

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

**ANFIS İLE MODELLENEN PV PANELİN MAKSİMUM GÜÇ
NOKTASININ PI KONTROLÖR İLE TAKİBİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Sinem Kezban YAYLA TUNAY**

Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç.Dr.Ömerülfaruk ÖZGÜVEN

MART 2022

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

**ANFİS İLE MODELLENEN PV PANELİN MAKSİMUM GÜÇ
NOKTASININ Pİ KONTROLÖR İLE TAKİBİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sinem Kezban YAYLA TUNAY

Y3616150013

Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ömerülfaruk ÖZGÜVEN

MART 2022

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının her aşamasında yardım, öneri, bilgi, tecrübe ve desteklerini esirgemedi beni her konuda yönlendiren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ömerül Faruk ÖZGÜVEN'e,

Çalışmalarımda ayrıca tüm hayatım boyunca olduğu gibi bu çalışmalarım süresince de benden her türlü destekleri için eşim Hasan TUNAY ve aileme,

teşekkür ederim.



ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “ANFIS İle Modellenen PV Panelin Maksimum Güç Noktasının PI Kontrolör İle Takibi” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığına ve yararlandığım bütün kaynakların hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Sinem Kezban YAYLA TUNAY



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR VE ÖNSÖZ	i
ONUR SÖZÜ	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER.....	v
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Organizasyonu.....	8
2. KURAMSAL TEMELLER.....	10
2.1. PV Modül	10
2.2. MGNİ Kontrolör Yapıları	18
2.2.1. PI, PD, PID kontrolör	18
2.2.1.1. PI kontrol	19
2.2.1.2. PD kontrol	19
2.2.1.3. Kontrolör parametrelerinin tespiti	20
2.3. BOOST DC-DC Dönüştürücü.....	21
2.4. MGNİ (Maksimum Güç Noktası İzleyici)	23
2.4.1. Yapay zekâ tabanlı maksimum güç izleme yöntemleri	25
2.4.1.1. Fuzzy lojik yöntemi (bulanık mantık yöntemi)	25
2.4.1.2. ANFIS Yöntemi.....	27
3. MATERYAL VE YÖNTEM	30
3.1. Uyarlamalı Ağ Yapısına Sahip Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi ile PV Modellenmesi.....	30
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	36
4.1. Sabit Sıcaklık ve Işıma Değerinin Sistem Üzerindeki Etkisi.....	36
4.2. Sistem Üzerindeki Bulutlanma Etkisi	69
5. SONUÇ	89
KAYNAKÇA.....	91
ÖZGEÇMİŞ.....	95

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 : Bulanık Mantık Çalışmaları.....	4
Çizelge 1.2 : ANFIS Modeli Çalışmaları.....	6
Çizelge 2.1: Ziegler- Nichols Metodu basamak yanıt metoduna göre kontrolör parametrelerinin tespiti.....	20
Çizelge 4.1: Işıma ve Zaman Çizelgesi.....	71
Çizelge 4.2: 25°C Bulutlanma Etkisi Güç Zaman Çizelgesi	72
Çizelge 4.3: Işıma ve Zaman Çizelgesi.....	74
Çizelge 4.4: 35 °C Bulutlanma Etkisi Güç Zaman Çizelgesi	75
Çizelge 4.5: Işıma ve Zaman Çizelgesi.....	77
Çizelge 4.6: 45 °C Bulutlanma Etkisi Güç Zaman Çizelgesi	78
Çizelge 4.7: Işıma ve Zaman Çizelgesi.....	80
Çizelge 4.8: 45°C Bulutlanma Etkisi Güç Zaman Çizelgesi	81
Çizelge 4.9: Işıma ve Zaman Çizelgesi.....	83
Çizelge 4.10: 45 °C Bulutlanma Etkisi Güç Zaman Çizelgesi	84
Çizelge 4.11: Işıma ve Zaman Çizelgesi.....	86
Çizelge 4.12: 45 °C Bulutlanma Etkisi Güç Zaman Çizelgesi	87

ŞEKİLLER

Şekil 2.1: Güneş Pilinin P-N Eklem Gösterimi.....	11
Şekil 2.2: PV Hücre, Modül, Dizi Oluşum Aşamaları.....	12
Şekil 2.3: Seri Bağlanan PV hücrenin Devre Şeması	13
Şekil 2.4: Paralel Bağlanan PV Hücrenin Devre Şeması	13
Şekil 2.5: PV Modelin Matematiksel Devre Modeli.....	14
Şekil 2.6: 25 °C Sabit Sıcaklık Altında PV Modül Çıkış Gücü- Çıkış Gerilimi Grafiği	15
Şekil 2.7: 35 °C Sabit Sıcaklık Altında PV Modül Çıkış Gücü- Çıkış Gerilimi Grafiği	15
Şekil 2.8: 45 °C Sabit Sıcaklık Altında PV Modül Çıkış Gücü- Çıkış Gerilimi Grafiği	16
Şekil 2.9: PV Hücre Matematiksel MATLAB modeli.....	17
Şekil 2.10: DC-DC BOOST Dönüştürücü Devresi.....	21
Şekil 2.11: Anahtar Kapalıyken Devre Şeması.....	22
Şekil 2.12: Anahtar Açıkken Devre Şeması.....	23
Şekil 2.13: DC-DC yükseltici devrenin akım-zaman, gerilim-zaman grafikleri	23
Şekil 2.14: MGNİ Çalışma Diyagramı	24
Şekil 2.15: Yapay Zeka Tabanlı MGNİ Çalışma Prensibi.....	25
Şekil 2.16: Örnek Bulanık Üyelik Fonksiyonu	26
Şekil 2.17: ANFIS Yapısı	27
Şekil 3.1: Çalışılan ANFIS Devre Şeması	31
Şekil 3.2: PWM Generator ve DC-DC Dönüştürücü Devre Şeması.....	31
Şekil 3.3: DC-DC Dönüştürücünün İç Devre Şeması.....	32
Şekil 3.4: Işınım Düzeyleri İçin Öğrenme Sonrası Üyelik Fonksiyonları	33
Şekil 3.5: Sıcaklık Düzeyleri İçin Öğrenme Sonrası Üyelik Fonksiyonları	33
Şekil 3.6: Eğitim Kuralları	34
Şekil 3.7: Sıcaklık, Işınım ve Maksimum Güç Arasındaki Yüzey	34
Şekil 3.8: Maksimum Güç Çıkarım Sistemi	35
Şekil 4.1: 100 W/m ² Işıma ve 25 °C Güç-Zaman Grafiği	37
Şekil 4.2: 100 W/m ² Işıma ve 35 °C Güç-Zaman Grafiği	38
Şekil 4.3: 100 W/m ² Işıma ve 45 °C Güç-Zaman Grafiği	38
Şekil 4.4: 200 W/m ² Işıma ve 25°C Güç-Zaman Grafiği	39
Şekil 4.5: 200 W/m ² Işıma ve 35 °C Güç-Zaman Grafiği	40
Şekil 4.6: 200 W/m ² Işıma ve 45 °C Güç-Zaman Grafiği	40
Şekil 4.7: 300 W/m ² Işıma ve 25°C Güç-Zaman Grafiği	41
Şekil 4.8: 300 W/m ² Işıma ve 35°C Güç-Zaman Grafiği	42
Şekil 4.9: 300 W/m ² Işıma ve 45°C Güç-Zaman Grafiği	43
Şekil 4.10: 400 W/m ² Işıma ve 25 °C Güç-Zaman Grafiği	44
Şekil 4.11: 400 W/m ² Işıma ve 35 °C Güç-Zaman Grafiği	44
Şekil 4.12: 400 W/m ² Işıma ve 45°C Güç-Zaman Grafiği	45
Şekil 4.13: 500 W/m ² Işıma ve 25 °C Güç-Zaman Grafiği	46
Şekil 4.14: 500 W/m ² Işıma ve 35 °C Güç-Zaman Grafiği	47
Şekil 4.15: 500 W/m ² Işıma ve 45 °C Güç-Zaman Grafiği	48
Şekil 4.16: 600 W/m ² Işıma ve 25 °C Güç-Zaman Grafiği	49
Şekil 4.17: 600 W/m ² Işıma ve 35 °C Güç-Zaman Grafiği	49
Şekil 4.18: 600W/m ² Işıma ve 45°C Güç-Zaman Grafiği	50
Şekil 4.19: 700 W/m ² Işıma ve 25 °C Güç-Zaman Grafiği	52
Şekil 4.20: 700 W/m ² Işıma ve 35 °C Güç-Zaman Grafiği	52
Şekil 4.21: 700 W/m ² Işıma ve 45 °C Güç-Zaman Grafiği	53
Şekil 4.22: 800 W/m ² Işıma ve 25 °C Güç-Zaman Grafiği	54

Şekil 4.23: 800 W/m ² Işıma ve 35 °C Güç-Zaman Grafiği	55
Şekil 4.24: 800W/m ² Işıma ve 45°C Güç-Zaman Grafiği	56
Şekil 4.25: 900 W/m ² Işıma ve 25 °C Güç-Zaman Grafiği	57
Şekil 4.26: 900 W/m ² Işıma ve 35°C Güç-Zaman Grafiği	58
Şekil 4.27: 900 W/m ² Işıma ve 45 °C Güç-Zaman Grafiği	59
Şekil 4.28: 1000 W/m ² Işıma ve 25 °C Güç-Zaman Grafiği	60
Şekil 4.29: 1000 W/m ² Işıma ve 35 °C Güç-Zaman Grafiği	61
Şekil 4.30: 1000 W/m ² Işıma ve 45 °C Güç-Zaman Grafiği	61
Şekil 4.31: Sistem Çıkış Cevabı.....	63
Şekil 4.32: 700 W/m ² , 600 W/m ² ve 500 W/m ² Işıma altında Kontrolör Olmadan Sistem Çıkış Cevabı.....	63
Şekil 4.33: 800 W/m ² Işıma altında Kontrolör Olmadan Devrenin Çıkış Cevabı	64
Şekil 4.34: 900 W/m ² Işıma altında Kontrolör Olmadan Devrenin Çıkış Cevabı	65
Şekil 4.35: 1000 W/m ² Işıma altında Kontrolör Olmadan Devrenin Çıkış Cevabı	65
Şekil 4.36: 25 °C Sabit Sıcaklık Altında Hata-Zaman Grafiği	66
Şekil 4.37: 35 °C Sabit Sıcaklık Altında Hata-Zaman Grafiği	66
Şekil 4.38: 45 °C Sabit Sıcaklık Altında Hata-Zaman Grafiği	67
Şekil 4.39: 25 °C Sabit Sıcaklık Altında PID Kontrol Sinyali.....	67
Şekil 4.40: 35 °C Sabit Sıcaklık Altında PID Kontrol Sinyali.....	68
Şekil 4.41: 45 °C Sabit Sıcaklık Altında PID Kontrol Sinyali.....	68
Şekil 4.42: 25 °C Sabit Sıcaklık Altında Değişen Işıma Değerleri.....	70
Şekil 4.43: 25 °C Sabit Sıcaklık Altında Bulutlanma Etkisi Sonucunda Oluşan Elde Edilen Gücün İzlenmesi	71
Şekil 4.44: 25 °C Sabit Sıcaklık ve Bulutlanma Etkisi Altında Bulunan Devrede Kontrolörün Devre Dışı Bırakılması Sonucunda Oluşan Sinyalin İzlenmesi ..	72
Şekil 4.45: 35°C Sabit Sıcaklık Altında Değişen Işıma Değerleri.....	73
Şekil 4.46: 35 °C Sabit Sıcaklık Altında Bulutlanma Etkisi Sonucunda Oluşan Elde Edilen Gücün İzlenmesi	74
Şekil 4.47: 35 °C Sabit Sıcaklık ve Bulutlanma Etkisi Altında Bulunan Devre Dışı Bırakılması Sonucunda Oluşan Sinyalin İzlenmesi.....	75
Şekil 4.48: 45 °C Sabit Sıcaklık Altında Değişen Işıma Değerleri.....	76
Şekil 4.49: 45°C Sabit Sıcaklık Altında Bulutlanma Etkisi Sonucunda Oluşan Elde Edilen Gücün İzlenmesi	77
Şekil 4.50: 45 °C Sabit Sıcaklık ve Bulutlanma Etkisi Altında Bulunan Devrede Kontrolörün Devre Dışı Bırakılması Sonucunda Oluşan Sinyalin İzlenmesi ..	78
Şekil 4.51: 25 °C Sabit Sıcaklık Altında Değişen Işıma Değerleri.....	79
Şekil 4.52: 25 °C Sabit Sıcaklık Altında Bulutlanma Etkisi Sonucunda Oluşan Elde Edilen Gücün İzlenmesi	80
Şekil 4.53: 25 °C Sabit Sıcaklık ve Bulutlanma Etkisi Altında Bulunan Devrede Kontrolörün Devre Dışı Bırakılması Sonucunda Oluşan Sinyalin İzlenmesi ..	81
Şekil 4.54: 35 °C Sabit Sıcaklık Altında Değişen Işıma Değerleri.....	82
Şekil 4.55: 35 °C Sabit Sıcaklık Altında Bulutlanma Etkisi Sonucunda Oluşan Elde Edilen Gücün İzlenmesi	83
Şekil 4.56: 35 °C Sabit Sıcaklık ve Bulutlanma Etkisi Altında Bulunan Devrede Kontrolörün Devre Dışı Bırakılması Sonucunda Oluşan Sinyalin İzlenmesi ..	84
Şekil 4.57: 45 °C Sabit Sıcaklık Altında Değişen Işıma Değerleri.....	85
Şekil 4.58: 45 °C Sabit Sıcaklık Altında Bulutlanma Etkisi Sonucunda Oluşan Elde Edilen Gücün İzlenmesi	86
Şekil 4.59: 45 °C Sabit Sıcaklık ve Bulutlanma Etkisi Altında Bulunan Devrede Kontrolörün Devre Dışı Bırakılması Sonucunda Oluşan Sinyalin İzlenmesi ..	87

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

T_{rk}	: Referans sıcaklık 298 K.
I_{ph}	: Foton Akımı (A)
A	: İdeal Faktör = 1,6
q	: Elektron yükü = $1.6 \times 10^{-19} C$
I_{scr}	: PV modülü kısa devre akımı
K_i	: Kısa devre akımı sıcaklık katsayısı
E_g	: Silikon için bant aralığı = 1.1 eV
V_{oc}	: Açık devre gerilimi (V)
V_{pv}	: PV hücrenin açık devre gerilimi (V)
I_{pv}	: PV hücrenin çıkış akımı (A)
I_{rs}	: T_{rk} 'da ters doyma akımı (A)
K	: Boltzmann sabiti = $1,3805 \times 10^{-23} J/K$
R_s	: PV hücresinin dahili seri direnci
R_p	: PV hücresinin dahili paralel direnci
Γ	: PV modül ışıması (W/m^2)
N_s	: Seri olarak bağlı hücre sayısı
N_p	: Paralel olarak bağlı hücre sayısı
I_0	: PV hücresinin doyma akımı
T_{ak}	: Ortam Sıcaklığı
T_i	: İntegral zaman sabiti
T_d	: Türev zaman sabiti
K	: Kontrol Kazancı
K_p	: Orantı Katsayısı
K_d	: Türev Katsayısı
I_L	: Bobin Akımı
I_D	: Diyot Akımı
I_C	: Kondansatör Akımı

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi ANFIS İLE MODELLENEN PV PANELİN MAKSİMUM GÜÇ NOKTASININ PI KONTROLÖR İLE TAKİBİ

Sinem Kezban YAYLA TUNAY

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

95+IX sayfa

2022

Danışman: Doç. Dr. Ömerül Faruk Özgüven

Güneş enerjisi fosil yakıtlı diğer enerji kaynaklarına göre daha çevreci ve daha temiz bir enerji üretim kaynağıdır. Güneş enerjisi bir çeşit ışıma enerjisidir. Güneşten gelen ışıma maksimum 1370 W/m^2 'dir. Fakat dünyada atmosferden yeryüzüne düşen ışıma şiddeti minimum 0 W/m^2 maksimum 1100 W/m^2 arasındadır. Sabit ışıma şartları altında PV panelden alınan güç değeri gerilim ve akımın değerinin değişmesi ile artmakta veya azalmaktadır. Bu nedenle güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren PV panellerin maksimum güç noktasında çalışması verimlilik açısından önem taşımaktadır. Maksimum güç noktasının izlenmesi (MGNI) için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu çalışmada sistem, Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS), Oransal İntegral (PI) kontrolör ve DC-DC yükselten çeviriciye bağlı bir MATLAB eklentisi olan Kyocera KC200GT fotovoltaiik güneş modülünden oluşur. Tüm sistemin çalışması MATLAB Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir. Belirlenen modelin değişik sıcaklık ve ışınlımlarda akım-gerilim ve güç-gerilim grafikleri çizilmiştir. Güç gerilim karakteristiklerinin maksimum güç noktaları alınarak ANFIS için eğitim verileri bulunmuştur. Bu veriler ANFIS editör programı kullanılarak sıcaklık ve ışımaya göre alınacak maksimum güç için uyarlamalı sinirsel-bulanık çıkarım sistemi ile PV panel modeli bulunmuştur. PI denetleyici ile MGNI gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda ışıma değeri değiştirilerek bulutlanma etkisinin sistem çıkış cevap grafikleri alınmış ve yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: ANFIS, MGNI, PV Modül, MATLAB, DC-DC Dönüştürücü, PI Kontrolör

ABSTRACT

Master Thesis

MODELING OF PV PANEL WITH ANFIS METHOD AND TRACKING MAXIMUM POWER POINT WITH PI CONTROLLER

Sinem Kezban YAYLA TUNAY

Inonu University
Graduate School of Nature and Applied Sciences
Department of Electrical-Electronics Engineering

95+IX sayfa

2022

Supervisor: Associate Professor Ömerül Faruk Özgüven

Solar energy is a more environmentally friendly and cleaner energy production source than other fossil fuel energy sources. Solar energy is a kind of radiant energy. Radiation from the sun is a maximum of 1370 W/m^2 . However, the radiation intensity falling from the atmosphere to the earth in the world is between a minimum of 0 W/m^2 and a maximum of 1100 W/m^2 . Under constant radiation conditions, the power value taken from the PV panel increases or decreases with the change of the voltage and current value. For this reason, it is important for efficiency that PV panels, which convert solar energy into electrical energy, operate at the maximum power point. Various methods have been developed for monitoring the maximum power point (MPP). In this study, the system consists of a Kyocera KC200GT photovoltaic solar module, a MATLAB plug-in connected to ANFIS (Adaptive-Neural Network Based Fuzzy Inference Systems), PI (Proportional Integral) controller and DC-DC boost converter. The operation of the whole system was carried out in the MATLAB simulink environment. Current-voltage and power-voltage graphs of the determined model were drawn at different temperatures and radiations. The training data for ANFIS were found by taking the maximum power points of the power voltage characteristics. PV panel model was found with adaptive neural-fuzzy extraction system for maximum power to be taken according to temperature and irradiance using ANFIS editor program. MGNI was performed with a PI controller. At the same time, the system output response graphs of the clouding effect were taken and interpreted by changing the irradiance value

Keywords: ANFIS, MPPT, PV Module, MATLAB, DC-DC Converter, PI Controller

1. GİRİŞ

Günümüzde güneş, artan bina ve sanayi enerji ihtiyacını sağlamak için fosil yakıtlara karşı en iyi alternatif enerji kaynaklarından biri olarak görülmektedir. Güneşten gelen enerjinin diğer enerji kaynaklarına göre sonsuz kabul edilmesi, çevrenin korunması ve dünyanın her yerinden ulaşabilir olması nedeniyle en önemli alternatif enerji kaynağıdır.

PV panel güneş ışıması ile elektrik enerjisi üreten temel bir elemandır. PV panel üretimi, yenilenebilir bir kaynak olarak yaygınlaşıp önemi artmaktadır. Ülkelerin enerji ihtiyacında dışa bağımlılığın azaltmanın yolu doğal kaynak olan güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmaktır. PV sistemin işletme ve bakım maliyetinin düşük olması ve sessiz çalışması avantaj olarak görülmektedir. Fotovoltaik sistemler yerel enerji kaynaklarının kullanılmasında çok iyi bir çözümdür.

PV modülden üretilen güç gerçek güçten daha azdır. Üretilen gücün artması birtakım çalışmalar yapılmıştır. Çalışmaların sonucunda elde edilen bulgularda PV modülün verimliliğini yükseltmek için ışıma sonucu oluşan enerjiyi en üst seviyede tutmak gerekir. Bu seviyede tutabilmek için maksimum güç noktasının izlenmesi (MGNI) olarak adlandırılan birçok algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritmalar kendi aralarında üstünlüklere ve dezavantajlara sahiptirler [1].

PV sistemlerin maksimum güç noktasını izleyen yöntemleri ayırt etmenin ve gruplandırmanın birçok yolu vardır. MGNI metotları geleneksel tip, yapay zekâ bazlı ve hibrit metotlar olmak üzere üçe ayrılır.

