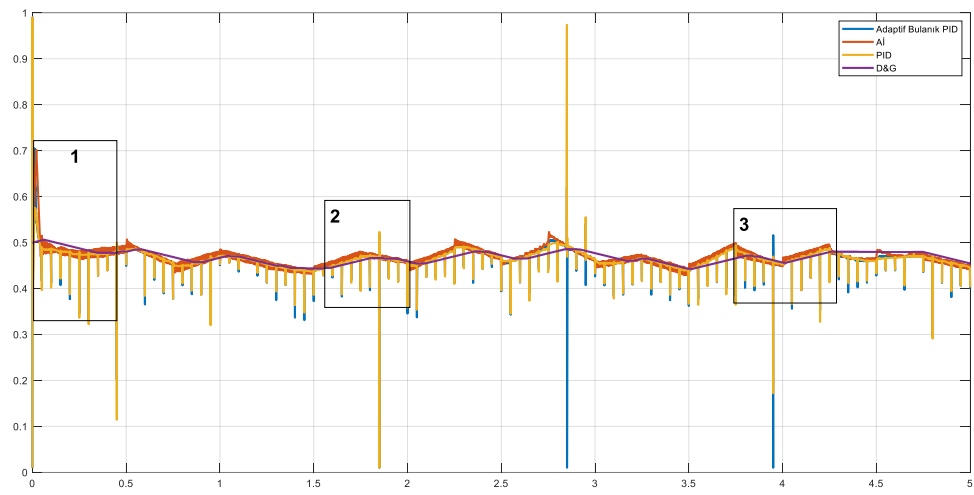
c)



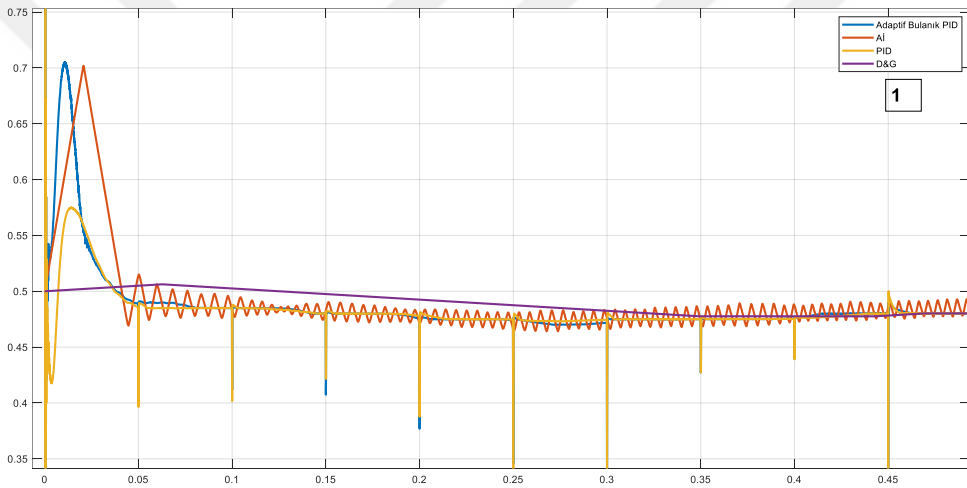
d)

Şekil 4. 19. Benzetim Çalışması 4'ün PV gerilim grafiği

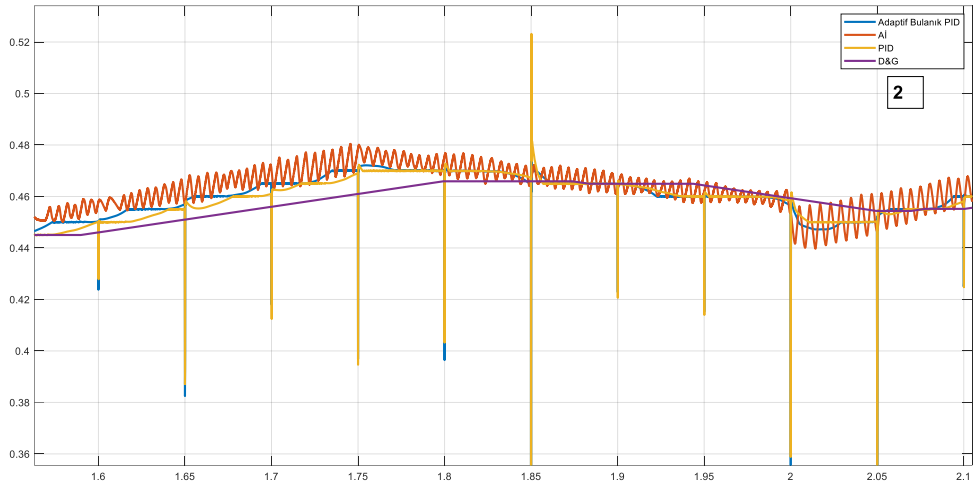
Şekil 4.19'da Benzetim Çalışması 4'ün gerilim grafiği verilmiştir. Buna göre farklı ısıtım ve sıcaklık değerlerinde önerilen yöntemlere göre D&G ve AI yöntemleri çok fazla dalgalanma yapmıştır. Adaptif Bulanık PID algoritmasının az salınımı ile kararlı olduğu görülmektedir.