Geleneksel tip MGNI yöntemi PV sisteminin çevre şartları altında (sıcaklık ve ışıma) gerilim, akımının ölçüm esnasındaki maksimum seviyedeki sonuçlarını kullanır. Aşağıdaki çalışmalar bu tip çalışmalara referans olarak gösterilmiştir.

Reddy ve arkadaşları çalışmasında seri bağlı PV dizi şemasında üzerine kısmen gölge düşen hücrelerin enerji üretmediği, gölgelenmenin hızlı olması durumunda ise birden fazla maksimum nokta oluşması ve gölgelendirme modelinin hızlı dalgalanması gibi maksimum güç noktasının takibinin zorlaştığını belirtmişlerdir. Bu şartlarda paralel ve seri PV sistem karşılaştırılmış ve maksimum güç noktası takip zorluğunu azaltan bir yöntem önermişlerdir [2].

Kabalcı ve arkadaşları yükseltici dönüştürücü devre ile kurdukları çalışmada Değiştir ve Gözle tekniği MGNİ tabanlı sistem temel alınmıştır. PI kontrolör gözlemcisi ve PI kontrolör gözlemcisi olmaksızın oluşturulan sistemler kıyaslanmıştır. PI kontrolörün kullanımı çıkış voltajının kararlılığının iyileştirdiğini ve aynı zamanda çıkış gücünü optimize ettiğini, gürültü salınımını azalttığını ifade etmişlerdir [3].

Yu ve arkadaşları MATLAB/Simulink ortamında Değiştir ve Gözle metodu ile kurulan PV sistem çıkışının I-V eğrileri ile orijinal saha test verilerinin yakından eşleştiğini açıklamışlardır. Kurdukları PV modelin, sistemin maksimum güç noktasını izleyebildiğini. aynı zamanda simülasyon sonuçları ve üretilen gerçek güç arasında bir uyum olduğunu belirtmişlerdir[4].

Hibrit Yöntemler, geleneksel ve yapay zekâ tabanlı yöntemlerden herhangi birinin dezavantajı ile diğerinin avantajlı olduğu yönleri ele alıp en iyi uyumu sağlayacak olan çalışma prensibinin birlikte uygulandığı yöntemdir. Aşağıdaki çalışmalar bu tip çalışmalara referans olarak gösterilmiştir.

Zater ve arkadaşları bir MGNİ tekniğinin performansı esas olarak doğruluğu, yakınsama hızı, uygulama kolaylığı ve kısmi gölgeleme koşulları altında maksimum güç noktasını takip etme yeteneği performans özelliklerinin aynı anda tümünü birleştirmede başarılı olunmadığını ifade etmişlerdir. Yapılan çalışmada doğru ve hızlı bir izleme algoritması elde etmek amacıyla, kısmi gölgeleme koşullarında sırayla çalışan gözle rahatsız etme yöntemi ile sabit gerilim, değiştir ve gözle yöntemi artan iletkenlik algoritmasını birleştirerek PV'nin maksimum güç noktasının izlenmesi için yeni bir yaklaşım sunmuşlardır [5].

Chin ve arkadaşları yapay zekâ tabanlı yöntem olarak bulanık mantık ve geleneksel yöntem tipi olan Değiştir ve Gözle yöntemini hibrit sistem olarak ele alarak, geliştirilmiş bulanık mantık bu Değiştir ve Gözle yönteminin kısmen gölgeli koşul sırasında gerçek mutlak maksimum güç noktasını izleyebildiğini göstermişlerdir [6].

Punitha ve arkadaşları kısmi gölgeleme koşulları altında FPGA (Alanda Programlanabilir Kapı Dizisi) sistem donanımı aracılığıyla yapay sinir ağı tabanlı MGN izleyicisine artan iletkenlik yöntemini ekleyerek hibrit bir model oluşturup bulanık tabanlı Değiştir ve Gözle metodu ile kıyaslamışlardır. Önerilen yöntemin başarılı olduğunu belirtmişlerdir [7].

Yapay zekâ tabanlı yöntemler PV panelinin iklim değişikliğine göre alınan farklı ısıma ve sıcaklık değerlerine göre güç gerilim ve akım gerilim verilerini depolayıp kullanır. Öğrenme tabanlı MGNİ teknikleri, PV model üzerinden maksimum güç noktasının verilerinden faydalanarak Yapay Sinir Ağları ve bulanık mantık ile güç takibi modeli tasarlanmıştır [8].

Rizzo ve Scelba elektrikli araçların çatısına kurulan PV sistemde hızlı gölgeleme koşulları sonucunda global maksimum güç noktasını izleme sorununa Yapay Sinir Ağı yöntemi ile çözüm sunan bir çalışma yapmışlardır. 0-1000 W/m² ısıma ve 10 °C -55 °C değerleri arasında kademeli değişiklik yapılarak elde edilen 216 adet yapay sinir ağı kümesini inceleyerek 3 gizli katman ve yüksek sayıda giriş, aynı zamanda 1 gizli katman ve 3 girişli yapay sinir ağı tabanlı MGNİ'yi kıyaslayıp güç-gerilim karakteristik taramalarının sayısını arttırdıkça, Yapay Sinir Ağı'nın maksimumu karşılama yeteneği ve tahmin doğruluğunun daha iyi performans sağladığını belirtmişlerdir [9].

Messalti ve arkadaşları Yapay Sinir Ağı modelini oluşturmak için gerekli verileri Değiştir ve Gözle algoritması ile elde edip, iki farklı Yapay Sinir Ağı MGNİ denetleyicisini değişken ve sabit koşullar altında kıyaslayıp, değişken ışıınım altındaki yapay sinir ağı tabanlı MGNİ'nin performansının, sabit ışıınım altındaki MGNİ performansına göre daha başarılı olduğunu anlatmışlardır [10].

Lakshmi ve arkadaşları MATLAB/Simulink ortamında artan iletkenlik, açık devre gerilim, Değiştir ve Gözle yöntemi ile yapay sinir ağı metodunu maksimum güç noktası izleme performansı açısından kıyaslamışlardır. Çalışmanın sonucunda yapay sinir ağı tabanlı MGNİ çıkış voltajı ve çıkış gücü ile geleneksel yöntemlerden daha iyi bir performans sağladığını anlatmışlardır [11].

Laamamı ve arkadaşları PV sistemi, Değiştir ve Gözle metodu kullanarak elde ettikleri güç gerilim verilerine 5 farklı hatayı eklemişlerdir. Bu hataları yapay sinir ağı tabanlı arıza ve sınıflandırma yöntemi tespiti için çalışma yapmışlardır [12].

Almonacid ve arkadaşları PV modülünün elektriksel davranışının ($V-I$ grafiklerinin) uygun bir karakterizasyonunu yapabilmek için Yapay Sinir Ağlarına dayalı bir yöntem geliştirmişlerdir. Önerdikleri YSA'yı, ölçülen değerlerle karşılaştırdıklarında Si-Kristal (Silisyum-Kristal) PV modüllerinin performansı için iyi bir doğru tahmin oluşturduğunu açıklamışlardır [13].

Karamirad ve arkadaşları dört parametrelili (I_{ph} , I_o , m , R_s) ve beş parametrelili (I_{ph} , I_o , m , R_s , R_{sh}) PV eşdeğer modelleri inceleyip, yapay sinir ağı tabanlı MGNİ yöntemi ile MATLAB programı kullanarak kıyaslanmışlardır. Sonuç olarak yapay sinir ağı tabanlı MGNİ verimlilik konusunda daha başarılı olduğunu açıklamışlardır. Aynı zamanda dört parametrelili ve beş parametrelili YSA modellerine farklı katsayılar verildiğinde iki modelin birbirlerine karşı üstünlüklerinin olduğunu belirtmişlerdir [14].

Hiyama ve arkadaşları gerçek zamanlı maksimum güç noktası izleme kontrolü için PV modüllerinin optimal çalışma noktasının tanımlanması için bir yapay sinir ağı tabanlı çalışmayı sunmuşlardır [15].

Klasik mantık ilkeleri sadece 1 ve 0'dan oluşmaktadır. Fakat bulanık mantıkta kesinlik yoktur. Bulanık mantık kümesi bir ve sıfır arasındaki ağırlıklardan oluşur. Bulanık mantık konusunu ele alarak yapılan çalışmalar Çizelge 1.1 olarak belirtilmiştir.

Çizelge 0.1: Bulanık Mantık Çalışmaları

Yazar Adı	Yapılan Çalışma
Yılmaz ve arkadaşları	PV panelin MGN izlemek için yükselten dönüştürücüde bulanık mantık, batarya şarj işleminde ise düşüren dönüştürücüde PI kontrolörü kullanmışlardır [16].
Cherchali ve arkadaşları	MATLAB/Simulink ortamında değişken koşullarda maksimum güç takibi için kayma mod denetleyici kullanarak, sabit koşullar veya ışınlama yavaş değiştiğinde ise bulanık mantık denetleyici kullanılarak çıkış gücünün izleme performansının yüksek olduğu sistem ile çalışma yapmışlardır [17].
Özdemir ve arkadaşları	MGN izleyicilerinde dönüştürücünün çıkış gücü salınımının yüksek olması sorunu ve MGN izleme veriminin yükseltmek istenmesi sebebiyle yüksek dönüşüm oranlı ikinci dereceden yükseltici dönüştürücü ile bulanık mantık tabanlı MGNİ oluşturmuşlardır. Sistemlerinde dönüştürücünün dayanıklılık ve kararlılığını arttırdığını görülmekte ayrıca bu durum, geleneksel yükseltici dönüştürücü ile karşılaştırıldığında düşük görev (duty) döngü oranının elde edildiği ve sistemin kararlı olması ile maksimum güç noktası izleme veriminin %99,10 olarak elde edildiğini sonuç olarak bildirmişlerdir [18].

Algarín ve arkadaşları	MATLAB Simulink ortamında iklim koşullarındaki değişikliklerden bağımsız olarak bir PV sisteminin maksimum güç noktasını izlemek için PV model simülasyonu yapmışlardır. Bulanık mantık tabanlı MGNİ ve Değiştir ve Gözle yöntemini kıyaslayarak elde ettikleri benzetim sonuçlarında, çalışma noktasında yerleşme süresi, güç kaybı ve salınımlar açısından bulanık mantık denetleyicinin üstünlüğünü gösterdiğini anlatmışlardır [19].
Boumaaraf ve arkadaşları	MATLAB/Simulink ortamında eğitim veri seti olarak bulanık mantık denetleyicisini kullanarak yapay sinir ağı tabanlı MGN izleyicinin şebeke verimliliğinin; DC'den AC'ye dönüşüm performansının yüksek olmasına bağlı olduğunu söylemektedirler. Önerilen MGNİ ile üç seviyeli Nötr Nokta Kelepçeli eviricinin elektrik şebekesi arasında bir adaptasyon ara yüzü olarak entegrasyonunun mantıklı olduğunu belirtmişlerdir [20].
Dounis ve arkadaşları	Çalışan PV sistemin maksimum güç noktası takibini; PID-bulanık kazanç ayarlamalı kontrolör ve PID-gözle ve Değiştir ve Gözle ile kıyaslama yapmışlardır. Bulanık kazanç ayarlamalı kontrolörün yüksek bir izleme performansı gösterdiğini belirtmişlerdir [21].
Panda ve arkadaşları	PV modülünün değişken atmosferik koşullar altında izleme yöntemlerinden biri olan bulanık mantık kontrolünün, Değiştir ve Gözle yönteminde kullanılan geleneksel PI denetleyiciyle kıyasla, izleme performansının iyi olduğunu gösterdiğini belirtmişlerdir [22].
Bouchafaa ve arkadaşları	Bulanık mantık tabanlı MGNİ ile Değiştir ve Gözle ve artımlı iletkenlik metotlarını kıyaslamışlardır. Bulanık denetleyicinin güç performansının daha yüksek olduğunu açıklamışlardır [23].

Çizelge 1.1 de bulanık mantık denetleyicisinin 16 atıf numaralı çalışmada batarya şarj sisteminde de kullanıldığı görülmektedir. 17 ve 19 numaralı atıflarda sabit koşullar altında, 22 numaralı atıfta ise değişken koşullarda bulanık mantık incelenmiştir. 18., 21., 23. atıflarda geleneksel yöntemlerle bir kıyaslama çalışması yapılırken, 20. atıfta Yapay Sinir Ağı yöntemi ile bulanık mantık karşılaştırılmıştır.

Bulanık mantık ve Yapay Sinir Ağı modellerinin birleşimi ile ANFIS modeli oluşmaktadır. ANFIS konusunu ele alarak yapılan çalışmalar çizelge olarak belirtilmiştir.

Çizelge 0.2: ANFIS Modeli Çalışmaları

Yazar Adı	Yapılan Çalışma
Abu-Rub ve arkadaşları	Yarı-Z-kaynaklı eviricinin PV üretim sistemi ile şebeke arasındaki en uygun güç koşullandırma arabirimlerinden biri olarak tanımlanması ve ANFIS'in, yüksek doğrulukla son derece hızlı dinamik yanıt sunması sebebi ile sistemde tercih etmişlerdir. PV elektrik enerjisi üretim sisteminden maksimum güç elde etmek için yapay zekâ tabanlı bir çözüm sunmuşlardır [24].
Kulaksız	Çalışmasında, PV modelin açık devre gerilimini kısa devre akımı, PV üretim tipini ve akım-gerilim karakteristiğini kullanarak PV modülün seri direncini (R_s), paralel direncini (R_{sh}) ve diyotun idealite faktörünü ANFIS tekniği ile modellemiştir [25].
Mlakić ve arkadaşları	PV sistemlerin doğrusal olmayan akım-gerilim karakteristiğinin olması nedeniyle maksimum gücün takip edilmesinde MATLAB /Simulink arayüz programında ANFIS kullanmışlardır. PV modelin denklemsel modeli kullanılmadan maksimum güç noktasının belirlenmesinde yapay zekâ kullanarak bir metot sunmuşlardır [26].
Fathy ve arkadaşları	Çalışmalarında birbirine bağlı güç sistemlerinin iki durumunu incelemişlerdir; birincisi ANFIS tabanlı termik ve fotovoltaik olan birbirine bağlı güç sistemlerini içerirken, ikinci sistem, dört termik, PV ve rüzgâr türbini üretim ünitesi santralini içermiştir. Sonuç olarak çok bağlantılı güç sistemleri için yük frekansı kontrolü tasarımında önerilen yaklaşımın doğruluğunu sunmuşlardır [27].
Shanthi ve arkadaşları	MATLAB Simulink programı kullanarak PV diziyi üç fazlı AC yük ile arayüzleyerek, yüke maksimum güç sağlamak için yapay zekâ tabanlı bir çözüm olan ANFIS tabanlı MGN izleyici ile çalışmışlardır. ANFIS tabanlı MGNİ'nin verimli, basit, düşük maliyetli olduğunu sunmuşlardır [28].

Ismail ve arkadaşları	Üç fazlı şebekeli PV dizi sistemine; akü şarj durumunu organize etmek ve yükün artması durumunda akünün şebekeye açılıp kapatılması için iki ANFIS kontrolör ile kurdukları sistemi sunmuşlardır [29].
Aldair ve arkadaşları	FPGA kontrolöre sahip ANFIS metodunun artan iletkenlik yöntemi ve sabit voltaj yönteminden daha verimli ve daha iyi dinamik yanıtı sahip olduğunu açıklamışlardır [30].
Mellit ve arkadaşları	PV güç kaynağı sistemini ANFIS tabanlı MGN izleyici ile kurmuşlardır. Test sonuçları, önerilen sistemi modellemeye çalışan yapay sinir ağından daha iyi performans gösterdiğini açıklamışlardır [31].
Otieno ve arkadaşları	Elektrik enerji tüketiminin istikrarlı bir şekilde artmasından dolayı elektrik üretim kapasitesinin artırılması gerektiğini düşünmüşlerdir PV sistemlerinden elde edilen gücü en üst düzeye çıkarmak için, ANFIS tabanlı bir maksimum güç noktası izleyici kullanarak paneli en uygun güç noktasında çalıştırmışlardır [32].
Jayawardene ve arkadaşları	Çalışmasında kısa vadeli PV güç tahmini için uyarlanabilir bir nöro-bulanık çıkarım sistemi geliştirmişlerdir ve bir yankı durum ağı (ESN) ile karşılaştırmışlardır. ANFIS sisteminin farklı hava koşulları için ESN kadar iyi performans göstermediğini sunmuşlardır [33].
Shabaan ve arkadaşları	ANFIS'e dayalı su pompası sisteminin çalışmasını MGNİ içeren ve MGNİ içermeyen değişen ışınlama ve sıcaklık koşulları altında kıyaslamışlardır. ANFIS tabanlı kontrolör tüm ışınlım ve sıcaklık seviyelerinde yüksek verimlilikle hızlı tepki gösterdiğini belirtmişlerdir [34].
Adıgüzel ve arkadaşları	5 g, 10 g ve 15 g ağırlıklarında 3 tip kömür partikülü ile yapay kirlilik oluşturmuşlardır ANFIS'e dayalı oluşturulan modelde belirli bir parçacık boyutu ve ağırlığı için PV modüllerinin güç tahmininde oldukça başarılı olduğunu incelemişlerdir [35].
Reddy ve arkadaşları	Elektrikli araç uygulamalarında uygun değer gücü çıkarmak için bir maksimum güç noktası izleme denetleyicisinin gerekli olduğunu bildirmişlerdir. ANFIS tabanlı dönüştürücü kullanılarak kontrol edilen

	sistem bulanık mantık denetleyicisi ile karşılaştırıldığında, önerilen ANFIS denetleyicisinin ortalama DC bağlantı gücünü %1,95 oranında artırdığını göstermişlerdir [36].
--	--

Çizelge 1.2 de ANFIS’e ait 24 atıf numaralı çalışmada yarı z kaynaklı eviricinin ANFIS kullanılarak uygun güç koşullandırma arabirimi olarak tanımlanabildiği, 27 numaralı çalışmada ANFIS’in tahmin yaklaşımının doğruluğunun yüksek olduğu görülmüştür.

26.ve 34. çalışmalarda değişken koşullara karşı ANFIS kullanılmıştır.

28. çalışmada ANFIS’in verimli ve düşük maliyetli olduğu gösterilmiştir.

30. çalışmada ANFIS’i geleneksel yöntem ile kıyaslarken 31. ve 36. çalışmada yapay zekâ tabanlı yöntemler ile kıyaslamıştır.

Bu tezin amacı Güneş panellerinin çıkış gücü üzerindeki dalgalanmaları analiz ederek maksimum güç noktasının belirlenmesi amacıyla ANFIS ve PI kontrolör kullanılarak, MATLAB/Simulink ortamında güneş panelinden elde edilen bu güce etki eden farklı ortam koşullarının olumsuz etkilerini minimum seviyede tutabilecek sistem simülasyonunu gerçekleştirmektir.

Benzer çalışma olarak Anbarasu ve arkadaşları PV panelin maksimum güç noktasının takibi için kesirli dereceli PI kontrolör ile ANFIS temelinde uygulayarak, MATLAB simulink ortamında araştırmışlardır [37].

1.1. Tezin Organizasyonu

Birinci bölümde, tezin konusu açıklanır. İkinci bölümde, Güneş PV modülün eşdeğer devresi ve elektriksel özelliklerinin denklemleriyle ilgili gerekli araştırma ve bilgilendirme yapılmıştır. PI, PD, PID kontrol sistemleri hakkında açıklama yapılmaktadır. Farklı MGNİ yöntemlerini gösterilmiştir. İki MGNİ tekniği tartışılır. (FLC ve önerilen ANFIS) Bu yöntemlerle birlikte çalışan temel çalışma mekanizmasını gösterilir ayrıca DC-DC yükseltici dönüştürücünün rolü açıklanmıştır. Araştırma Bulguları bölümünde üretim verileriyle bir PV modelini simüle etmeyi tanıtmaktadır. Ek olarak, PV modülünün çıkış gücü üzerindeki değişen çalışma sıcaklığı ve güneş ışını ve bulutlanma etkisini test ederek araştırılmış ve analiz edilmiştir.

Simülasyonda kullanılan PV modelinin elektriksel karakteristik verileri üretimi gerçekleştirilen PV modeline aittir. Test simülasyon modeli MATLAB-Simulink

kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca bu bölümde, MPPT denetleyicileriyle simüle edilen tam PV sistemi, ANN ve DC-DC yükseltici dönüştürücünün anahtarının “D” katsayısını kontrol etmek için önerilen algoritma ANFIS ve PI kontrolör aracılığıyla çalışır ve maksimum gücü sağlamak için sistemi değişken ışıma çalışma koşullarında çalıştırır. Tüm simülasyonlar MATLAB Simulink Programı kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlar kaydedilmiş ve son bölümde listelenmiştir ve bu sonuçlara dayalı olarak MPPT kullanım nedenleri tartışılır. Toplam sonuçlar ve çalışmanın tüm sonuçlarını gösterir.



2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. PV Modül

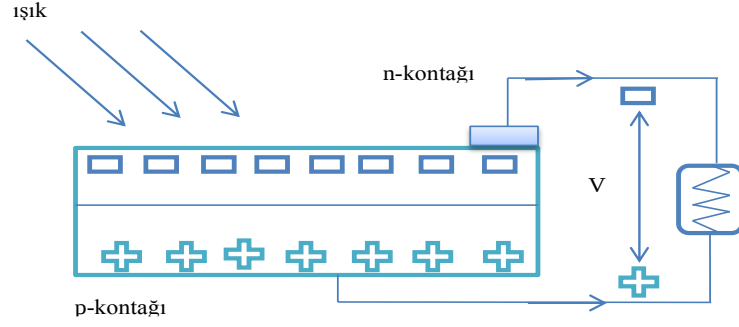
1839'da Edmond Becquerel ilk olarak güneş hücresi hakkında plakalar ile ilgili çalışmıştır. Şekil 2.1'de Güneş pilinin çalışma prensibi verilmiştir. Fotovoltaik piller (güneş pili) yüzeylerine gelen ışık taneciklerinin (foton) elektronların üst tabakası olan N 'den alt tabaka olan P 'ye doğru harekete geçmesini sağlayarak güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Bu elektronlar, güneş hücresindeki devre yolları ve bu iki tabakayı birbirinden ayıran yalıtkan tabaka üzerinden hareket edebilirler. Devre üzerinde bu elektronlar devreyi çizilen yollardan tekrar P 'den N bölgesine doğru tamamlar ve elektriği bu sayede üretirler. Kolektörler aracılığıyla da güneş enerjisi ısıya dönüştürülür. Yoğunlaştırılmış fotovoltaik sistemlerin amacı yoğunlaştırılmış gün ışığını fotovoltaik yüzeylere düşürerek elektrik enerjisi üretimini sağlamasıdır. Yoğunlaştırıcı Güneş enerji sistemleri Doğrusal Yakınlaştırıcılar ve Noktasal Yakınlaştırıcılar olmak üzere ikiye ayrılır. Doğrusal Yakınlaştırıcılar da Parabolik Oluk Kolektörler ve Frensel Aynaları olmak üzere kendi içinde ayrılır. Noktasal Yakınlaştırıcılar da Çanak Kolektörler ve Merkezi Alıcı Sistemleri olmak üzere kendi içinde ayrılır.

Kazmerski çalışmasında tek kristal, polikristal ve amorf hücre ve modüllerin sorunlarını ve performanslarını tartışıp, karşılaştırmıştır [38].

Toledo ve arkadaşları polikristal silikon, kadmiyum tellürit, amorf silikon ve organik PV'nin termal davranışı konusunda çalışmışlardır [39].

Akhmad ve arkadaşları çalışmasında a-Si (amorf silikon) modülünün maksimum gücünün, poly-Si (amorf silikon) modülününkinden yaklaşık %11 daha yüksek olduğunu sunmuşlardır [40].

Kalogirou çalışmasında çeşitli tipteki güneş enerjisi toplayıcıları ve uygulamaları hakkında bir araştırma sunmuştur [41].



Şekil 2.1: Güneş Pilinin P-N Eklem Gösterimi

Fotovoltaiklik güneş hücreleri üzerine düşen güneş ışıklarının (fotonların) ulaştığı anda güneş enerjisini direkt olarak DC elektrik enerjisine çeviren sistem olarak tanımlayabiliriz.

Güneş ışığı foton enerjisini içinde barındırır. Fotovoltaik hücreler üzerine düşen ışığın bir kısmını soğururken bir kısmını yansıtır. Soğurulan fotonlar yarı iletkenin elektron kopmasına neden olur. Yarı iletkenin *P-N* bölgelerinde bulunan elektron düzensizliği ile elektrik üretimi başlar.

Bir PV modülünden çıkarılan güneş enerjisinin en üst düzeye çıkarılması, verimliliğinin çok düşük olması nedeniyle özel bir endişe kaynağıdır. Bir PV modülünün çıkış gücü; coğrafi konum, güneş ışınımı, gölgeleme ve sıcaklık gibi koşullardan oldukça etkilenmektedir. PV modül üzerinde artan sıcaklığın etkisi ile optimum sıcaklık değerinden yüksek değerler için PV Modül açık devre çıkış voltajı azalırken, kısa devre akımı artar.

PV modül dizilerinde seri ve paralel bağlı durumlardaki koşulların sonucu olan kayıpları azaltmak için Bypass diyotu devre elemanı olarak sisteme eklenir. Bypass diyotu, üzerine gölge düşen PV dizisinin modüllerinden akımı toplayabilmek için takılır. Seri bağlı hücre dizisinde Bypass diyotu kullanılmazsa üzerine gölge düşen PV modülü gölgeli ortamda olmayan diğer hücrelerden gelecek enerji sürekliliğini engeller. Fakat Bypass diyotu da bir enerji harcar, ama avantaj olarak diğer PV modüllerden enerji toplanması söz konusu olduğundan harcanan enerji göz ardı edilir. Bu sebepten yüksek voltajlı sabit dizilerde kullanımı daha çok tercih edilir. Modüller paralel bağlandığında gölgeli koşullarda Bypass diyotuna gerek kalmaksızın daha iyi performans gösterir.

PV sistemler birlikte kullanılmaya uygun olup gerekli kombinasyonlar yapılarak miliwatt (mW) seviyesinden megawatt (MW) seviyelerine kadar çıkış alınabilir. PV

panellerin seri bağlanması ile gerilim, paralel bağlanması ile akım artar. Böylece çıkış akım ve voltajın ayarlanması sağlanır.

Hücreye ait akım-gerilim (I - V) karakteristik değerleri üç ayrı yöntemle belirlenebilir. Birincisi sabit ışınlım altında, ayarlı direncin açık devre ve kısa devre arasında değiştirilerek, PV hücrenin uçları arasındaki gerilime karşı dirençten geçen akım ölçülür. İkinci olarak amaç PV hücrenin diyot olarak çalıştırılmasıdır. Bu durumun gerçekleşebilmesi için ışıksız bir ortamda, dış DC besleme kaynak yardımı ile çalışmasıdır. Üçüncü olarak şiddeti değiştirilebilen bir ışık kaynağının altında V_{oc} ve I_{sc} değerleri ölçülür.

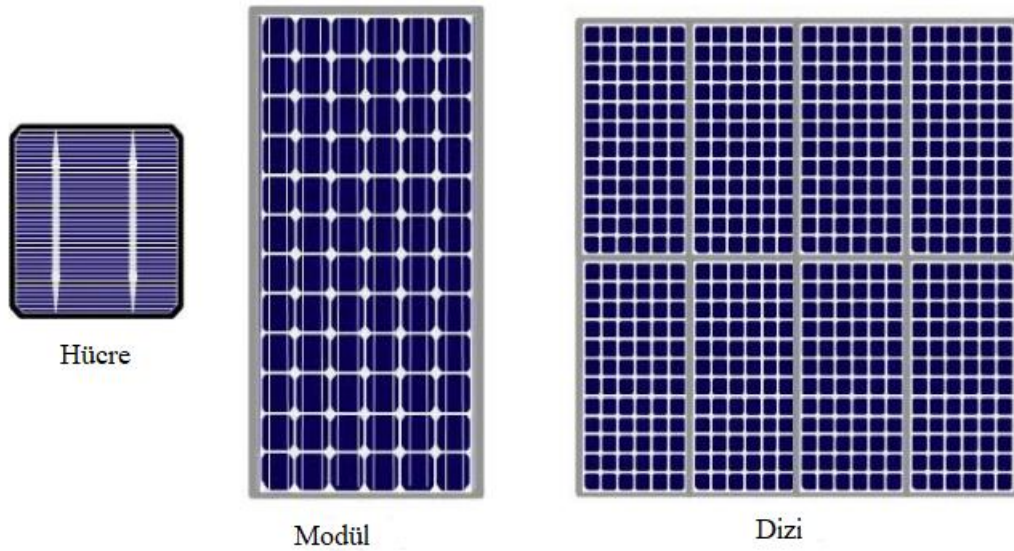
Açık devre gerilimi (V_{oc}), modülden herhangi bir akım akmaması durumunda hücre uçlarından ölçülen gerilimdir.

Kısa devre akımı (I_{sc}), modül üzerinde herhangi bir gerilim olmaması durumundaki maksimum çektiği akımdır. Şekil 2.2'de Güneş pili, modül, dizi oluşum aşamaları gösterilmiştir.

Güneş Pili: Tek bir PV hücresi ışığı elektriğe dönüştürür.

PV Modül: Seri veya paralel bağlanmış birkaç adet güneş pilinden oluşur.

PV Dizisi: Seri veya paralel bağlanmış birkaç adet güneş modülünden oluşur.

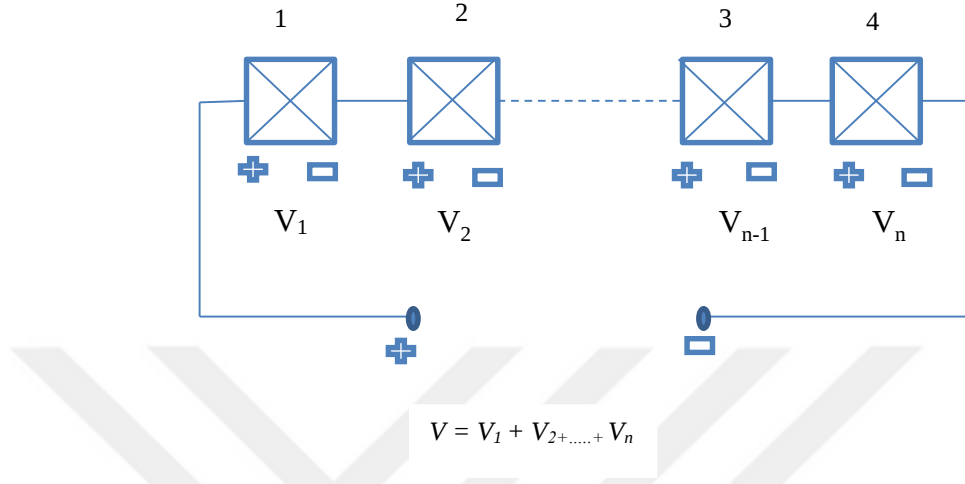


Şekil 2.2: PV Hücre, Modül, Dizi Oluşum Aşamaları

Şekil 2.3’de seri bağlı modül ve şekil 2.4’de paralel bağlı modül gösterilmiştir.

Devre seri bağlandığında çıkış gerilimi denklem 2.1’deki gibi hesaplanır.

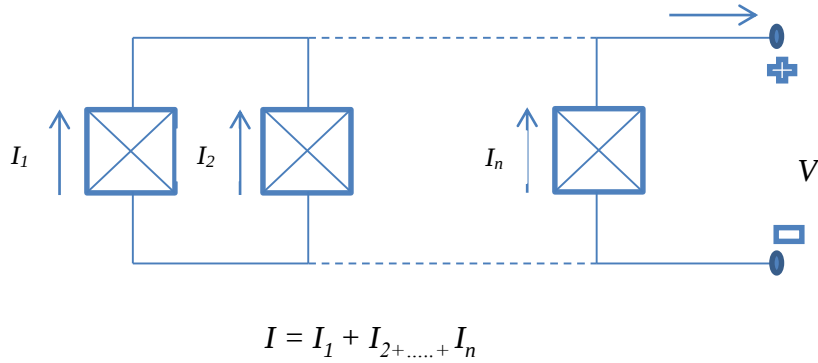
$$V_{out} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots V_n \quad (2.1)$$



Şekil 2.3: Seri Bağlanan PV hücrenin Devre Şeması

Devre paralel bağlandığında çıkış akımı denklem 2.2’deki gibi hesaplanır.

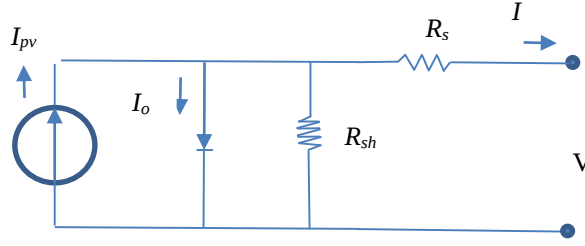
$$I_{out} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots I_n \quad (2.2)$$



Şekil 2.4: Paralel Bağlanan PV Hücrenin Devre Şeması

PV’nin modellenmesi için birden çok güneş hücresi PV hücrenin elektrik eşdeğer devresi aşağıdaki şekil 2.5’te verilmiştir. Eşdeğer devre modelinde akım kaynağı ve bu akım kaynağına paralel bir diyottan oluşmaktadır. Şekil 2.5’de verilen eşdeğer devrede seri direnç (R_s) akım akışından kaynaklanan güneş hücresinin iç kayıplarını ifade etmektedir ve

maksimum güç üretimi için küçük olması istenir. Devrede adı geçen R_p direnci ise, paralel bağlı dirençtir.



Şekil 2.5: PV Modelin Matematiksel Devre Modeli

PV modelin akım gerilimi aşağıdaki 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7 numaralı denklemlerle verilmiştir.

$$I = N_p \times I_{ph} - N_p \times I_s \times \left[\exp \frac{q(V+IR_s)}{N_s k T A} - 1 \right] \quad (2.3)$$

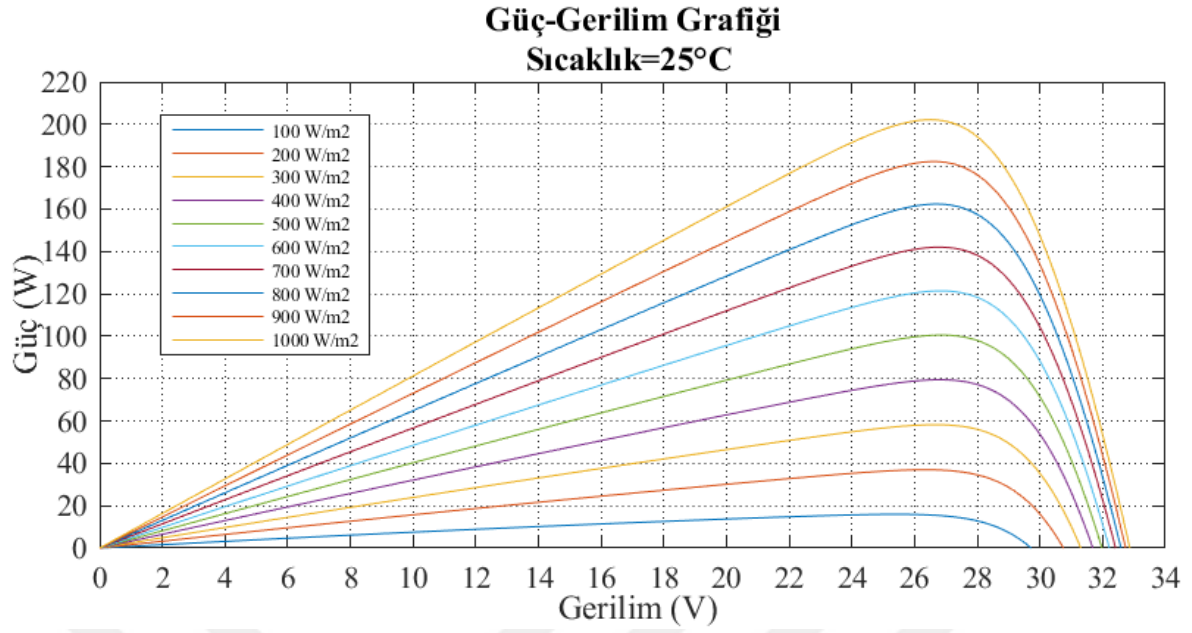
$$I_{ph} = [I_{SC} + K_i \times (T - T_r)] \times \gamma \quad (2.4)$$

$$I_s = I_{rs} \times \left(\frac{T}{T_r} \right)^3 \exp \left[q E_g \frac{1/T_r - 1/T}{k \times A} \right] \quad (2.5)$$

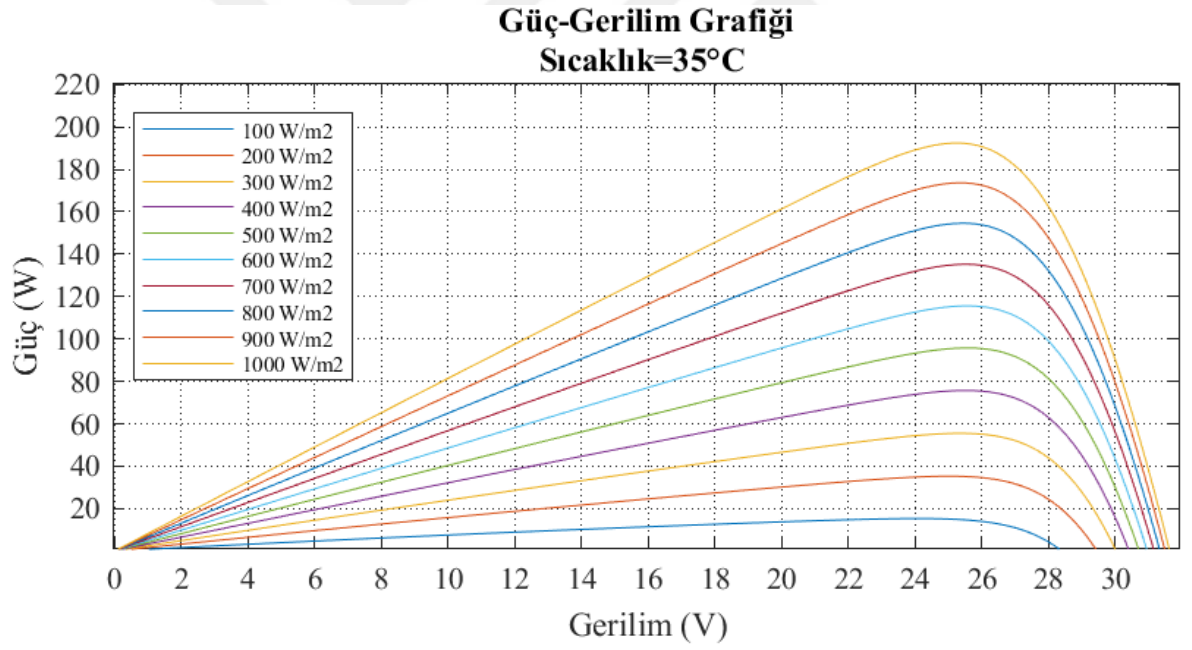
$$I_{rs} = \frac{I_{SC}}{\exp \left[\frac{q \times V_{OC}}{N_s \times k \times A \times T} \right] - 1} \quad (2.6)$$

Şekil 2.9’da PV hücrenin MATLAB programındaki matematiksel devre modeli gösterilmiştir.