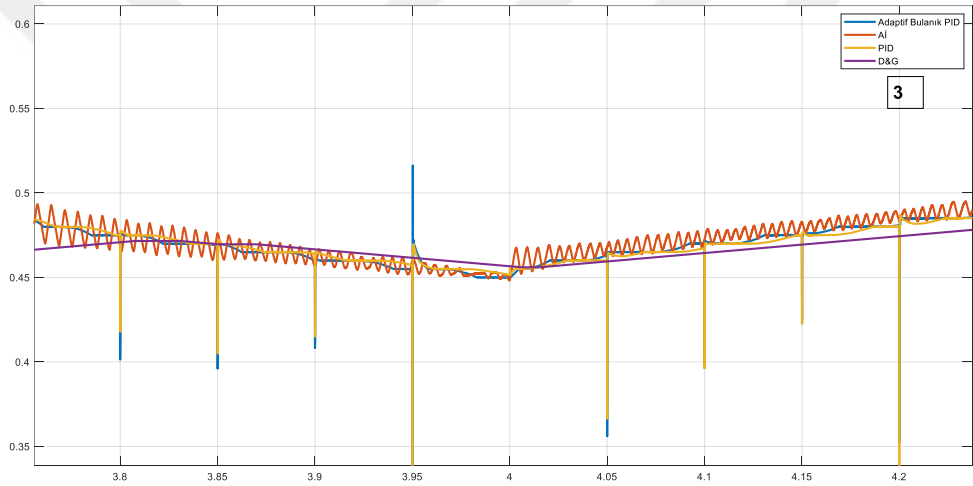
a)



b)



c)

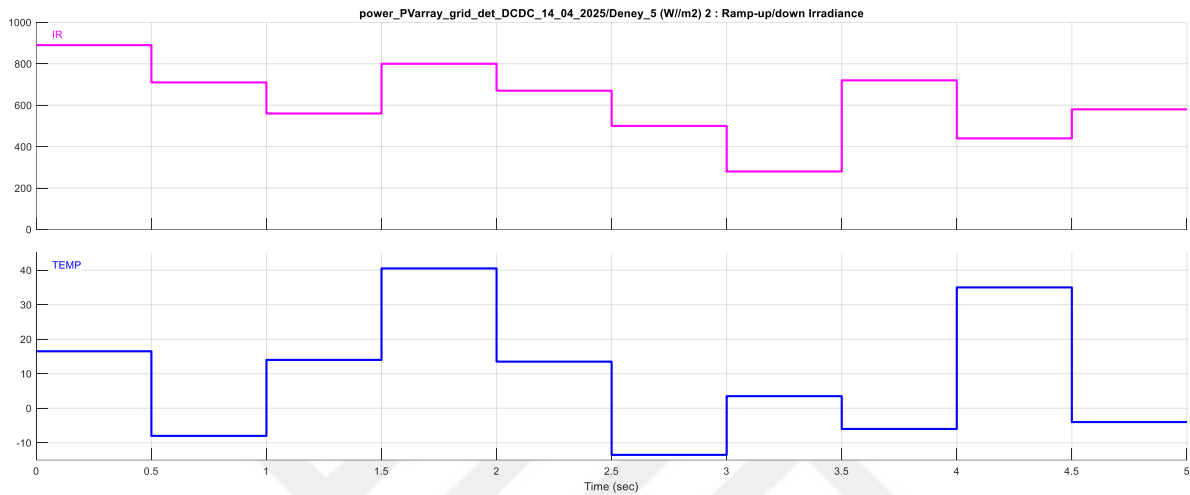


d)

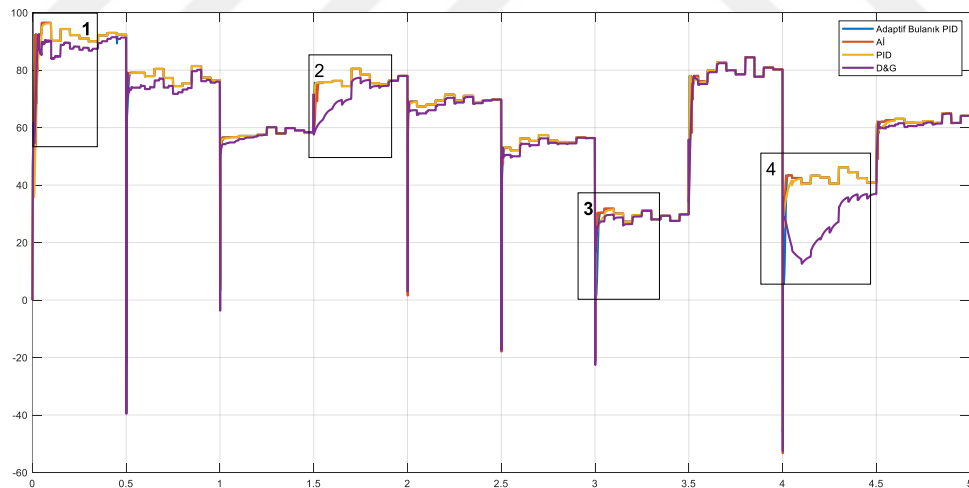
Şekil 4. 20. Benzetim Çalışması 4'ün Görev döngüsü grafiği

Şekil 4.20 Benzetim Çalışması 4'ün görev döngüsü grafiği verilmiştir. Bu benzetim çalışmasında görev döngüsü yönünden Adaptif Bulanık PID yöntemi ile klasik PID, D&G ve Aİ yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntem ile klasik PID yöntemi bu deneyde görev döngüsü yönünden belli aralıklarla salınım yapmasının sebebi deneyde eklenen gürültü bloklarından dolayı sistemin tepki vermesinden kaynaklanmaktadır. Aİ yöntemi ise oldukça fazla dalgalanma yapmıştır.