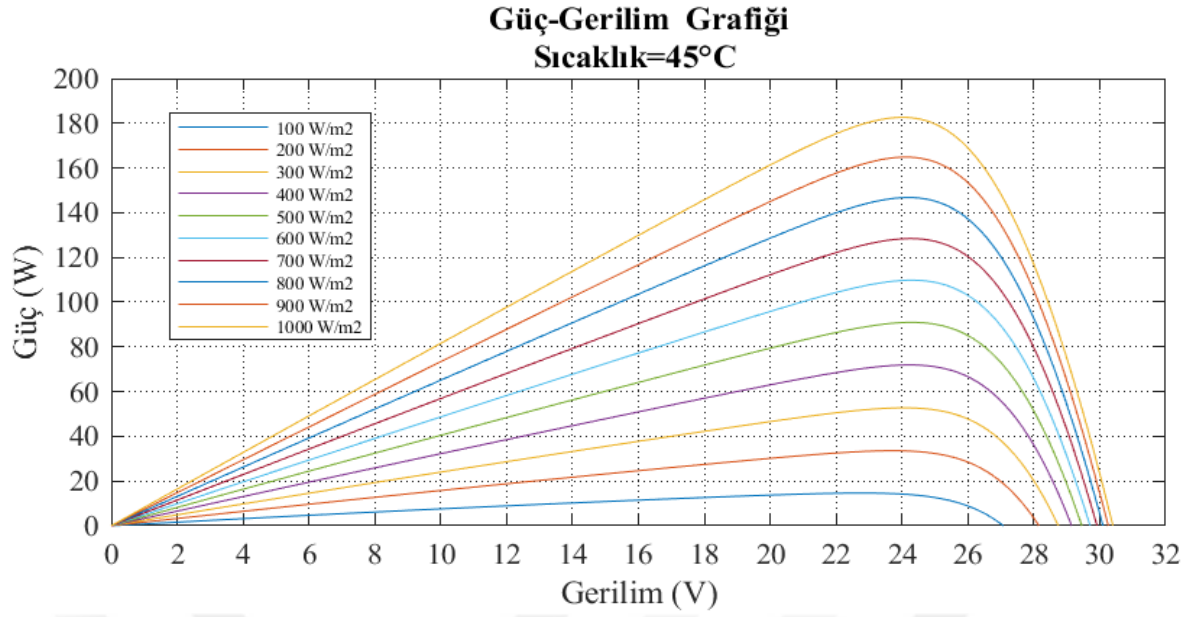
$$I = I_{ph} \times N_p - I_0 \times N_p \times \left(e^{\left(\frac{q \times (V_{pv} + I_{pv} \times R_s)}{N_s \times k \times A \times T} - 1 \right)} - \frac{V_{pv} \times \frac{N_s}{N_p} + I_{pv} \times R_s}{R_p} \right) \quad (2.7)$$



Şekil 2.6: 25 °C Sabit Sıcaklık Altında PV Modül Çıkış Gücü- Çıkış Gerilimi Grafiği

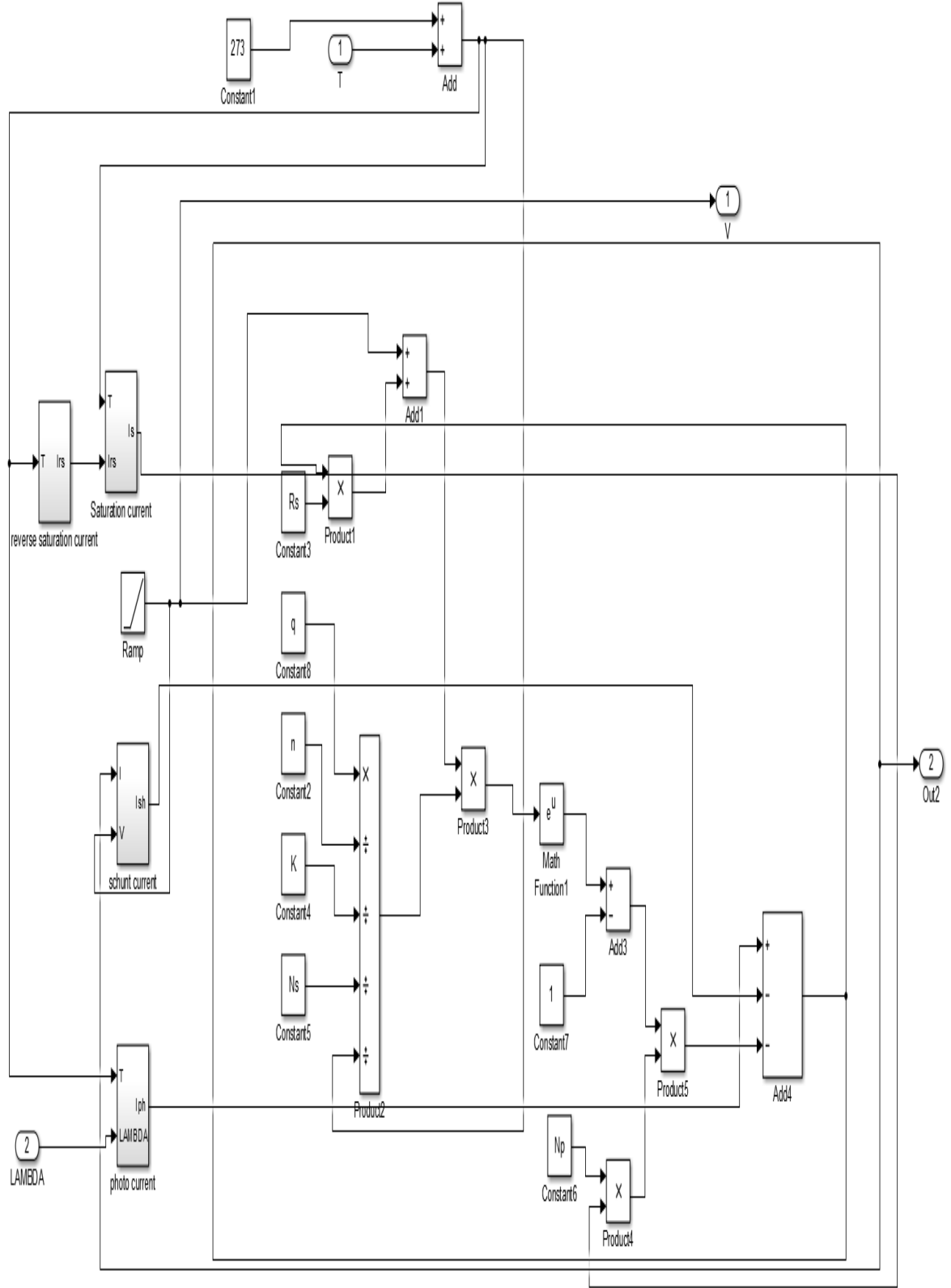


Şekil 2.7: 35 °C Sabit Sıcaklık Altında PV Modül Çıkış Gücü- Çıkış Gerilimi Grafiği



Şekil 2.8: 45 °C Sabit Sıcaklık Altında PV Modül Çıkış Gücü- Çıkış Gerilimi Grafiği

PV hücrenin sabit 25°C sıcaklık altındaki PV Modül çıkış gücü- çıkış gerilimi grafiği şekil 2.6’da, 35°C sıcaklık altındaki PV Modül çıkış gücü- çıkış gerilimi grafiği şekil 2.7’de, 45°C sıcaklık altındaki PV Modül çıkış gücü-çıkış gerilimi grafiği şekil 2.8’de görülmektedir.



Şekil 2.9: PV Hücre Matematiksel MATLAB modeli

PV hücrenin ve PV modülün verimleri farklılık gösterir. Bir PV hücrenin verimi, PV modülün veriminden daha yüksektir. Modülün $P-N$ eklem ve PV hücrelerde verim

kaybına sebep olan iki önemli etken bulunmaktadır. Birinci olarak enerjisi yasak bant aralığından düşük olan fotonların soğurulamamasıdır. İkinci olarak enerjisi yüksek olan fotonların fazlalık enerjilerinin ısıya dönüşmesidir. Bu iki kaybın toplamı güneş enerjisinin bir kısmının kullanılmadığı anlamına gelmektedir. Herhangi bir PV sistemin verimini etkileyen etmenler şunlardır: PV hücrenin malzemesi, PV hücrenin akım gerilim özellikleri, dolum (şarj) kontrol cihazının özellikleri, DC-DC dönüştürücü verimi, akü verimi, sıcaklık, sistemde kullanılan kablonun akım kapasitesi, PV tesisat üzerinde toz birikmesi, PV dizilerin eğim açısı, PV hücrelerin yüzeyine uygulanan işlemler ve PV tesisata uygulanan bakım/onarım işlemleridir.

Güneş enerjisi uygulamalarının tasarımı, boyutlandırılması, performans değerlendirmesi ve araştırılması için bir dizi radyasyon parametresine ihtiyaç vardır. Bunlar, toplam güneş radyasyonu, ışın radyasyonu, dağınık radyasyon ve güneş ışığı süresini içerir.

Temelde iki tür güneş radyasyonu ölçüm cihazı vardır: piranometre ve pireliometre. Piranometre güneşten gelen dağınık güneş ışınımını, pireliometre ise esas olarak konsantre güneş kolektörlerinin performansını tahmin etmek için gerekli olan doğrudan güneş ışınımını ölçmek için kullanılır.

PV sistemini maksimum noktada verimlilikte çalıştırmaya zorlamak için MGNİ'ye ihtiyaç vardır.

2.2. MGNİ Kontrolör Yapıları

2.2.1. PI, PD, PID kontrolör

PID Kontrol, üç temel kontrol etkisinin (P, I, D) birleşiminden meydana gelmiştir. PID kontrol transfer fonksiyonu 2.8 numaralı denklem ile verilmiştir;

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \times \left(1 + \frac{1}{T_i \times s} + T_d \times s \right) \quad (2.8)$$

PID kontrol; Orantısal, integral ve türevsel kontrolörlerinin üstünlüklerini tek bir birim içinde birleştiren bir kontrolördür. Sistemde olası kalıcı hal durum hatasını integral kontrolör sıfırlarken türevsel kontrol, yalnızca PI kontrolör etkisi kullanılması haline göre sistemin aynı bağıl kararlılığı için cevap hızını artırır. Buna göre PID kontrolör kalıcı hal durum hatası olmayan hızlı cevap veren bir sistem sağlar. Burada K_p , T_i ve T_d parametreleri orantılı ayarlanarak uygun bir kontrol sağlanabilir. Eğer bu katsayılar elverişli bir şekilde ayarlanmayacak olursa, PID kontrolün sağlayacağı üstün özellikler gösteremez.

P Kontrol: Sistem üzerinde yalnızca oransal katsayının (K_p) etkili olduğu $T_i \rightarrow \infty$ ve $T_d \rightarrow 0$ şartlarını sağlayan durumdur. Oransal Kontrol yükselme zamanına pozitif etki eder fakat üst aşım tam tersi etki gösterir. Oransal katsayısının (K_p) çapmaya göre tersinin yüzdesi orantı bandı (PB) olarak adlandırılır. P kontrolün orantı etki PB (orantı bandı) cinsinden ayarlanır.

$$PB = \frac{1}{K_p \times 100} \quad (2.9)$$

2.2.1.1. PI kontrol

PI Kontrol: Orantı etkiye integral etki ilavesi ile elde edilen PI tipi kontrol organı yapısı nispeten basit olup özellikle süreç kontrol sistemlerinin %75-%90 arasında kullanılır. Basınç, seviye ve akış kontrol sistemleri yaygın kullanım alanlarındandır; denetlenen çıkış büyüklüğünde meydana gelebilecek kalıcı hal-durum hatalarını integral etki ortadan kaldırır. P kontrole integral etkinin eklenmesinin nedeni değişken sistemin talepleri üzerinde yeterli bir kontrol etkisi sağlamaktır. Sistemden gelen talebin sadece P etkisi ile karşılanması halinde I etkinin kullanılması gereksizdir.

2.2.1.2. PD kontrol

PD Kontrol: Orantı etkisine türev etkisi ilave elde edilerek oluşturulan denetleyicidir. Bu kontrolör hatanın değişmediği durumlarda kalıcı hal durum hatasını yok etme kabiliyetine sahip değildir. Kalıcı hal durum hatasının önemslenmediği, geçici hal durum hatasının normalleştirildiği sistemlerde tercih edilir. Türevsel etki sisteme etki eden hatanın yönünü belirleyerek hatanın ters yönüne sönüm etkisini oluşturur. Gürültü sinyalleri, hatanın değişiminden etkilenen türev etkisine olumsuz etki oluşturur. Bu nedenle çıkış sinyalinde salınımlı hareket görülebilir.

PID Kontrol: P, I, D parametrelerinin birleşmesi sonucunda PID denetleyici oluşturulur. Ortaya çıkan zaman gecikmeleri PI kontrolöre türev etkinin eklenmesi ile PID kullanılmış olur.

Düşük sinyal ve devrenin çalışmasına olumsuz etki gösteren sinyale sahip bir sistemin PI kontrolör ile çalıştırılması halinde orantı bandının geniş ayarlı ve türev kazanç katsayısının düşük tutulması gerekmektedir. Aynı sisteme geniş zamanlı yüksek bozucu sinyal gönderilirse PI, ortaya çıkan hataların değişimini izleme durumunda başarılı olamaz.

Bu tip senaryoda türevsel etkinin tepki süresinin hızlandırılmasına ihtiyaç vardır. Sisteme türevsel bir kontrolcü eklendiğinde K_p oransal kazanç mevcut sisteme göre yüksek

değerler alabilir. Böylece sistem kararsızlığını dengeleyerek daha stabil ve kararlı bir hal alır. Sonuç olarak eski sisteme göre PID kontrol etkisi ile bir taraftan kalıcı hal durum hatası sıfırlanırken diğer taraftan da sistemin geçici hal durum davranışı iyileştirilmiş olur.

Esfandyari ve arkadaşları klasik PID kontrolör ve Fuzzy PID kontrolörlerinin performanslarını kıyaslamışlardır [42].

2.2.1.3. Kontrolör parametrelerinin tespiti

P, PD, PI ve PID kontrolörlerin çalışma prensipleri ve birbirlerine karşı avantajları ve dezavantajları hakkında gerekli bilgiler verilmiştir. Kullanılacak mevcut sistem için en uygun kontrolörün tespiti ve sistemin kontrolörünün katsayılarının belirlenmelidir.

Endüstriyel sistemlerde genellikle PI, PID kontrolörler tercih edilmekte olup bu iki kontrolörün tasarımları arasında aşırı bir fark bulunmamaktadır. Bu aşamada en önemli nokta çalışılacak sisteme özgü kontrolör değerlerinin tespit edilmesidir.

Bu değerlerin saptanmasında birçok yöntem olmasına rağmen en çok tercih edilen Ziegler-Nichols metodudur. Bu metot, kontrolör değerlerinin tespitini basit formüllerle elde edilmesini sağladığı için endüstriyel tasarımlarda sıklıkla tercih edilmektedir. Bu metotla elde edilen kontrolör değerleri her zaman çalışılan sistem için en uyumlu değerler olmayabilir. Fakat bu değerler hakkında yaklaşık olarak fikir edinmemizi sağlar. Ziegler-Nichols Metodu uygulanacağı zaman ilk olarak basamak yanıt metodu sonucu elde edilen kontrolör değerlerine bakılır. Çalışılan sistem üzerine basamak metodu yanıtı (L) ölü zaman ve (K) yanıt olduğunda $a=K.L$ olduğundan a değeri bulunmuş olur. Daha sonra aşağıdaki Çizelge 2.1'deki kontrolör parametreleri belirlenir.

Çizelge 2.1: Ziegler- Nichols Metodu basamak yanıt metoduna göre kontrolör parametrelerinin tespiti.

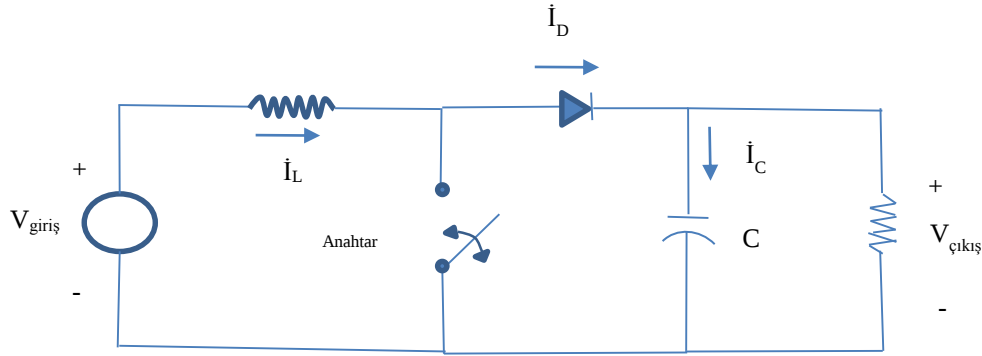
Kontrolör Tipi	K	Ti	T _d
P	1/a	-	-
PI	0.9/a	3.33L	-
PID	1.2/a	2L	L/2

Bu tez çalışmasında, MATLAB programında gömülü olarak bulunan PID modülü kullanılmıştır. Modül içerisindeki oransal integral ve türevsel kontrolörleri ayrı ayrı kombinasyonlarla kullanarak farklı tip kontrolör modülü elde edilebilir. Parametre

ayarlarının kolay olması ve parametre ayar değişimi yapıldığı anda sistemin çıkışındaki değişimlerin anlık yansıtması nedeniyle tercih sebebidir. Kontrolör değerleri sistem çıkışı gözlenerek en uygun değer bulunana kadar değiştirme yöntemi ile belirlenmiştir.

2.3. BOOST DC-DC Dönüştürücü

DC-DC dönüştürücü bir DC gerilimi başka bir DC gerilim seviyesine dönüştürür. Şekil 2.10'deki DC-DC dönüştürücü devresinin çıkış yükünü istenilen değere sabitlemek için bir elektronik devre anahtarı, bir diyot, bir bobin, filtre kondansatöründen oluşmaktadır.



Şekil 2.10: DC-DC BOOST Dönüştürücü Devresi

Boost dönüştürücünün görevi giriş gerilimini gerekli olan gerilim düzeyiyle devrenin, çıkışına yükselterek göndermektir. Dönüştürücünün çıkış gerilimi giriş geriliminden daha yüksektir. DC-DC yükselteç dönüştürücü devresindeki anahtarın açılıp kapatılması ile çalışır. Şekil 2.11'de anahtarın kapalı olduğu devre şeması verilmiştir. Çıkış voltaj seviyesinin kontrolü PWM (Sinyal Darbe Modülasyonu kullanılarak) anahtarın oran görev döngü katsayısı (D) ile açma kapama süresi ayarlanarak kontrol edilir. Anahtar kapandığında diyot açılır ve devre 2 göz olacak şekilde çalışmaya başlar. Devrenin girişine gelen DC voltajı indüktörü şarj eder. Şekil 2.12'de anahtar açık durumda iken devreden geçen akım artar. Kirchoff akım kanununa göre, bobin üzerindeki gerilim hesaplanabilir. Şekil 2.13'da yükseltici devrenin akım-zaman, gerilim-zaman grafikleri verilmiştir.

$$V_L = V_o = L \times \frac{\partial i_L}{\partial t} \quad (2.10)$$

Bobin akımındaki artış denklem 2.11'de verilmiştir;

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\partial i_L}{\partial t} = \frac{V_s}{L} \quad (2.11)$$

Devrenin çözümlenmiş hali denklem 2.12’de verilmiştir;

$$\Delta i_{L(kapalı)} = \frac{V_S \times D \times T}{L} \quad (2.12)$$

Anahtar açıkken diyot devreye girer. Bobin birbirine paralel kondansatör ve yüke bağlı kaynaktan oluşan kapalı bir döngü oluşturur. Bobin harici bir yük kaynağı olarak davranır. Anahtarın kapalı olduğu durumda yüklü olan bobin depo enerjisini RC yüküne boşaltır.

Bobin üzerindeki gerilim denklem 2.13 ve 2.14’de verilmiştir;

$$V_L = V_S - V_0 = L \times \frac{\partial i_L}{\partial t} \quad (2.13)$$

$$\frac{\partial i_L}{\partial t} = \frac{V_S - V_0}{L} \quad (2.14)$$

Anahtar açıkken indüktör akımındaki değişiklik denklem 2.15’de verilmiştir;

$$\frac{\partial i_L}{\partial t} = \frac{V_S - V_0}{L} = \frac{\Delta i_L}{(1-D) \times T} \quad (2.15)$$

Denklemin çözümü denklem 2.16’de verilmiştir;

$$\Delta i_{L(açık)} = \frac{(V_S - V_0) \times (1-D) \times T}{L} \quad (2.16)$$

Bobin üzerinden geçen akım sıfır olmalıdır. Denklem 2.17 ve 2.18’de verilmiştir

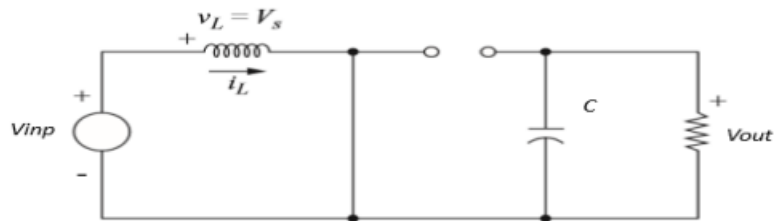
$$\Delta i_{L(kapalı)} + \Delta i_{L(açık)} = 0 \quad (2.17)$$

$$\frac{V_S \times D \times T}{L} + \frac{(V_S - V_0) \times (1-D) \times T}{L} = 0 \quad (2.18)$$

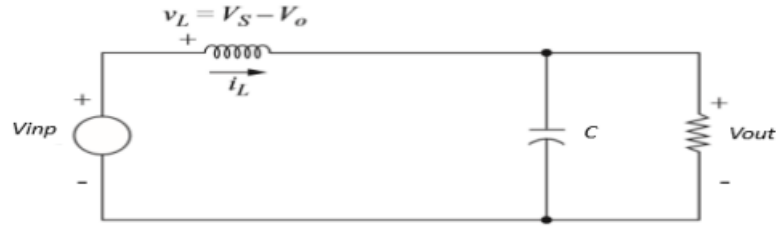
Denklem çözüldüğünde denklem 2.19 ve 2.20’de verilmiştir;

$$V_S \times (D + 1 - D) - V_0 \times (1 - D) = 0 \quad (2.19)$$

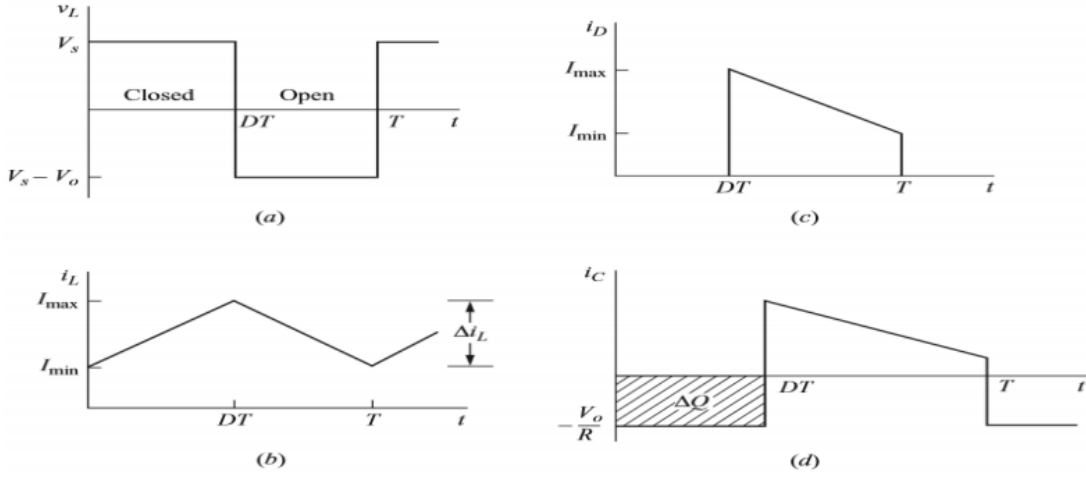
$$V_0 = \frac{V_S}{1-D} \quad (2.20)$$



Şekil 2.11: Anahtar Kapalıyken Devre Şeması



Şekil 2.12: Anahtar Açıkken Devre Şeması



Şekil 2.13: DC-DC yükseltici devrenin (a) Bobin Gerilim-Zaman, (b) Bobin Akım-Zaman, (c) Diyot Akım-Zaman, (d) Kondansatör Akım-Zaman grafikleri

Çıkış gücü ve bobin akımı denklem 2.21 ve 2.22’de verilmiştir.

$$P_{\text{çıkış}} = \frac{V_o^2}{R} = \frac{V_o^2 \times R}{(1-D)^2} = V_{\text{inp}} \times I_L \quad (2.21)$$

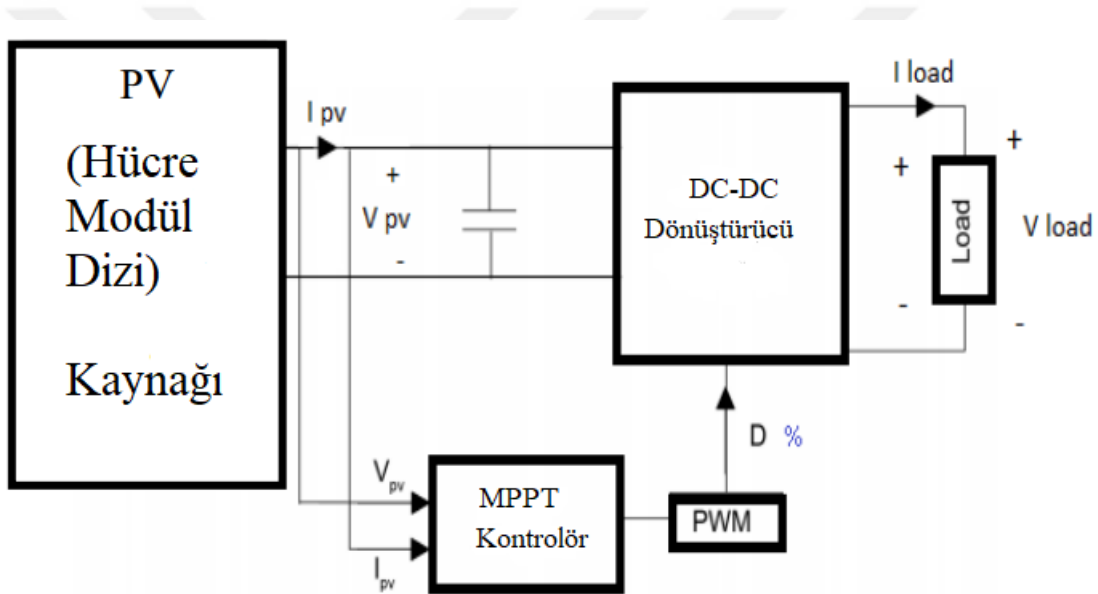
$$I_L = \frac{V_o}{R \times (1-D)^2} = \frac{V_o^2}{V_S \times R} = \frac{V_o \times I_o}{V_S} \quad (2.22)$$

2.4. MGNİ (Maksimum Güç Noktası İzleyici)

Maksimum Güç Noktası: PV hücre modüllerinin çıkış gerilimi ve çıkış akım aralığı ışıma ve sıcaklık değerlerine göre geniş bir aralıkta değer alır. Işınım altındaki PV hücrenin devresinin direncinin sürekli artırılarak açık devre haline getirilerek maksimum güç noktası belirlenebilir. Maksimum güç noktasında PV çıkış gücü yüksektir. Bu noktada, PV hücre bulunduğu ışınım seviyesinde en yüksek güç elde edilir.

Maksimum güç noktası ışıma ve sıcaklık değerine göre değişir. Şekilde görüldüğü gibi PV hücrenin çıkış parametreleri olan akım (I) ve gerilim (V)’a bağlı tek bir maksimum

güç noktası vardır. Maksimum nokta altında bulunan V/I formülü karşılığınca direnç değeri belirlenir. PV hücresinin her değişen parametreye bağlı olarak yalnızca tek bir optimum çalışma noktası vardır. Şekil 2.14’de çalışma prensibi verilen maksimum güç noktası izleyicileri, maksimum gücü bulmak için bir tür kontrol devresi ve kontrol mantığını kullanılır. Bu devreler kontrol mantığı aracılığıyla dönüştürücü devresinin bu PV hücresinden maksimum gücü yakalamasına olanak verir. Aslında izleyiciler hücreden çekilen gücü en yüksek seviyede tutmak için akımın en üst seviyede olduğu gerilim değerini optimize eder. MGNİ bu aralıkta PV hücresinin çalışmasına izin veren bir yöntemdir. Yüke maksimum seviyede güç kazancı sağlayabilmek için güneş panelinden gelen gerilim ve akım değerlerinin çalışma noktasını belirler.

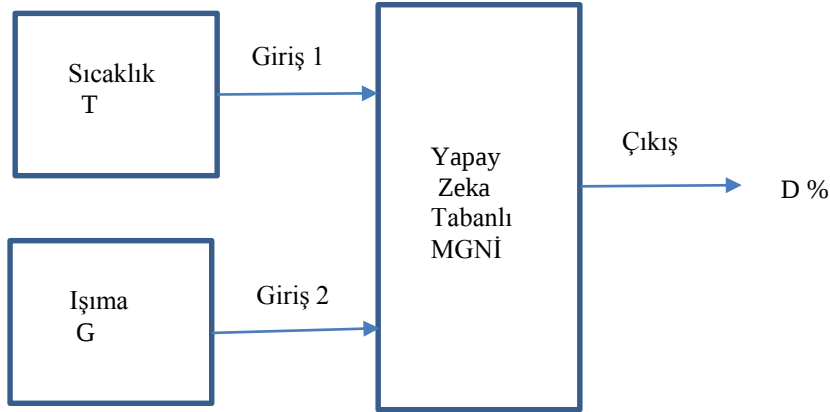


Şekil 2.14: MGNİ Çalışma Diyagramı

Gün içinde güneş ışınlarının yer yüzüne ve aynı zamanda PV modüle düşme açısı sürekli değişmektedir. Buna bağlı olarak PV panelin (fotovoltaik hücrelerin) absorbe ettiği ışın miktarı da değişeceği için elde edilen enerji her zaman aralığında farklı olacaktır. Sistemin düzensiz çıkış sinyalleri doğrudan yüke verilemez. Bu güç sinyalinin doğrultup düzenli ve verimli bir hale getirilmesi gerekmektedir. İşte MGNİ bu sırada devreye girer. Farklı zaman aralıklarında elde edilen farklı güç değerlerinin maksimum anları tespit ederek bu değerlerde sabitler.

2.4.1. Yapay zekâ tabanlı maksimum güç izleme yöntemleri

Şekil 2.15’de Yapay Zekâ Tabanlı Maksimum Güç Noktası İzleyicilerin çalışma prensibi gösterilmiştir. PV modülün belirlenen sıcaklık ve ışıma değerlerine karşılık gelen maksimum güç noktasının not edilip biriktirilerek güçlerin tahmini değerleri ile bir altyapı oluşturulur. Bulanık Mantık Yöntemi ve ANFIS Yöntemi Yapay Zekâ yöntemlerindendir.



Şekil 2.15: Yapay Zeka Tabanlı MGNİ Çalışma Prensibi

2.4.1.1. Fuzzy lojik yöntemi (bulanık mantık yöntemi)

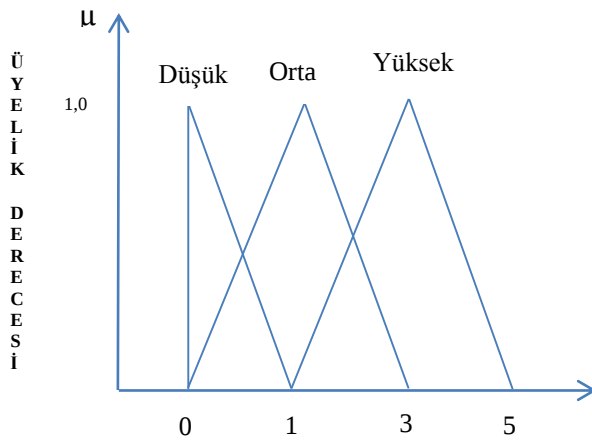
Bulanık Mantık kavramı, ilk Lotfi Zadeh tarafından tanıtilen bir teoridir. 1965 yılında, bir kural mekanizması oluşturma ve makineye aktarma fikrinin temelleri, 1965 yılında Zadeh tarafından, insan yaşam deneyimlerinden ve her türlü bilgiden yararlanarak atılmıştır. Bulanık mantık, en basit haliyle bir karar mekanizması tasarımı olarak tanımlanabilir. Bununla birlikte, bir makineden çok, bir insana benzeyen bir örnek olarak alınmalıdır.

Bulanık mantık, 1 veya 0 Boole mantığından ziyade doğruluğa yakınlık derecelerine dayanan hesaplamalı bir yaklaşımdır. Bulanık mantık, bir şifreleme türünü diğerine dönüştüren bir formül olarak düşünülebilir; Ara değerlere sahiptir. Aslında, bulanık değil, yuvarlak ve esnek olarak tanımlamak mümkündür. Bir yaklaşım olarak bulanık mantık, makinelerin insanın düşünme tipine benzer şekilde çalışma yeteneği sağlarken, başlangıç noktasının klasik mantık olduğu söylenebilir. Şekil 2.16’te bulanık üyelik fonksiyonu örneği verilmiştir. Mantığın, genel gelişiminden sonra modern çağda böyle bir dal verdiği söylenebilir. Doğal olanın matematiksel olarak makineye yansıtılmasını sağlayan bir mekanizmaya rastlıyoruz. Doğadaki karmaşık davranışlar,

şekiller ve desenler çok açık, doğrusal ve net olmadığı gibi, bunları mantık yoluyla makinelere aktarma işi de "bulanık mantık" tır, bu yüzden bulanık mantık kavramı ortaya çıkmıştır. Doğal olana uyum sağlamaya çalışan matematiksel modellerin gerektirdiği uyum, bulanık mantığın temelidir; belirsizlik vardır.

Bu mantığın işleyişinde geleneksel yöntem haricinde farklı üç aşama kullanılır:

- 1.Bulanık mantık kümelerin oluşturulması
- 2.Kümeleri kullanarak kurallar yazılması
- 3.Karar verme süreci



Şekil 2.16: Örnek Bulanık Üyelik Fonksiyonu

Bulanık kümeler, 0 ile 1 arasında kesin bir çizgi olmasına rağmen kesin sınırları olmayan kümedir. Bulanık kümenin açıkça tanımlanmış bir limiti yoktur. Bulanık kümeler, farklı üyelik derecelerine sahip elemanlardır.

Bulanık mantık ilkeleri klasik mantık ilkeleri gibi çalışmaz. Bulanık mantık ilkeleri tamamen doğru veya tamamen yanlış değerlere sahip değildir. Bunun yerine, yanlış veya doğruya yakın, kısmen doğru ve kısmen yanlış gibi belirsiz seçenekler değişken aralığında kabul edilir. Verileri işleyebilir ve anlamlı bilgilere dönüştürebilir. Anlamlı bilgiler kullanarak insan düşüncesine yakın modelleme stilleri ile kontrol ve karar verme süreçleri oluşturabilir.

Bulanık kurallar sistemin basit giriş çıkışını ilişkilendirir. Bulanık Mantık küme kuralları IF-THEN (Koşul –Sonuç) ile ilişkilidir. Giriş verileri kuralın koşul kısmı ile çıkış verileri kuralın sonuç kısmı ile ilgilidir. Elde edilmek istenen işin hassasiyetinin yüksek olması için kural sayısının fazla olması gerekir.

Bulanık Mantık Yöntemi 4 katmandan oluşmaktadır. Bunlar Bulanıklaştırma, Kural Tabanı, Çıkarım Mekanizması ve Durulaştırma.

Bulanıklaştırma: Kesin değerlerin bulanık kümelerle dönüştürülmesi işleminin yapıldığı bölümdür

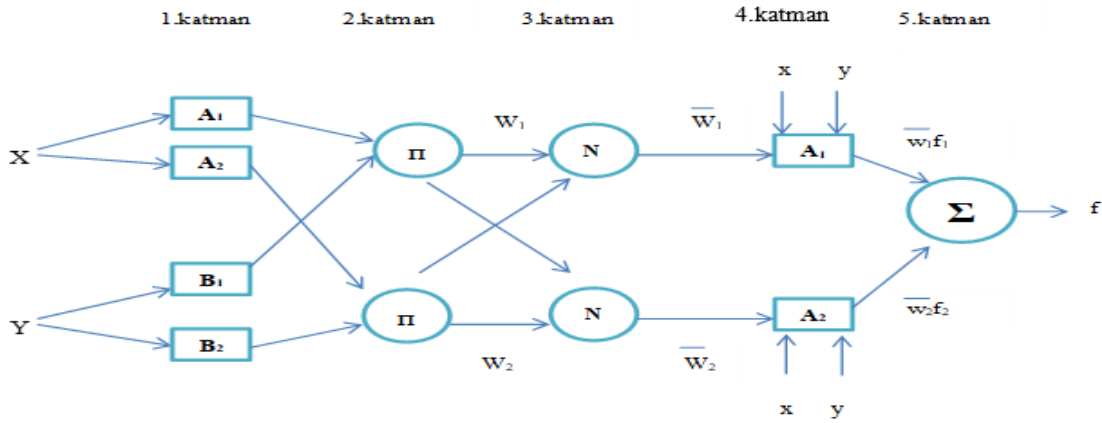
Kural tabanı: Koşul –Sonuç kurallarından oluşur.

Çıkarım mekanizması: Kurallara bir çıkarım yapmak ve üyelik fonksiyonları ile sonuçlar elde etmek.

Durulaştırma: Kesinleştirme işlemidir. Çıktıların kesinleştirildiği bölümdür.

2.4.1.2. ANFIS Yöntemi

Uyarlanabilir Ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemleri (ANFIS), yapay sinir ağlarının paralel hesaplama ve öğrenme yeteneğini ve bulanık mantığın çıkarım özelliğini kullanan bir yapay zekâ yöntemidir. Yapay sinir ağı ve bulanık mantık sisteminin birleşiminden oluşan bir kombinasyondur. Şekil 2.17’de 5 katmanlı bir ANFIS yapısı verilmiştir.



Şekil 2.17: ANFIS Yapısı

Uyarlanabilir ağlar, bir işlem birimini temsil eden doğrudan bağlı düğümlerden oluşur. Düğümler arasındaki bağlantılar, aralarında belirsiz bir değer ilişkisi (ağırlık) gösterir. Sistem tanımlama için uyarlanabilir ağlar kullanılır. En uygun ağ yapısı ve parametre kümeleri ile verilen giriş-çıkış veri kümeleri tarafından tanımlanan bilinmeyen sistemin en iyi modellenmesinde kullanılır. Düğümler uyarlanabilir ağlardan oluşur. Bu düğümler arasındaki birleşme noktaları ağırlığı ifade eder. Öğrenme kuralları, anlık değişimler sonucu oluşan parametrelerin, hatayı minimum yapacak şekilde ağı tamamının

çıkışı ile hedef değer arasındaki farkın nasıl değiştirilmesi gerektiğini belirler. Sistemin matematiksel modellemeye ihtiyacı yoktur.

İleri besleme ile çalışan ANFIS, 5 ayrı katmandan oluşur.

1.Katman: Bu ilk katman Bulanıklaştırma olarak adlandırılmaktadır. Giriş verilerini bulanık kümelerle ayırır. Üyelik dereceleri, üyelik fonksiyonlarına bağlıdır. Bu katmandaki düğümlerin çıkışı giriş veri değerlerinin ve üyelik derecelerinin bir sonucudur ve denklem 2.23 ve 2.24’de verilmiştir.

$$O_{(1,i)} = \mu A_i(x) \quad i = 1,2 \quad (2.23)$$

$$O_{(1,i)} = \mu B_i(y) \quad i = 3,4 \quad (2.24)$$

$A_i(x)$ ve $B_i(y)$ üyelik fonksiyonlarıdır. Üyelik fonksiyonları bulanıklaştırma ile elde edilirler.

2.Katman: Kural katmanıdır. Bu katmandaki her düğüm kurallara ve sayılara eşittir. Üyelik fonksiyonlarının sinyal çarpımlarıdır. Katmandaki her bir düğümün VE/VEYA operatörleri kullanılarak sinyaller çarpımı sonucu olan ürün gönderilir. Çarpım sonucu oluşan sinyal kuralın gerçekleşme derecesini gösterir. Bu durum da var olan verilere ne ölçüde karşılandığını gösterir. Düğümler sabit bir karaktere sahiptir. Kural sayısı ile düğüm sayısının eşit olması değerlerinin bulunmasını kolaylaştırmaktadır. Düğüm girdileri, kuralların öncül kısmındaki değişkenlerin üyelik işlev değerleridir ve düğüm çıktıları kuralların ateşleme güçleridir. Bu derece 2.25 numaralı denklem aracılığıyla hesaplanır.

$$O_{(2,i)} = w_i = \mu A_i(x) - \mu B_i(y) \quad i = 1,2 \quad (2.25)$$

3.Katman: Normalizasyon katmanı denklemi 2.26’da verilmiştir; düğüm girişleri, kuralların ağırlıkları, çıkışlar normalleştirilmiş ağırlıklardır. i. düğüm, i. kuralın gerçekleştirme derecesinin tüm kuralların gerçekleştirme derecelerinin toplamına oranı normalizasyon katman hesabıdır. Bu katmanın görevi kuralların ağırlığını normalleştirmektir. Bu katmanın çıkışları w_i olarak isimlendirilir.

$$O_{(3,i)} = w_i = \frac{w_i}{\sum i w_i} \quad (2.26)$$

4.Katman: Durulaştırma katmanı denklemi 2.27’de verilmiştir; bu katmandaki tüm düğümlerin her birine verilen bir kuralın ağırlıklandırılmış sonuç değerleri hesaplanır. Kesin değere dönüştürme işlemi sonuç değerlerinin hesaplanması ile başlar. Sonuç

parametreleri (r, p, q) olarak belirlenir. “ r, p, q ” katsayıları ANFIS’in eğitim süresince belirlenen tasarım parametreleridir. Bu parametreler eğitim verileriyle değişebilir özellikte bulunmaktadır. Bu katmandaki düğümler uyarlanabilir olup; düğüm işlevi, Sugeno sistemindeki herhangi bir düzenin (çoğunlukla 1. dereceden) bir işlevidir. Model değerlerine "açıklama" ya da "sonuç değerleri" olarak adlandırılır.

$$O_{(4,i)} = w_i \times f_i = w_i (pix + qiy + ri) \quad (2.27)$$

5.Katman: Toplam katmanı; bu katmandaki tek düğüm s ile etiketlenmiştir. Gelen tüm sinyalleri toplayarak toplam çıkışı hesaplanır. Bu katmanın işlemlerinden sonra ANFIS modeli sonuç değeri elde edilir. Toplam katmanı denklemi 2.28’de verilmiştir.

$$O_{(5,i)} = \sum w_i \times f_i = \frac{\sum w_i \times f_i}{\sum w_i} \quad (2.28)$$

Işıma ve sıcaklık meteorolojik verileri ANFIS’de girdi olarak kullanılıp ve farklı kombinasyonlarla oluşturulan modellerde ısıma ve sıcaklık değerlerine karşı üretilen güç tahmin edilebilir.