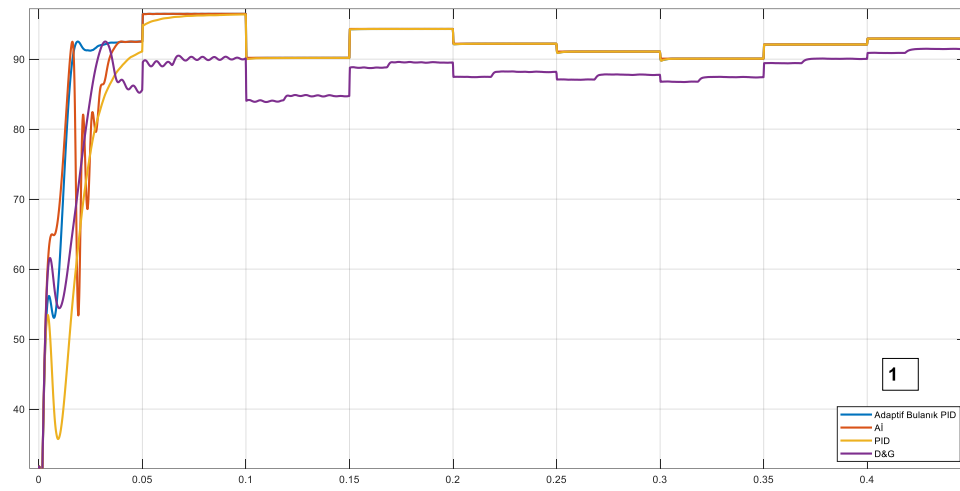
Bu deneyde PV panelin ani sıcaklık ve ışınlım değişimlerinde PV çıkış gücü, gerilimi ve görev döngüsü yönünden uyarlamalı bulanık PID yöntemi ile klasik PID, D&G ve AI algoritmalarıyla karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada, Benzetim Çalışması 4'te olduğu gibi gürültü blokları eklenmiştir. Şekil 4.21'de sıcaklık ve ışınlımın ani değişim grafiği de verilmiştir. Bu grafiğe göre benzetim çalışması yapılarak sonuçların grafikleri Şekil (4.22), (4.23) ve (4.24)'te verilmiştir.



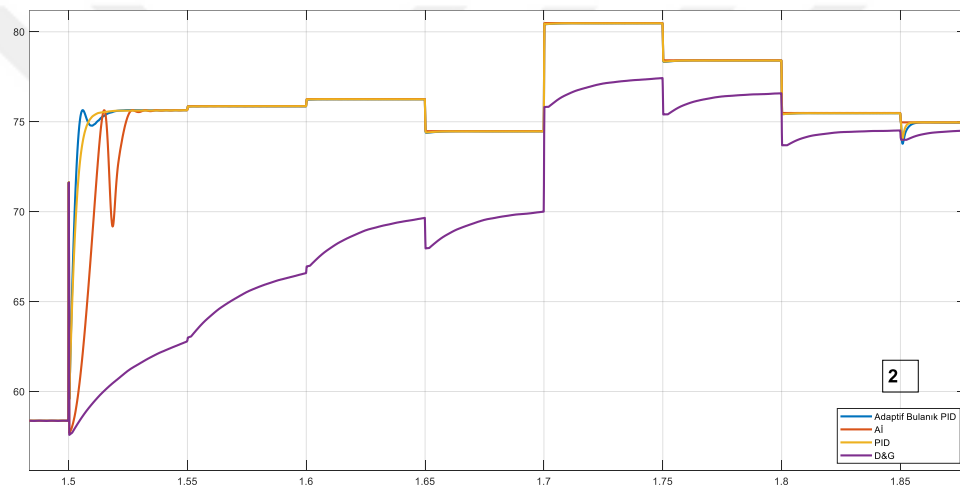
Şekil 4. 21. Benzetim Çalışması 5'in sıcaklık ve ışıınının ani değışim grafiği



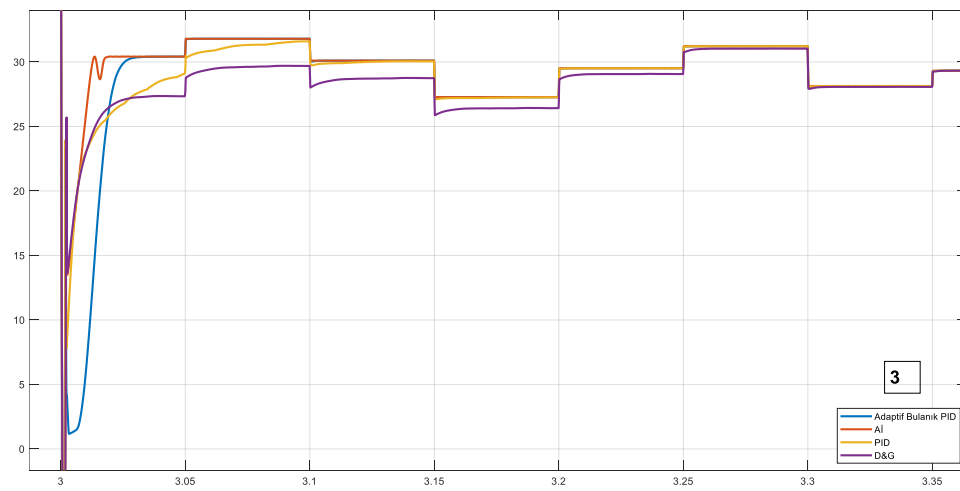
a)