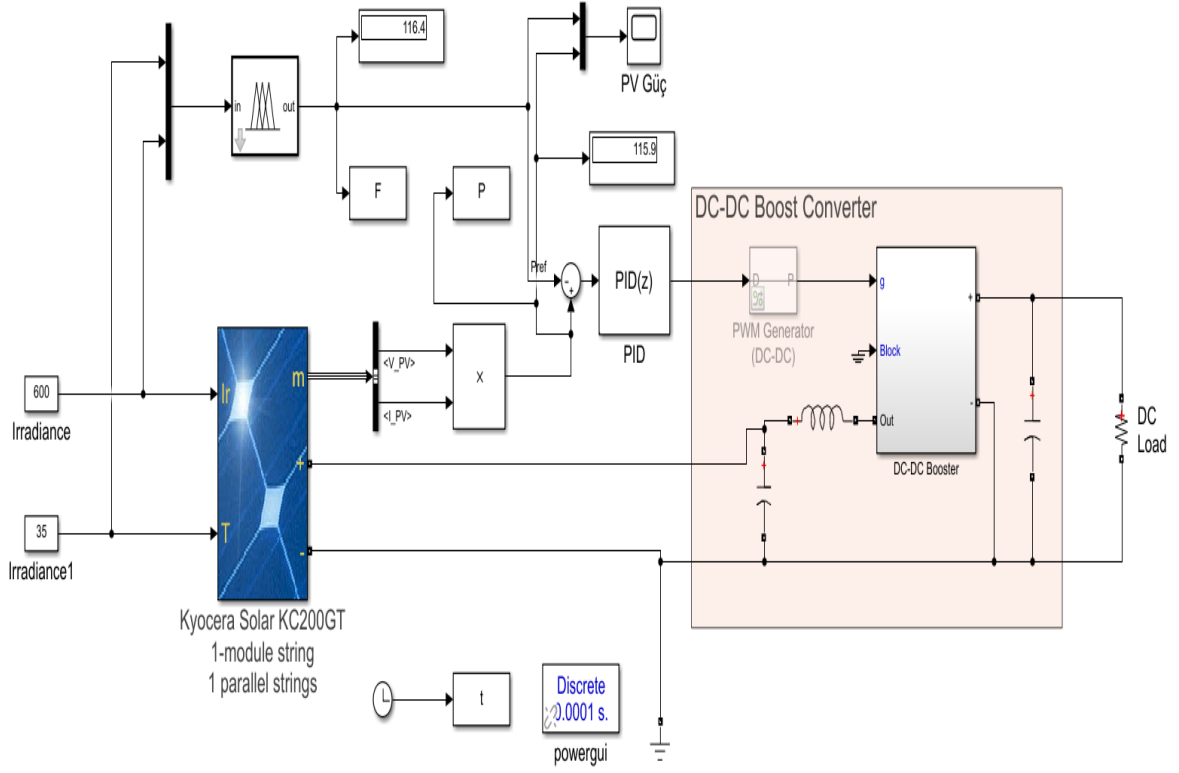
ANFIS yöntemi ile öğrenilen her bir girdi için üyelik fonksiyonları dokuz bulanık kural, altı giriş üyelik fonksiyonundan elde edilir. Bu kurallar, giriş sıcaklığı ve irradyasyon seviyesinin her bir değeri için maksimum çıkış gücü üretecek şekilde giriş ve çıkış haritalamasına göre türetilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

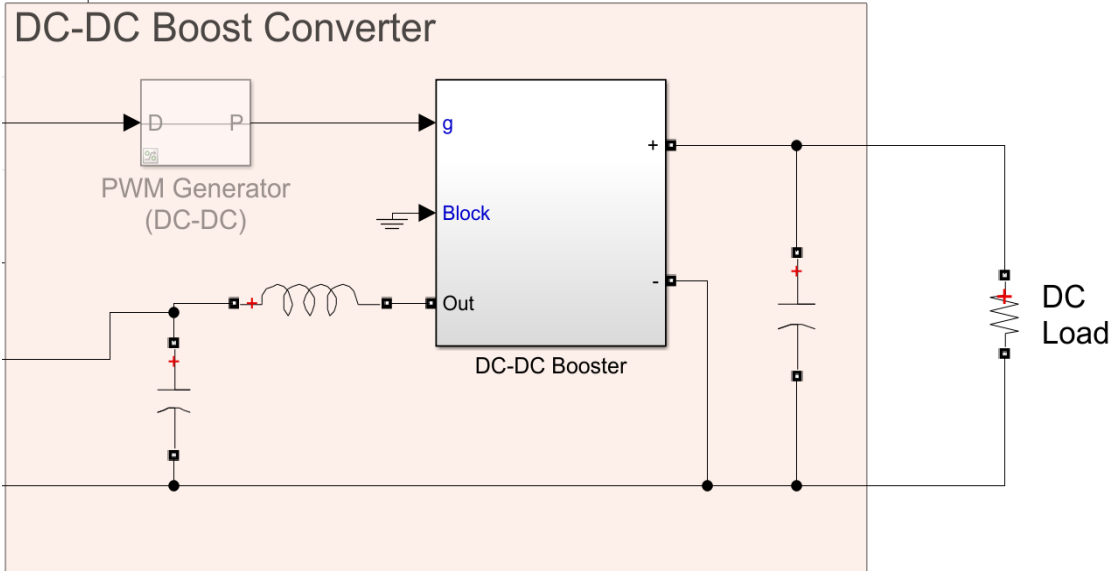
3.1. Uyarlamalı Ağ Yapısına Sahip Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi ile PV Modellenmesi

Bir ANFIS'in yapısı çok katmanlı bir sinir ağı gibidir. Eğitim veri seti girişleri beslemek için kullanılır. MATLAB programı ANFIS kontrolörünü oluşturmak için kullanılacak ve öğrenilecek ANFIS aracına sahiptir. Bu çalışmanın ilk hedefleri bir PV modelini simüle etmek ve sıcaklık, ışımanın farklı çalışması altında PV'nin P-t karakteristik eğrilerini tahmin etmek daha sonra MGNI'nin dinamik performansını test etmek için simüle edilmiş modeli kullanmaktır.

Şekil 3.1'de tarafımızca belirlenen ısıma ve sıcaklık değerleri eş zamanlı olarak hem ANFIS hem de PV modül için giriş değerleri olarak verilmektedir. Belirlenen bu değerler PV modüle uygulandığında çıkışta elde edilen akım ve gerilim değerleri çarpım işlemine tabi tutularak çıkış gücünün elde edilmesine zemin hazırlar. Aynı zamanda PV modüle giriş olarak verilen bu değerler, farklı ısıma; sıcaklık ve maksimum güç ile eğitilen ANFIS'in de giriş değeridir. ANFIS bu ısıma ve sıcaklık bilgileriyle bu değerler için maksimum çıkış gücünü hesaplar. ANFIS'in hesapladığı bu maksimum çıkış gücü ile PV modülün çıkış güçleri birbirinden çıkartılarak elde edilen fark hata olarak değerlendirilir. Bu hata PID kontrolör aracılığıyla PWM generatoründen geçirilerek şekil 3.2'deki DC-DC boost dönüştürücüye verilir. DC-DC boost dönüştürücü de çıkışında yükü besler. Dönüştürücü devresindeki bobin değeri 10 mH , kondansatörlerin değeri $6.8\text{ }\mu\text{F}$ ve 10 mF direnç değeri $12.6\text{ }\Omega$ olarak seçilmiştir. Şekil 3.3'de DC-DC boost dönüştürücünün iç devre şeması görülmektedir. Böylelikle ANFIS sayesinde PV modülün belirtilen ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum güç çıkışı elde edilmiş olur.



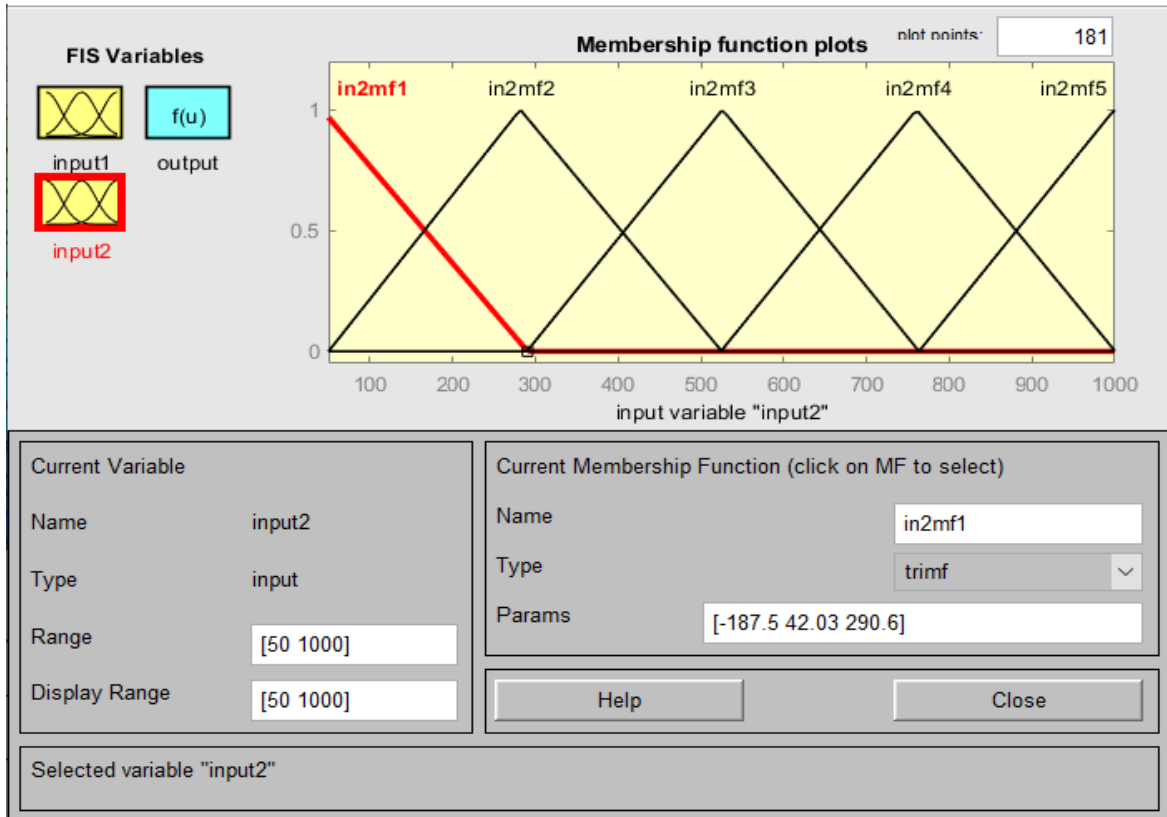
Şekil 3.1: Çalışılan ANFIS Devre Şeması



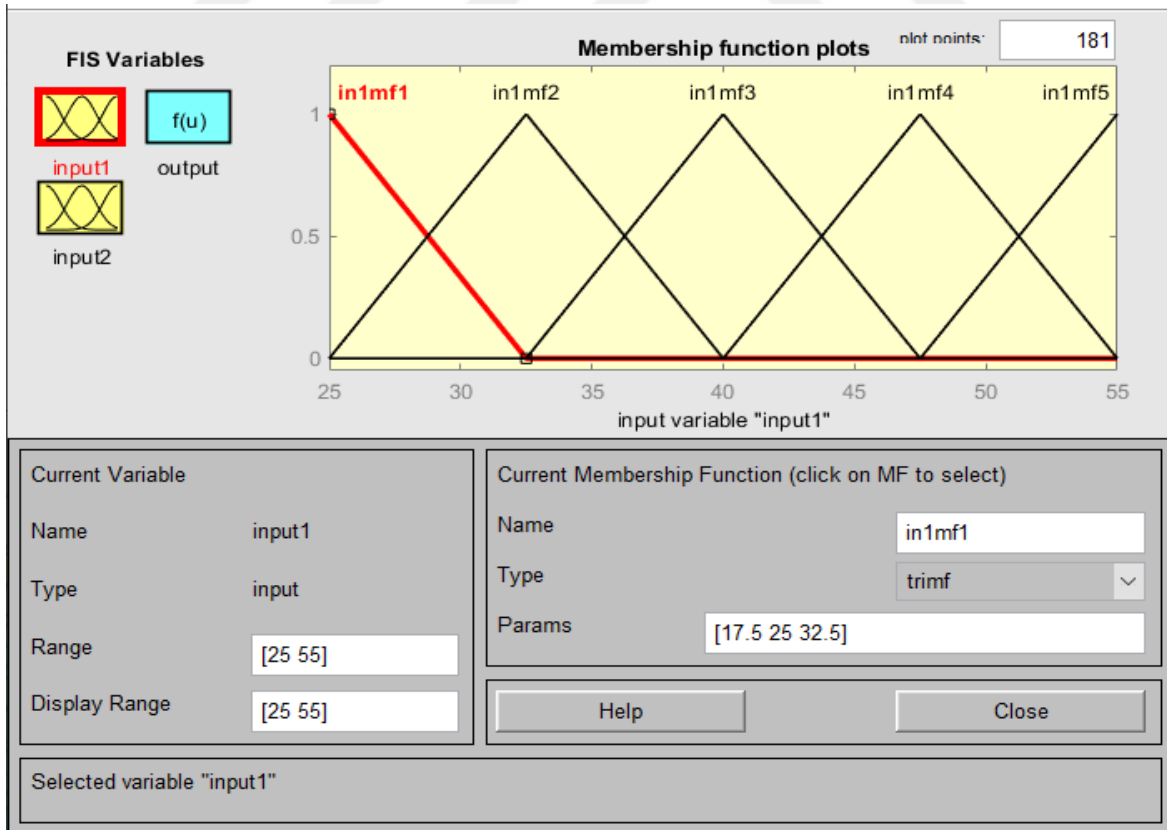
Şekil 3.2: PWM Generator ve DC-DC Dönüştürücü Devre Şeması



32



Şekil 3.4: Işınım Düzeyleri İçin Öğrenme Sonrası Üyelik Fonksiyonları



Şekil 3.5: Sıcaklık Düzeyleri İçin Öğrenme Sonrası Üyelik Fonksiyonları

14. If (input1 is in1mf5) and (input2 is in2mf4) then (output is out1mf17) (1)
 15. If (input1 is in1mf3) and (input2 is in2mf5) then (output is out1mf15) (1)
 16. If (input1 is in1mf4) and (input2 is in2mf1) then (output is out1mf16) (1)
 17. If (input1 is in1mf4) and (input2 is in2mf2) then (output is out1mf17) (1)
 18. If (input1 is in1mf4) and (input2 is in2mf3) then (output is out1mf18) (1)
 19. If (input1 is in1mf4) and (input2 is in2mf4) then (output is out1mf19) (1)
 20. If (input1 is in1mf4) and (input2 is in2mf5) then (output is out1mf20) (1)
 21. If (input1 is in1mf5) and (input2 is in2mf1) then (output is out1mf21) (1)
 22. If (input1 is in1mf5) and (input2 is in2mf2) then (output is out1mf22) (1)
 23. If (input1 is in1mf5) and (input2 is in2mf3) then (output is out1mf23) (1)
 24. If (input1 is in1mf5) and (input2 is in2mf4) then (output is out1mf24) (1)
 25. If (input1 is in1mf5) and (input2 is in2mf5) then (output is out1mf25) (1)

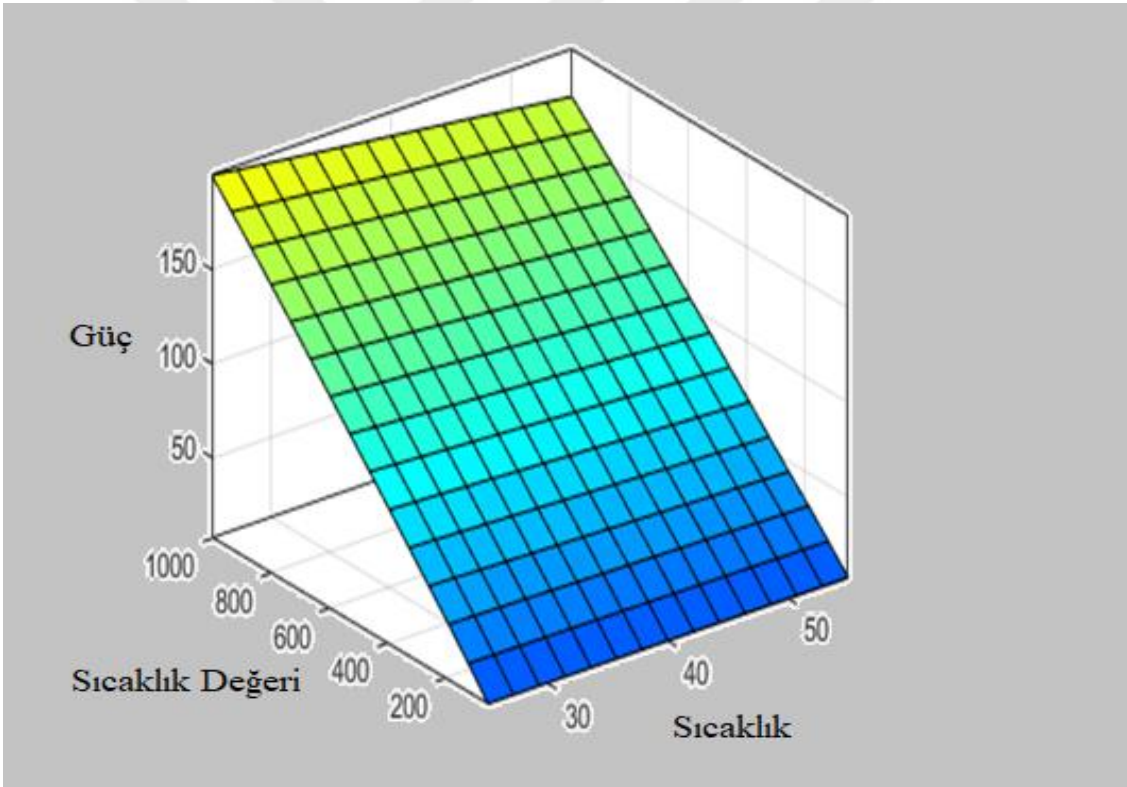
If input1 is **in1mf1** and input2 is **in2mf1** Then output is **out1mf1**

☐ not ☐ not ☐ not

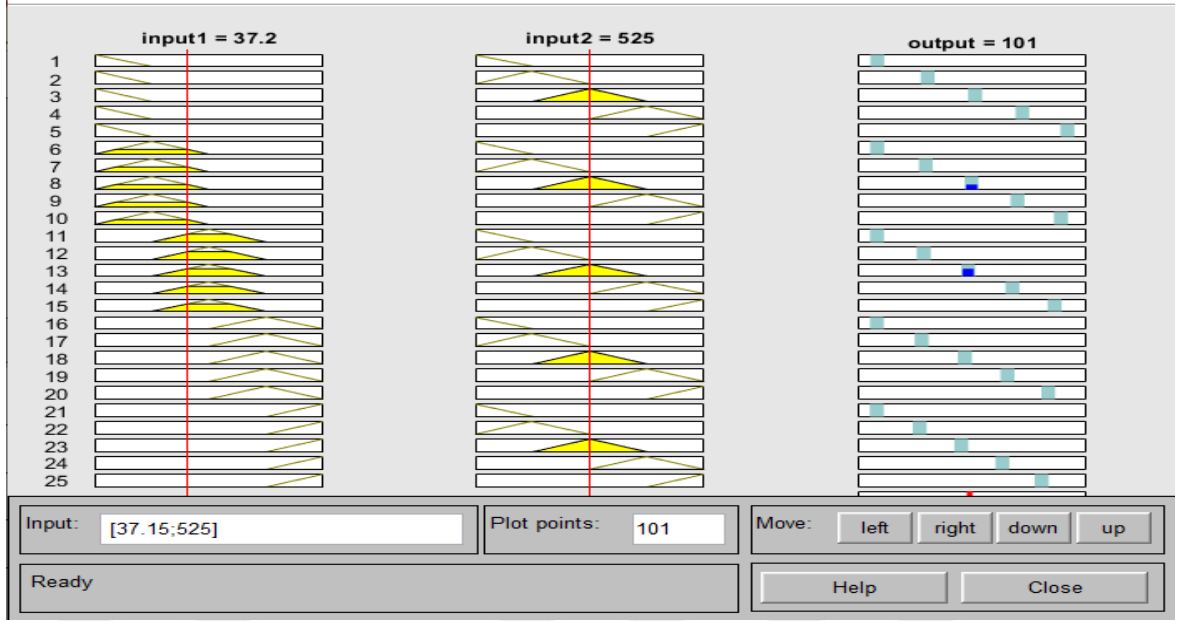
Connection: ☐ or ☒ and Weight: 1

Delete rule Add rule Change rule << >>

Şekil 3.6: Eğitim Kuralları



Şekil 3.7: Sıcaklık, Isınım ve Maksimum Güç Arasındaki Yüzey



Şekil 3.8: Maksimum Güç Çıkarım Sistemi

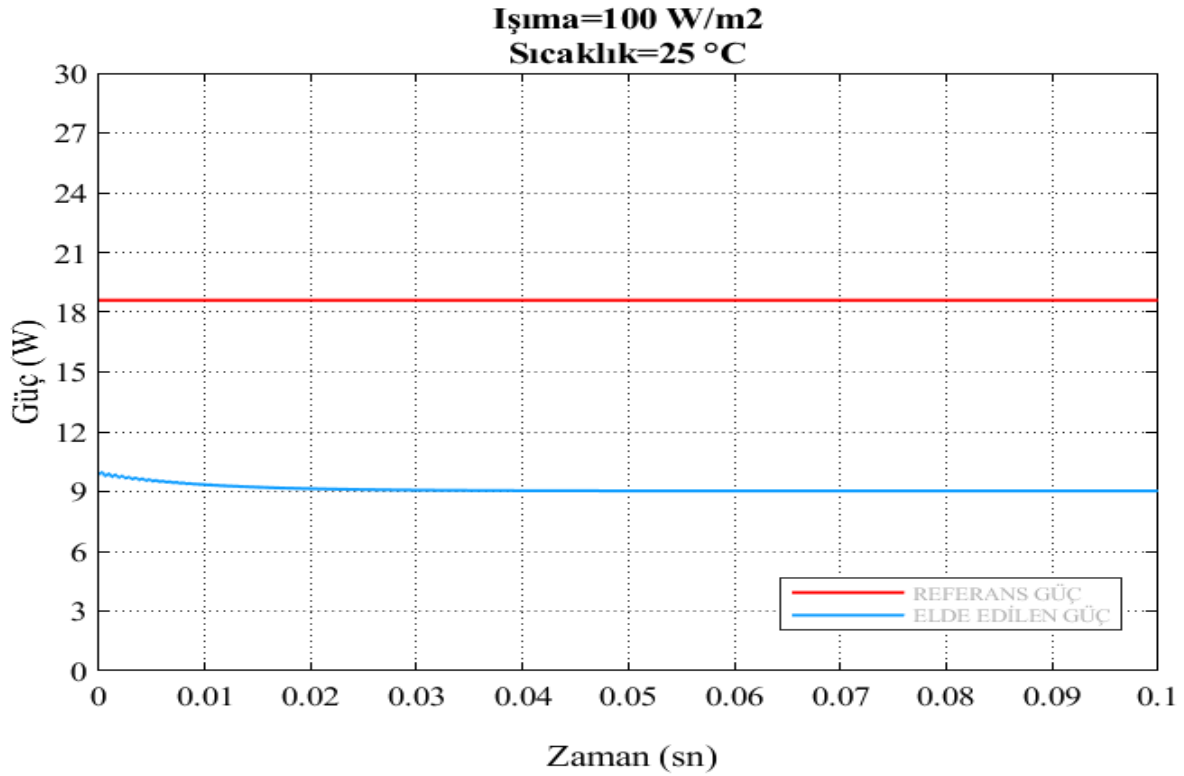
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Sabit Sıcaklık ve Işıma Değerinin Sistem Üzerindeki Etkisi

Çalışmada 100 W/m^2 ile 1000 W/m^2 arasında ışıma değerleri ile 25°C , 35°C , 45°C sıcaklıkları arasındaki ANFIS ve kontrolör kullanılarak elde edilen güç değerlerinden oluşmaktadır.

Işıma değeri 100 W/m^2 ve 25°C sıcaklıkları hem ANFIS'e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS'in bu ışıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak $18,6 \text{ W}$ olduğu, PV modülün bu ışıma ve sıcaklık değerleri için maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda $9,875 \text{ W}$ iken 0.1 'inci saniyede $9,029 \text{ W}$ olduğu Şekil 4.1'de görülmektedir.

Işıma değeri 100 W/m^2 ve 35°C sıcaklıkları hem ANFIS'e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS'in bu ışıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak $17,87 \text{ W}$ olduğu, PV modülün bu ışıma ve sıcaklık değerleri için maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda $9,935 \text{ W}$ iken 0.1 'inci saniyede $9,134 \text{ W}$ olduğu Şekil 4.2'de görülmektedir.

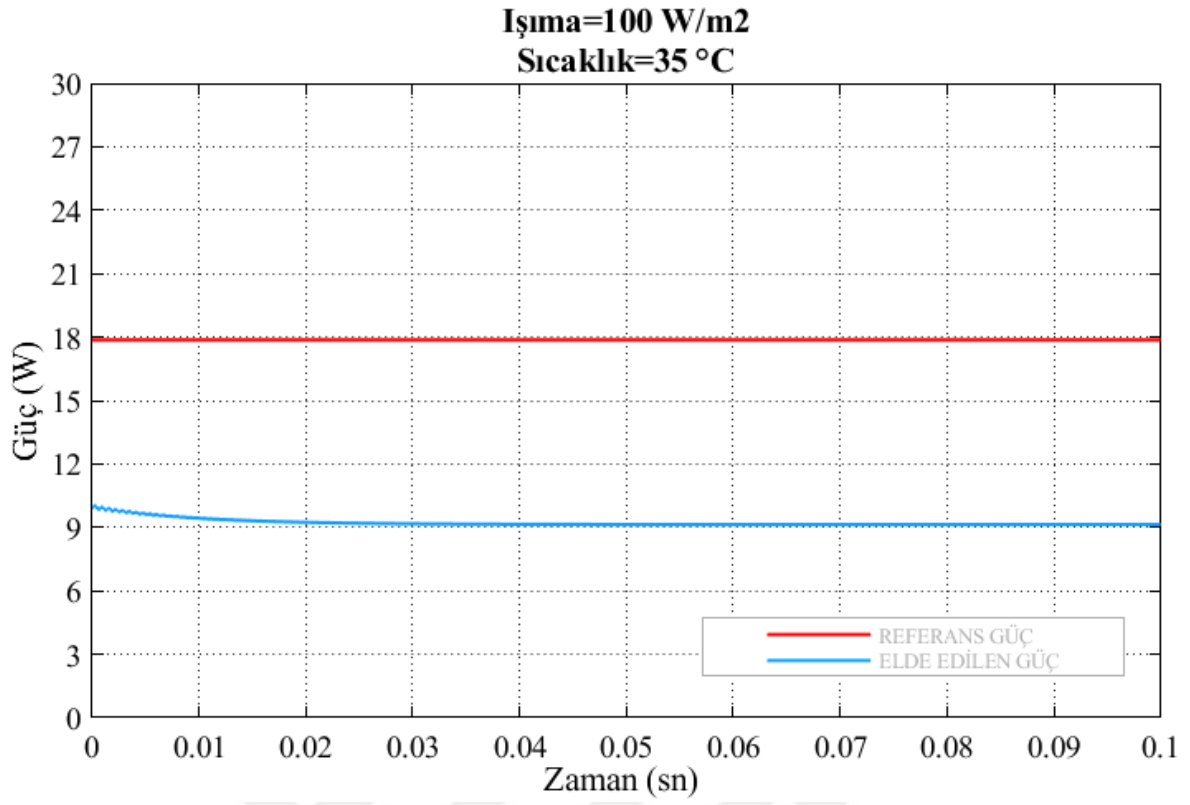


Şekil 4.1: 100 W/m² Işıma ve 25 °C Güç-Zaman Grafiği

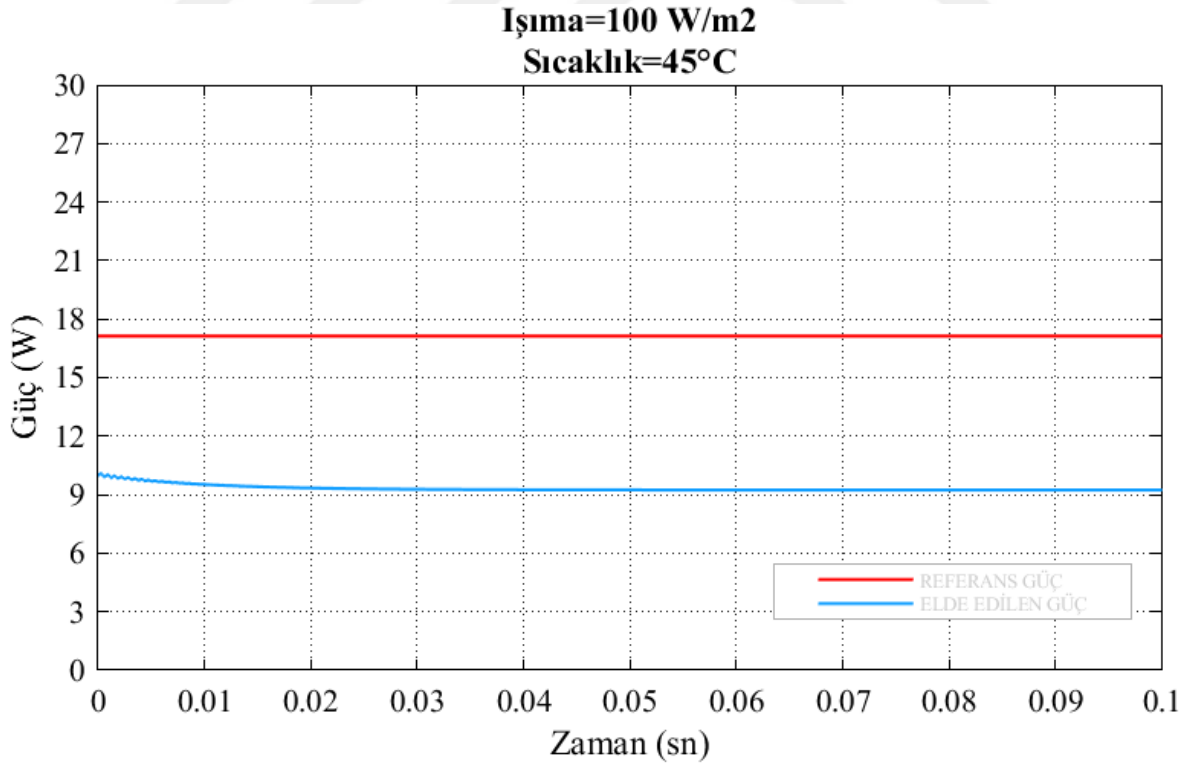
Işıma değeri 100 W/m² ve 25 °C sıcaklıkları hem ANFIS’e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS’in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak 17,13 W olduğu, PV modülün bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda 9,994 W iken 0.1’inci saniyede 9,239 W olduğu Şekil 4.3’de görülmektedir.

Işıma değeri 100 W/m² ve 25 °C, 35 °C, 45 °C sıcaklıkları baz alınan MGNI’den Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 sonuçları değerlendirildiğinde, sıcaklık değeri yükseldikçe ANFIS’in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücünün azaldığı, bu ısıma ve sıcaklık değerleri için PV modülün maksimum çıkış referans gücünün arttığı gözlemlenmiştir.

Işıma değeri 100 W/m² ve 25 °C, 35 °C, 45 °C sıcaklık değerine sahip Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3 sonuçları değerlendirildiğinde PID ve PI için yükselme zamanı ve yerleşme zamanı bulunmamaktadır.

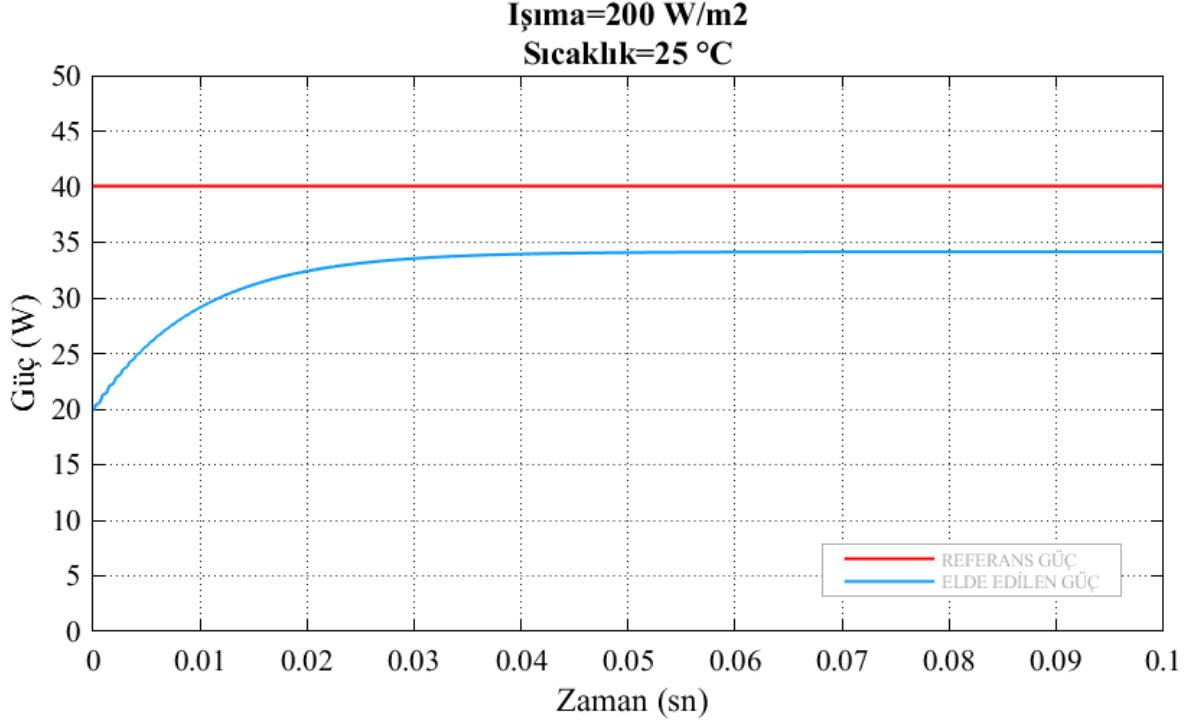


Şekil 4.2: 100 W/m² Işıma ve 35 °C Güç-Zaman Grafiği



Şekil 4.3: 100 W/m² Işıma ve 45 °C Güç-Zaman Grafiği

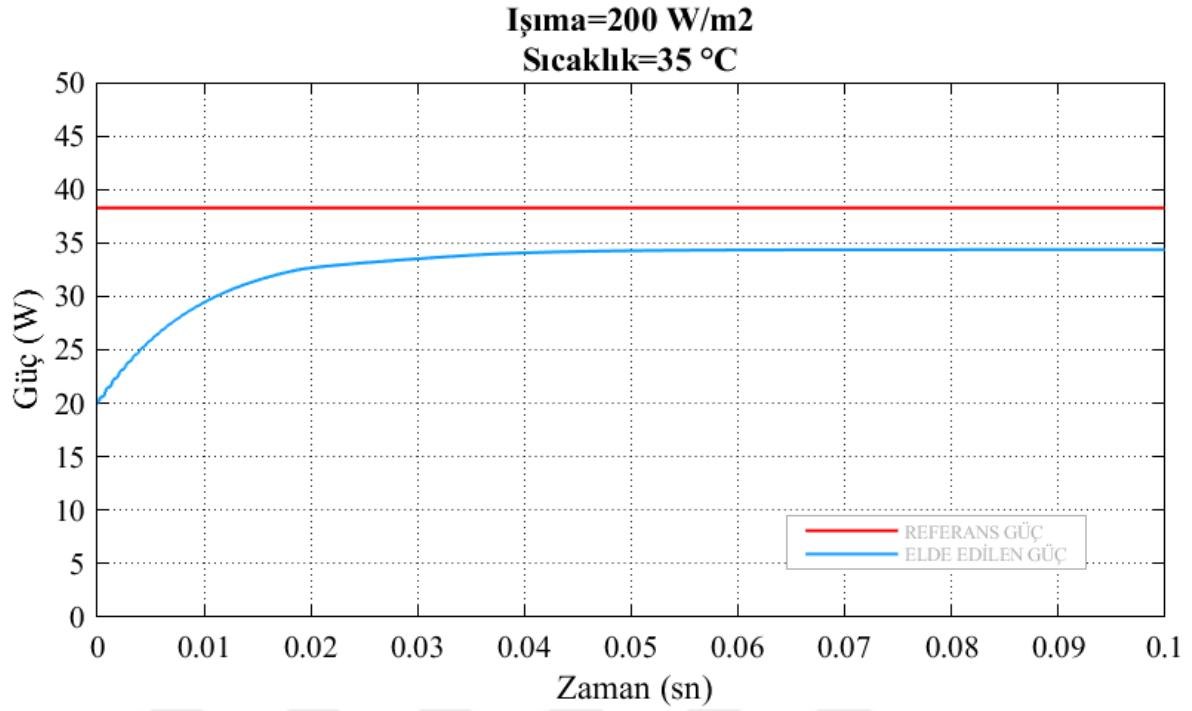
Işıma değeri 200 W/m^2 ve 25°C sıcaklıkları hem ANFIS'e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS'in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak $40,05 \text{ W}$ olduğu, PV modülün bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda $19,9 \text{ W}$ iken 0.1 'inci saniyede $34,15 \text{ W}$ olduğu Şekil 4.4'de görülmektedir.



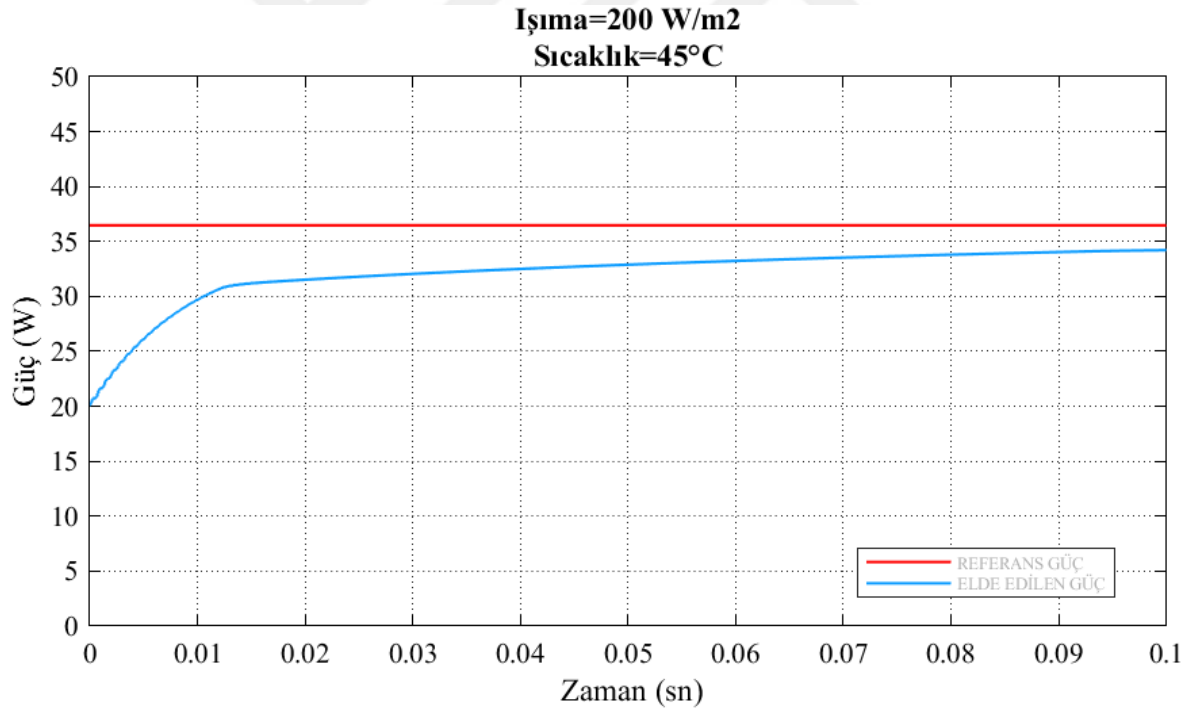
Şekil 4.4: 200 W/m^2 Işıma ve 25°C Güç-Zaman Grafiği

Işıma değeri 200 W/m^2 ve 35°C sıcaklıkları hem ANFIS'e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS'in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak $38,27 \text{ W}$ olduğu, PV modülün bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda $20,02 \text{ W}$ iken 0.1 'inci saniyede $34,37 \text{ W}$ olduğu Şekil 4.5'de görülmektedir.

Işıma değeri 200 W/m^2 ve 45°C sıcaklıkları hem ANFIS'e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS'in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak $36,47 \text{ W}$ olduğu, PV modülün bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda $20,14 \text{ W}$ iken 0.1 'inci saniyede $34,21 \text{ W}$ olduğu Şekil 4.6'da görülmektedir.



Şekil 4.5: 200 W/m² Işıma ve 35 °C Güç-Zaman Grafiği

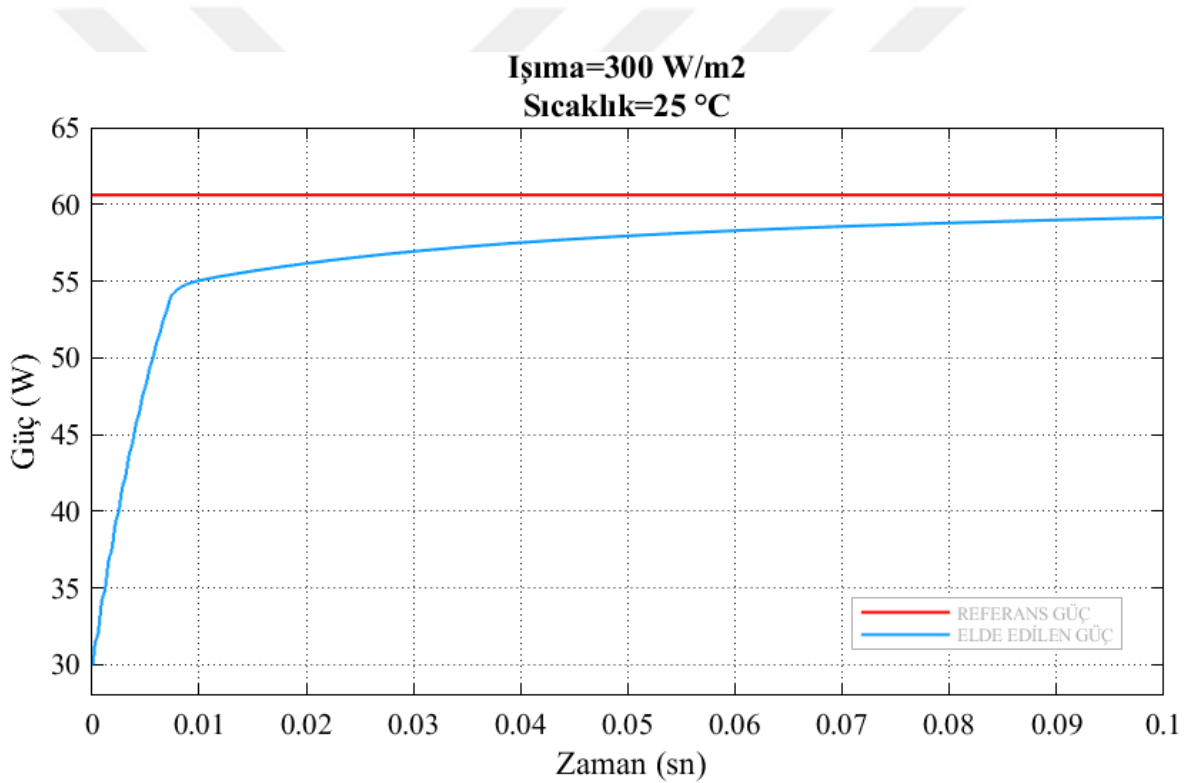


Şekil 4.6: 200 W/m² Işıma ve 45 °C Güç-Zaman Grafiği

Işıma değeri 200 W/m² ve 25 °C, 35 °C, 45 °C sıcaklıkları baz alınan MGNI'den Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 sonuçları değerlendirildiğinde, sıcaklık değeri yükseldikçe ANFIS'in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücünün azaldığı,

bu ışıma ve sıcaklık değerleri için PV modülün maksimum çıkış referans gücü yüksekten düşüğe doğru sıralandığında 35 °C, 45 °C, 25 °C sıcaklıkta elde edildiği gözlemlenmiştir.