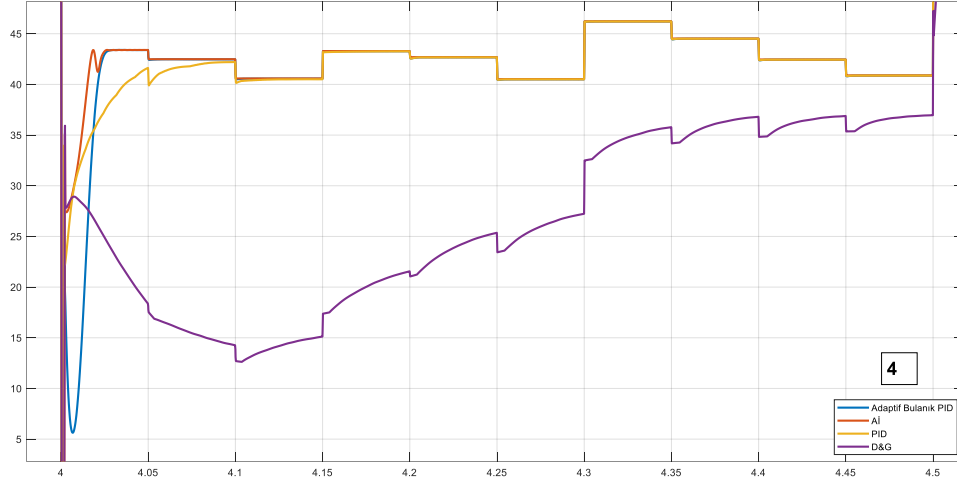
b)



c)



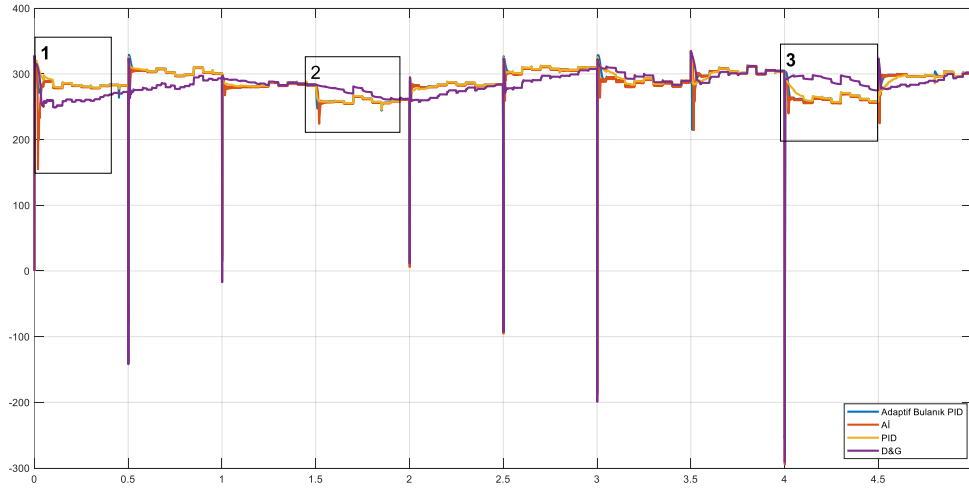
d)



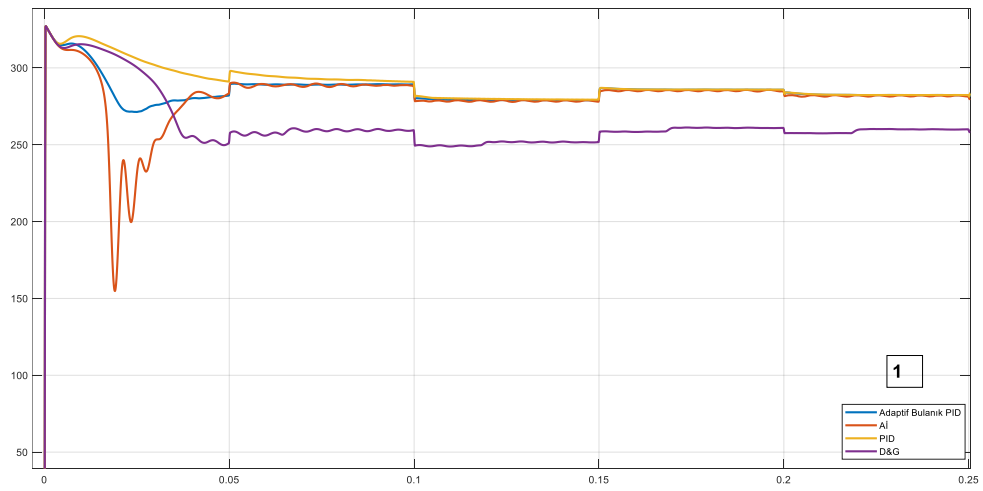
e)

Şekil 4. 22. Benzetim Çalışması 5'in PV çıkış gücü

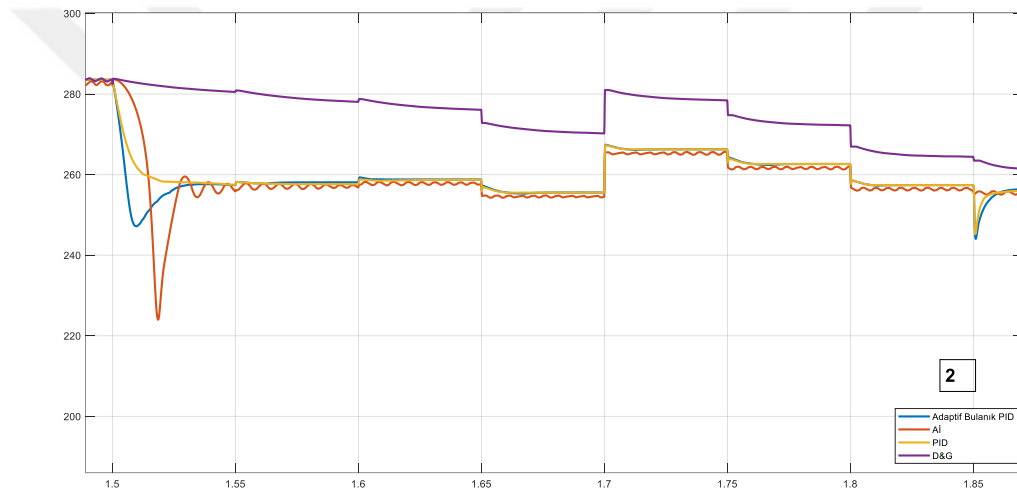
Şekil 4.22 Benzetim Çalışması 5'in PV çıkış gücü grafiğini göstermektedir. Bu deneyde ani ısıtım ve sıcaklık değişimlerinde tüm algoritmaların güç tarafında ani düşüşleri olmaktadır. Ancak ani değişimlerde Adaptif Bulanık PID algoritması MGN bulmak için hızlı davranmıştır. Burada 1 numaralı kısımda AI ve D&G yöntemleri salınım yaparak maksimum güç noktasına ulaşmada yavaş kalmışlardır.



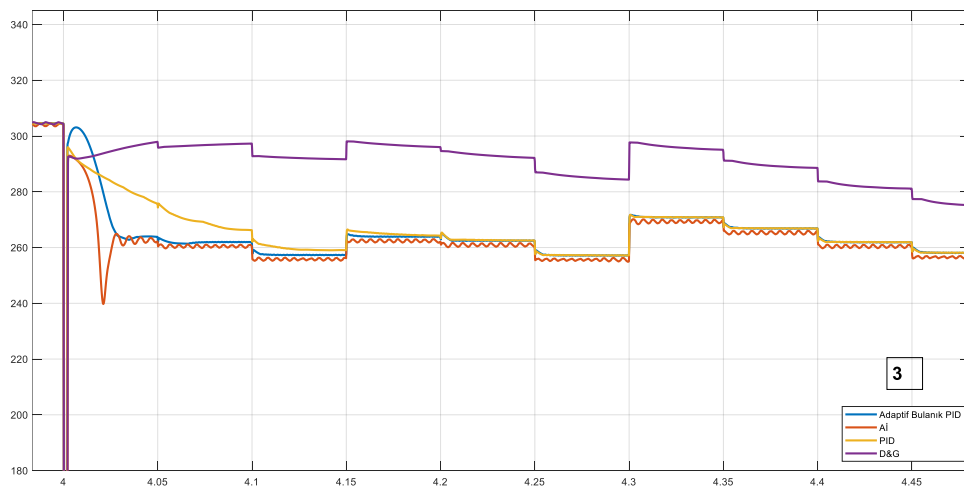
a)



b)



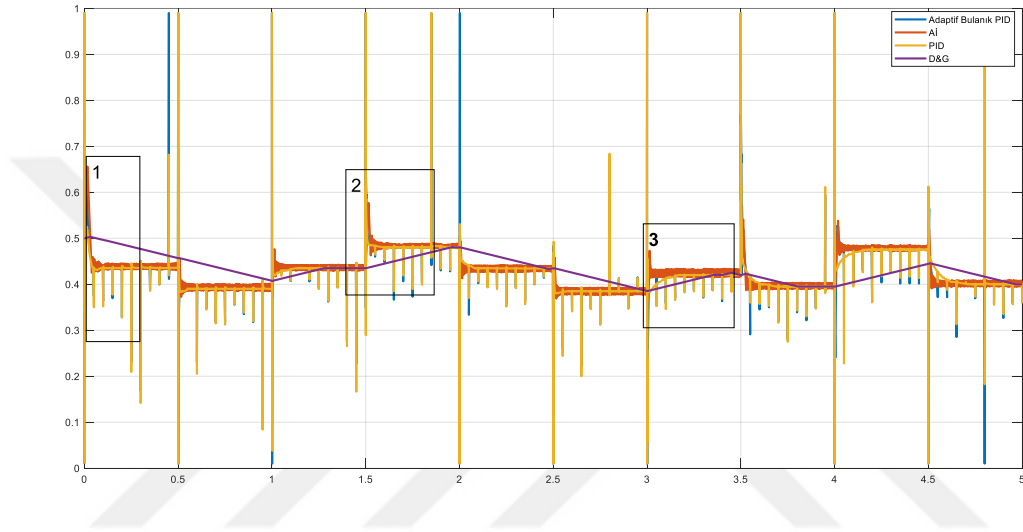
c)



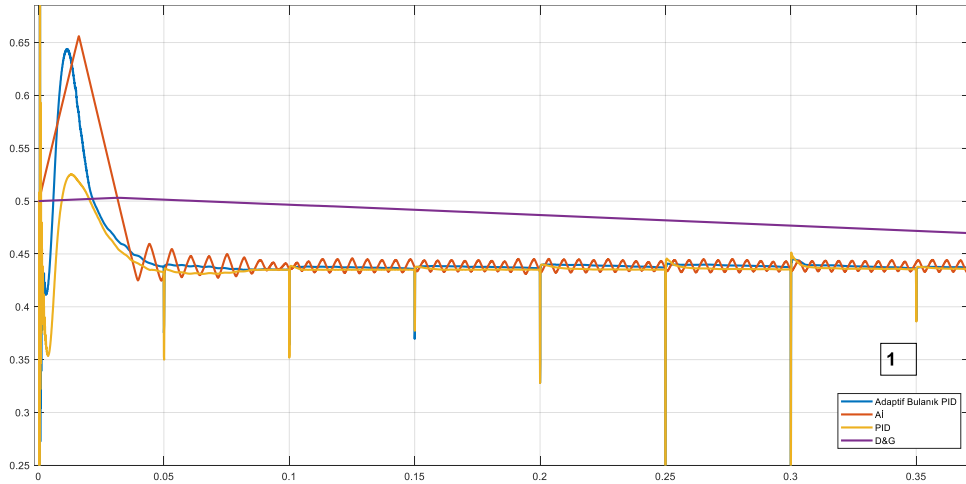
d)

Şekil 4. 23. Benzetim Çalışması 5'in gerilim grafikleri

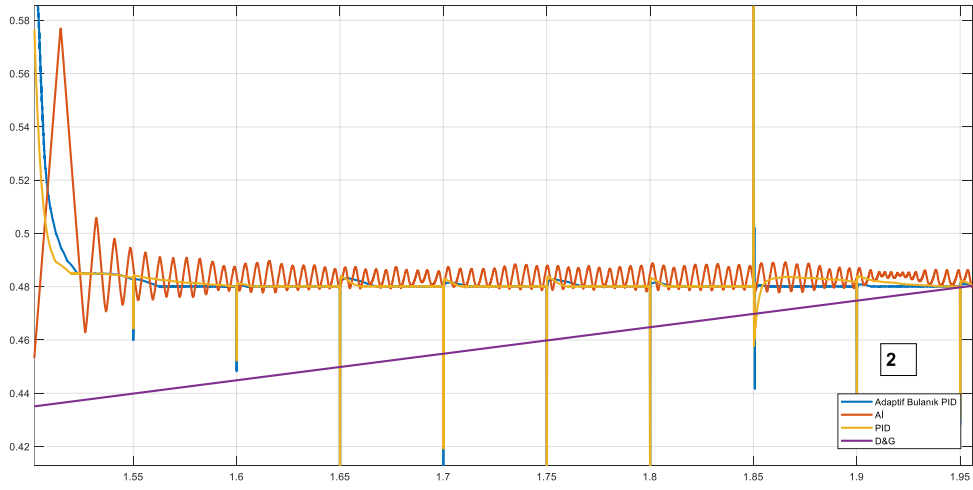
Şekil 4. 23'te Benzetim Çalışması 5'in gerilim grafikleri verilmiştir. Burada D&G algoritmasının ani sıcaklık ve ışıınım değişimlerinde yeni gerilim noktasını bulmakta yavaş kaldığı ve salınımlar yaptığı görülmektedir. 3 numaralı kısımda 3.5s ve 4s aralığında ani ışıınım değişimiyle tüm algoritmalarda tepki oluşmuştur ancak en hızlı davranarak maksimum noktayı bulabilen Adaptif Bulanık PID olmuştur. Diğer yöntemler ani değişimlerde yeniden maksimum noktayı bulmada yavaş kalmıştır.



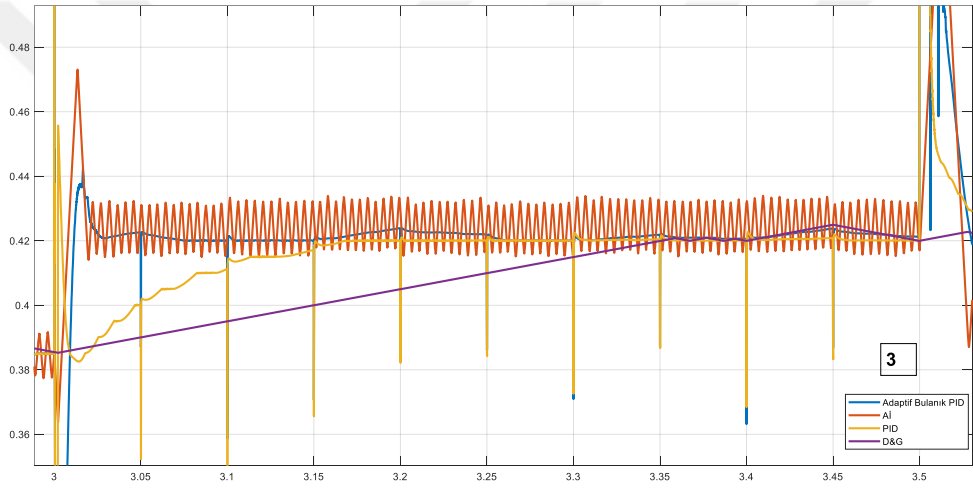
a)



b)



c)



d)

Şekil 4. 24. Benzetim Çalışması 5'in görev döngüsü grafikleri

Şekil 4.24'te Benzetim Çalışması 5'in görev döngüsü grafikleri verilmiştir. Bu deneyde görev döngüsünde gürültü bloklarının etkisiyle salınımlar olmuştur. Ancak bu salınımlar sistemin gürültüye vermiş olduğu tepkiden kaynaklanmaktadır. Burada en fazla dalgalanma AI algoritmasında görülmektedir. Çok fazla dalgalanma enerji kayıplarına neden olmaktadır. Buna göre Adaptif Bulanık PID yöntemi çok az dalgalanma yaptığından verim kaybı minimum seviyede olmuştur.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında PV panellerin maksimum güç noktası takibi için yeni bir algoritma yöntemi önerilmiştir. Geliştirilen algoritmanın temel amacı PV panellerin enerji kayıplarını en aza indirmek ve MGNİ kontrolörün performansını artırmaktır. Önerilen Adaptif Bulanık PID yönteminin seçilmesinin nedeni literatürdeki diğer yöntemlerin zayıf kaldığı noktalarda daha hızlı tepkiler vererek, MGN'sini izleyerek performansını göstermektir. Bu çalışma MATLAB/Simulink ortamında modellenen PV sistemin üzerinden uygulayarak benzetim çalışmaları yapılmıştır. Gerçekleştirilen benzetim çalışmaları için 5 farklı koşullar değerlendirilerek değişken ışıınım ve sıcaklık koşullarındaki tepkileri değerlendirilmiştir. Bu deneylerde PV panelin çıkış gücü, gerilimi ve görev döngüsü literatürdeki algoritma yöntemleri olan klasik PID, D&G ve Aİ yöntemleriyle kıyaslanmıştır.

Bu çalışmada önerilen Adaptif Bulanık PID algoritmasının, Aİ ve D&G algoritmaları ile karşılaştırılmasının nedeni en yaygın kullanılan yöntem olmaları ve zayıf kaldığı noktalardaki eksiklikleri gidermektir. D&G algoritması ani değişen koşullarda kararsızlık yaşayarak salınım yapabilen bir yöntemdir. Aİ algoritması ise başlangıçta yavaş kalarak bazı noktalarda MGN'ye geç ulaşabilmektedir. Benzetim çalışmalarında ilk olarak sıcaklık sabit tutularak ışıınım değişkenlik gösterdiğinde Adaptif Bulanık PID ortalama olarak 100.524 kW güç üretmiş ve maksimum 100.717 kW güç üreterek gerçek PV panel değerinin %99.99'una ulaşmıştır.

2'nci deneyde ışıınım sabit sıcaklık değiştiğinde önerilen yöntem ortalama olarak 107.840 kW güç ürettiği ve maksimum 108.01 kW güç üreterek %99.99 verimle gerçek PV panelin üretmiş olduğu güce ulaştığı görülmektedir. 3. ve 4. deneylerde sıcaklık ve ışıınının değişkenlik gösterdiği 5. deneyde sıcaklığın ve ışıınının ani olarak değiştiği deneyler yapılmıştır. Geleneksel algoritma yöntemlerine göre Adaptif Bulanık PID daha hızlı tepki süresi ve daha az salınım sağlayarak diğer yöntemlerin eksikliklerini giderdiği görülmüştür.

Önerilen yöntem ile PV panelden yüksek verim alınabilir çünkü hem gerilim hem de görev oranı tarafında çok az dalgalanma yaparak enerji kayıplarını minimuma indirerek yüksek verim sağlamıştır. Önerilen yöntem PV sistemlerinin enerji verimliliğini ortaya koyarak ilerleyen zamanlarda güç üretimi için kullanılabilir. Bu çalışma sadece simülasyon ortamında gerçekleştirilmiştir ancak ilerleyen çalışmalarda gerçek zamanlı uygulayarak PV panellerle testlerin yapılması önerilmektedir. Bu alanda yapılacak testlerin farklı senaryo çalışmaları ile algoritmanın uygulama alanı genişletilebilir. Bu tez, gelecek çalışmalarda literatüre ve gerçek zamanlı olarak test edilmesine katkı sağlayacaktır.

6. KAYNAKÇA

- Addawe, A. A. (2024). A Hybrid Modified Grey Wolf Optimization-Based Perturb & Observe MPPT Under Varying Climatic Conditions. (Master's Thesis), Ankara Yıldırım Beyazıt University, Ankara.
- Altıntaş, N., Yılmaz, A., Demirci, A., & Tercan, S. M. (2021). Bataryalı PV Sistemlerde Maksimum Güç Noktası Takip Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 21, 369-377.
- Arpacı, G. N. (2019). Design and Comparison Perturb & Observe, Fuzzy Logic and Anfis Based Mppt Controller for Pv System. (Master's Thesis), Gazi University, Ankara.
- Aström, K. J., & Hägglund, T. (2001). The Future of PID Control. *Control engineering practice*, 9(11), 1163-1175.
- Aydın, G. (2023). Parçacık Sürü Optimizasyon Tabanlı PID Denetleyici Tasarımı. (Yüksek Lisans Tezi), Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Badak, U., & Yıldız, A. B. (2021). Maksimum Güç Noktası İzleyici Algoritmalarının Verim, Salınım Miktarı ve Yakınsama Süresi Açısından Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (21), 463-472.
- Bakım, S. (2016). Yeni Bir P&O Tabanlı MPPT Algoritması Tasarımı ve Performansının Testi. (Yüksek Lisans Tezi), Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- Bay, Ö. F., & Uysal, A. (2012). Fotovoltaik Beslemeli Bulanık Mantık Denetimli Senkron Alçaltıcı Tip Dönüştürücünün Gerçekleştirilmesi. *Politeknik Dergisi*, 15(1), 35-41.
- Büyükekek, S. (2024). Fotovoltaik Uygulamalar İçin Model Tabanlı Hibrit Bir MPPT Yönteminin Geliştirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Konya Teknik Üniversitesi, Konya.
- Çandır, A. (2021). PV Sistemlerdeki MPPT Performansının Interleaved Dönüştürücü ile Artırılması. (Yüksek Lisans Tezi), Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- Çelebi, G. (2013). Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 17(3).
- Çoruh, N., Erfidan, T., & Ürgün, S. (2008). DA-DA Boost Dönüştürücü Tasarımı ve Gerçeklenmesi Design and Implementation of DC-DC Boost Converter. *Mühendislik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölüm Kocaeli Üniversitesi, Sivil Havacılık YO Kocaeli Üniversitesi*.
- Dash, P. K., Liew, A. C., & Mishra, B. R. (1998). An adaptive PID stabilizer for power systems using fuzzy logic. *Electric Power Systems Research*, 44(3), 213-222.
- Demirtaş, M., Sefa, İ., Irmak, E., & Çolak, İ. (2008). Güneş Enerjili Sistemler İçin Mikrodenetleyici Tabanlı Da/Da Yükselten Dönüştürücü. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(3).
- Djanka, F. (2024). Design A Modified Predictive Controller for Organic Photo Voltaic in Outdoor Conditions. Published Master's Thesis, İstanbul Aydın University. İstanbul.
- Endiz, M. S., & Akkaya, R. (2021). Matlab/Simulink ile Bipolar ve Unipolar PWM Kontrol Tekniklerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 309-313.
- Ertuğrul, İ. (2006). Akademik Performans Değerlendirmede Bulanık Mantık Yaklaşımı. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 20(1), 155-176.
- Güler, N., & Irmak, E. (2019). MPPT Based Model Predictive Control of Grid Connected Inverter for PV Systems. 2019 8th International Conference on Renewable Energy Research and Applications(ICRERA) (s. pp. 982-986). IEEE.

- Gümüş, Z., & Demirtaş, M. (2021). Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası Takibinde Kullanılan Algoritmaların Kısmi Gölgeleme Koşulları Altında Karşılaştırılması. *Politeknik Dergisi*, 24(3), 853-865.
- IRENA,(2024).
https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2024/oct/IRENA_Renewable_energy_and_2024.pdf (14.11.2024) adresinden alındı
- Kandemir, E. (2020). Kısmi Gölgeleme Koşullarında Maksimum Güç Noktasında Çalışan Enerji Geri Kazanımlı Tek Dönüştürücülü Şebeke Bağlantılı Pv Sistem Tasarımı ve Uygulanması. (Doktora Tezi), Ege Üniversitesi, İzmir .
- Keskin, T. (2019). MPPT Algoritmalarının Gerçek Zamanlı Olarak Karşılaştırılması ve PV Sisteme Uygulanması. (Yüksek Lisans Tezi), Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta.
- Kıyak , E., & Kahvecioğlu, A. (2003). Bulanık Mantık ve Uçuş Kontrol Problemine Uygulanması. *Journal of Aeronautics and Space Technologies*, 1(2), 63-72.
- Lüy, M., Türk , F., & Metin, N. A. (2021). Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası Takibi İçin Değiştir-Gözle, Artan İletkenlik ve Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmalarının Karşılaştırılması. *International Journal of Engineering Research and Development*, 13(3), 202-214.
- Mohamed, R. G., Hasanien, H. M., & Ebrahim, M. A. (2024). Mohamed, R. G., Hasanien, H. M., & Ebrahim, M. A. (2024). Global MPPT Controllers for Enhancing Dynamic Performance of Photovoltaic Systems under Partial Shading Condition. *e-Prime-Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 9, 100638.
- Murad, Z. S. (2023). Maximum Power Point Tracker Design for Photovoltaic Panel With Artificial Neural Network Referenced PID Control Method. (Master's Thesis), Tokat Gaziosmanpaşa University, Tokat.
- Mustafa, A. F. (2023). Bulanık Mantık Denetleyici Kullanılarak MPPT Performansının İyileştirilmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Naser, A. T., Mohammed, K. K., Ab Aziz, N. F., binti Kamil, K., & Mekhilef, S. (2024). Improved Coot Optimizer Algorithm-Based MPPT For PV Systems Under Complex Partial Shading Conditions And Load Variation. *Energy Conversion and Management: X*, 22, 100565. *Energy Conversion and Management: X*, 22, 100565.
- Özçelik, M. A. (2015). Fotovoltaik Sistemlerde Verim ve Performansın Artırılmasına Yönelik Maksimum Güç Noktası İzleyicisi Tasarımı. (Doktora Tezi), Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.
- Saeed, H. (2021). Effect of Different MPPT Algorithm for Linear and Nonlinear Loads in PV System. (Master's Thesis), Istanbul Aydın Universty, Istanbul.
- Sarıkaya, S. (2023). Çift Katmanlı Düşürücü Tip DC-DC Çevirici Tabanlı Yeni Bir Adaptif MPPT Algoritması Geliştirilmesiyle Enerji Verimliliğinin Artırılması. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi. Sakarya.
- Selvabharathi , D., Palanisamy, R., Selvakumar, K., Kalyanasundaram, V., Karthikeyan, D., Nair, A., & Sharma , A. (2018). Simulation of zeta converter based 3-level NPC inverter with PV system. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 12(1), 1-6.
- Sezer, Y. (2022). Güneş Panelleri İçin Gölgeleme Durumunda Farklı Algoritmalar İle Çalışan MPPT Tasarımı ve Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi. Ankara.
- T.C. ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI. (2024).
<https://www.enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes> (13.04.2025) adresinden alındı

- Toro, S. (2021). Fotovoltaik Sistemler İçin GA Tabanlı Bir MGNI Algoritmasının Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi. Van.
- Ulus, Ş. (2022). Güneş Enerjisi Santrallerinin Türkiye Ekonomisindeki Yeri ve Önemi: Karapınar YEKA-1 Güneş Enerjisi Santrali Üzerine Bir Saha Araştırması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi. Konya.
- Yanmaz , K., & Altaş, İ. H. (2008). STATCOM için Bulanık Mantık Denetleyici. ELECO, 5, 51-54.
- Yavuzsoy, A., Sargın, H., Yaren , T., & Kızır, S. (2023). Model Referans Uyarlamalı Pıd Denetleyici Tasarımı ve Denetleyici Parametrelerinin Sistem Davranışına Etki Analizi: Dc Motor Konum Kontrolü. Konya Journal of Engineering Sciences, 11(3), 730-747.
- Yılmaz, E. (2024). Bulanık Mantık Tabanlı Histerezis Band PWM Kullanılarak Tek Fazlı Asenkron Motorun Hız Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Yılmaz, H., & Şahin , M. E. (2023). Bulanık Mantık Kavramına Genel Bir Bakış. Takvim-i Vekayi, 11(1), 94-129.
- Yılmaz, M. (2024). Güneş Enerji Sistemleri İçin Yeni Bir Hibrit MPPT Yönteminin Geliştirilmesi ve Gerçek Zamanlı Uygulanması. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi. Erzurum.

7.ÖZGEÇMİŞ