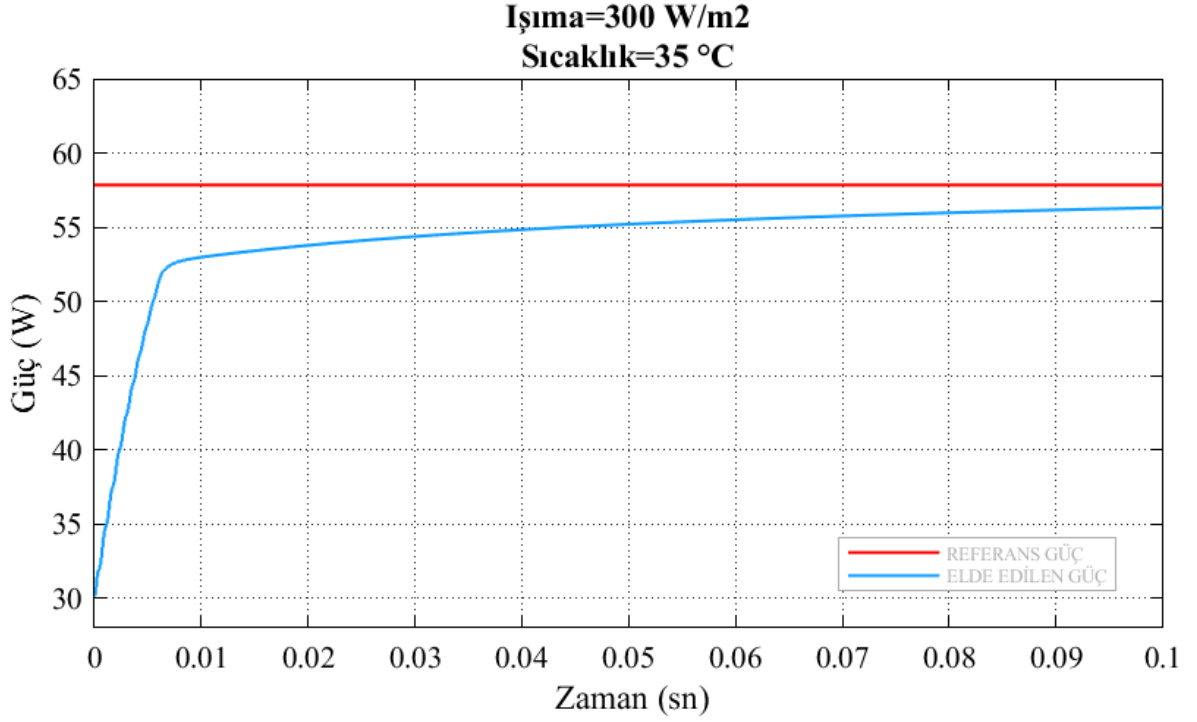
Işıma değeri 200 W/m² ve 25 °C sıcaklığını ele alan Şekil 4.4’de yükselme zamanı 20,437ms, aşırı düşüş oranı %1,992 olmaktadır. Aynı zamanda kontrolör olarak PI kullanıldığında da aynı değerler görülmektedir. Işıma değeri 200 W/m² olan 35 °C, 45 °C sıcaklıklarında Şekil 4.5, Şekil 4.6 değerlendirildiğinde yükselme zamanı ve yerleşme zamanı bulunmamaktadır. Aynı zamanda kontrolör olarak PI kullanıldığında 200 W/m² 35 °C değerlerinde yükselme zamanı 19,818 ms, aşırı düşüş oranı %1,977 olup, aynı ışıma değerinde 45 °C sıcaklık değerinde yükselme zamanı ve yerleşme zamanı ve aşırı düşüş oranı bulunmamaktadır.



Şekil 4.7: 300 W/m² Işıma ve 25°C Güç-Zaman Grafiği

Işıma değeri 300 W/m² ve 25 °C sıcaklıkları hem ANFIS’e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS’in bu ışıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak 60,61 W olduğu, PV modülün bu ışıma ve sıcaklık değerleri için maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda 30,02 W iken 0.1’inci saniyede 59,15 W olduğu Şekil 4.7’de görülmektedir.

Işıma değeri 300 W/m^2 ve 35°C sıcaklıkları hem ANFIS'e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS'in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak $57,84 \text{ W}$ olduğu, PV modülün bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda $30,2 \text{ W}$ iken 0.1 'inci saniyede $56,32 \text{ W}$ olduğu Şekil 4.8'de görülmektedir.

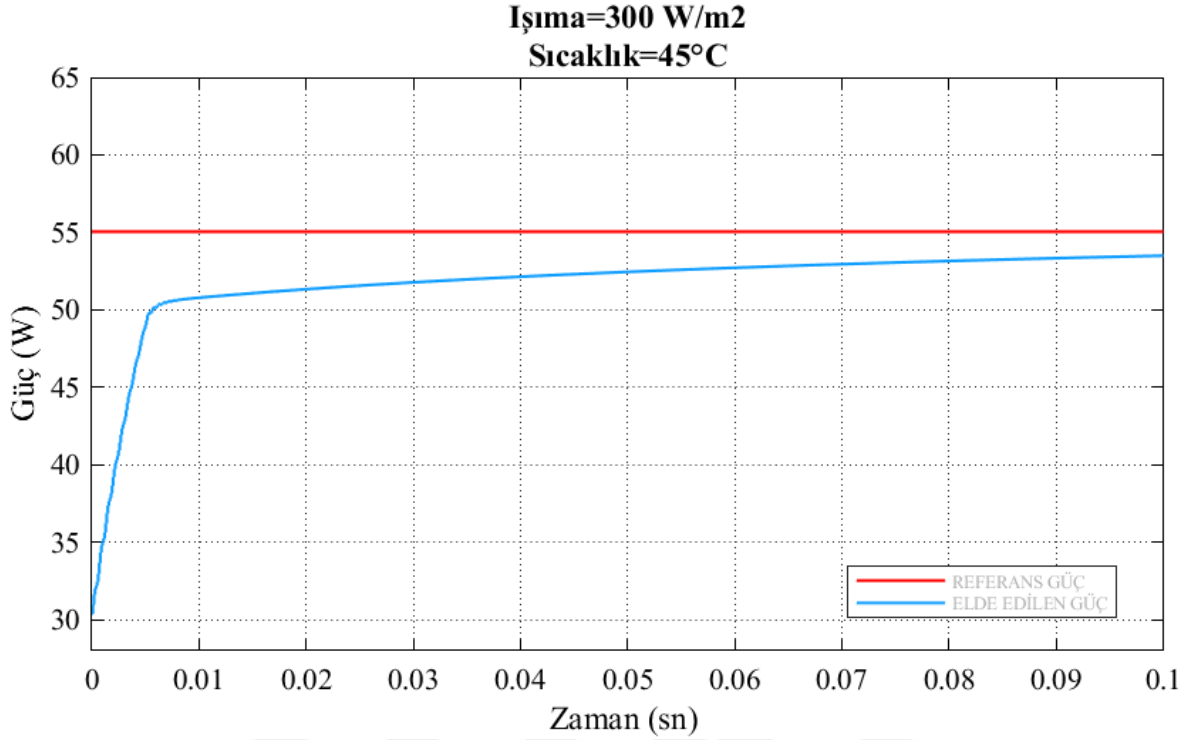


Şekil 4.8: 300 W/m^2 Işıma ve 35°C Güç-Zaman Grafiği

Işıma değeri 300 W/m^2 ve 45°C sıcaklıkları hem ANFIS'e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS'in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak $55,04 \text{ W}$ olduğu, PV modülün bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda $30,38 \text{ W}$ iken 0.1 'inci saniyede $53,5 \text{ W}$ olduğu Şekil 4.8'de görülmektedir.

Işıma değeri 300 W/m^2 ve 25°C sıcaklığını ele alan sonuçlarda yükselme zamanı $7,712 \text{ ms}$, aşırı düşüş oranı $\%1,997$ olmaktadır. Aynı zamanda kontrolör olarak PID kullanılan şekil 4.6'da yükselme zamanı ve aşırı düşüş oranı bulunmamaktadır. Işıma değeri 300 W/m^2 olan 35°C , 45°C sıcaklıklarında Şekil 4.7, Şekil 4.8 değerlendirildiğinde yükselme zamanı ve yerleşme zamanı bulunmamaktadır. Kontrolör olarak PI kullanıldığında 300 W/m^2 ve 35°C değerlerinde yükselme zamanı $6,846 \text{ ms}$, aşırı düşüş

oranı %1,999 olmaktadır. 300 W/m^2 45°C değerlendirildiğinde yükselme zamanı ve yerleşme zamanı bulunmamaktadır.

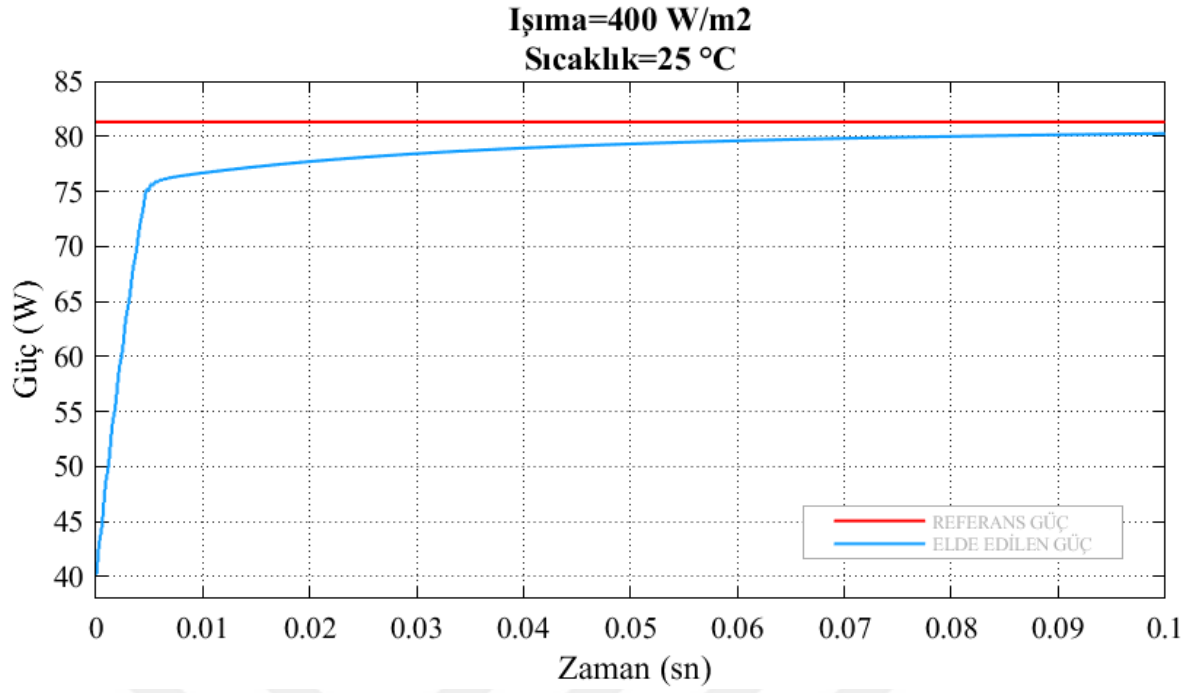


Şekil 4.9: 300 W/m^2 Işıma ve 45°C Güç-Zaman Grafiği

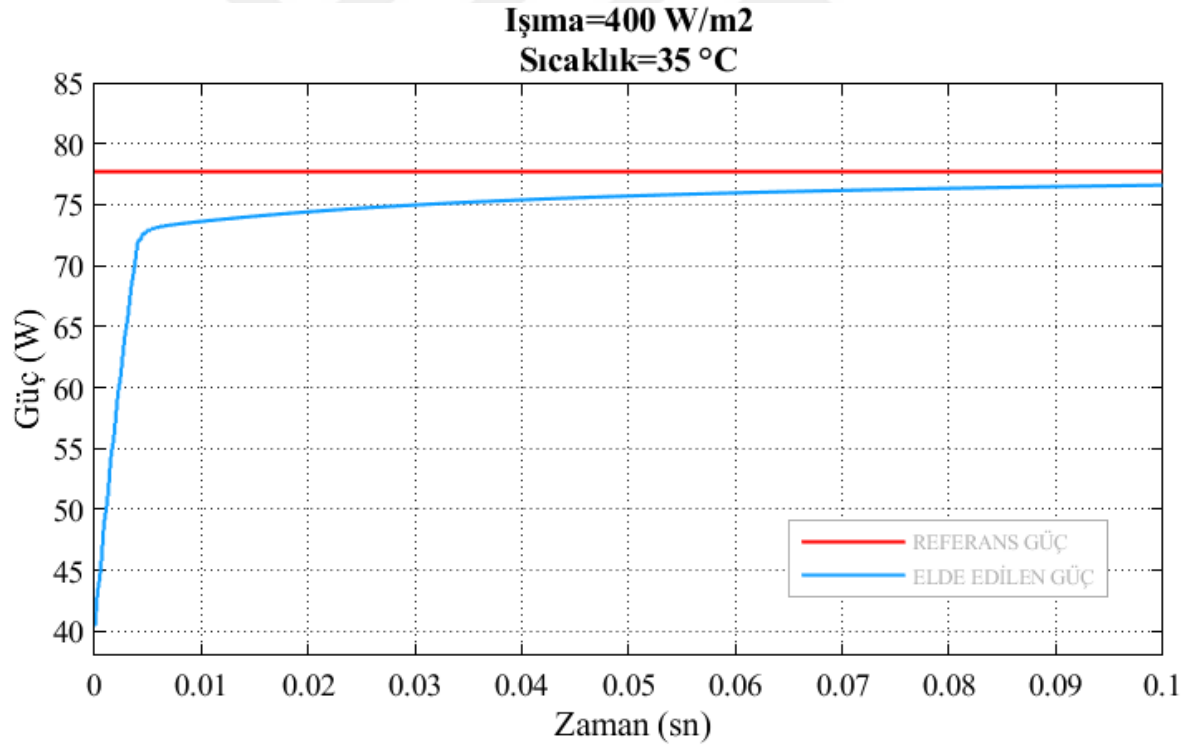
İşıma değeri 300 W/m^2 ve 25°C , 35°C , 45°C sıcaklıkları baz alınan MGNİ'den Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9 sonuçları değerlendirildiğinde, sıcaklık değeri yükseldikçe ANFIS'in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücünün azaldığı, bu ısıma ve sıcaklık değerleri için PV modülün maksimum çıkış referans gücü yüksekten düşüğe doğru sıralandığında 25°C , 35°C , 45°C sıcaklıkta elde edildiği gözlemlenmiştir.

İşıma değeri 400 W/m^2 ve 25°C sıcaklıkları hem ANFIS'e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS'in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak $81,31\text{W}$ olduğu, PV modülün bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda $40,24 \text{ W}$ iken 0.1 'inci saniyede $80,26\text{W}$ olduğu Şekil 4.10'da görülmektedir.

İşıma değeri 400 W/m^2 ve 35°C sıcaklıkları hem ANFIS'e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS'in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak $77,69 \text{ W}$ olduğu, PV modülün bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda $40,49 \text{ W}$ iken 0.1 'inci saniyede $76,6 \text{ W}$ olduğu Şekil 4.11'de görülmektedir.



Şekil 4.10: 400 W/m² Işıma ve 25 °C Güç-Zaman Grafiği

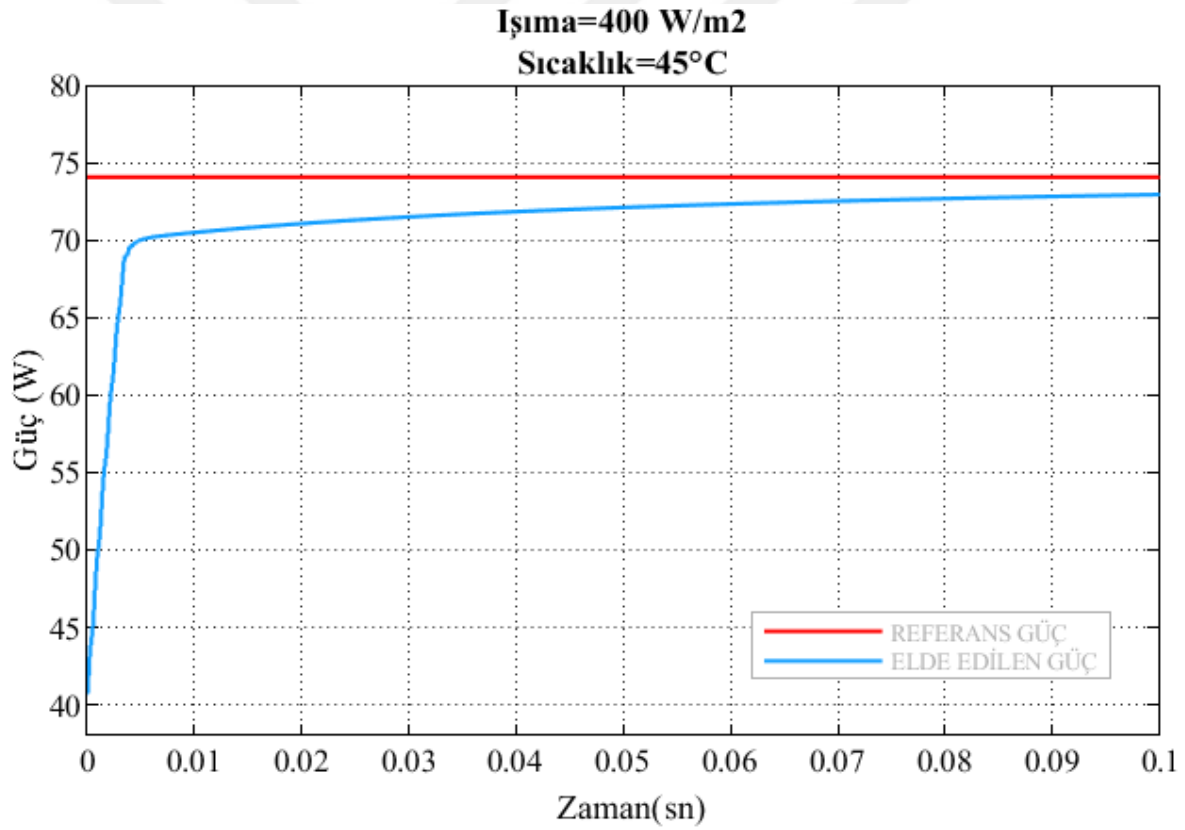


Şekil 4.11: 400 W/m² Işıma ve 35 °C Güç-Zaman Grafiği

Işıma değeri 400 W/m² ve 45 °C sıcaklıkları hem ANFIS'e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS'in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak 74,06 W olduğu, PV modülün bu ısıma ve sıcaklık değerleri için

maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda 40,73 W iken 0.1'inci saniyede 72,93 W olduğu Şekil 4.12'de görülmektedir.

Işıma değeri 400 W/m^2 ve 25°C sıcaklığını ele alan sonuçlarda yükselme zamanı 4,326 ms, aşırı düşüş oranı %1,996 olmaktadır. Aynı zamanda kontrolör olarak PID kullanılan şekil 4.10'de 5,776 ms, aşırı düşüş oranı %1,998 olmaktadır. Işıma değeri 400 W/m^2 olan 35°C sıcaklığını ele alan sonuçlarda yükselme zamanı 3,812 ms, aşırı düşüş oranı %1,997 olmaktadır. Aynı zamanda kontrolör olarak PID kullanılan şekil 4.11'da 4,445 ms, aşırı düşüş oranı %1,998 olmaktadır. Işıma değeri 400 W/m^2 ve 45°C sıcaklığını ele alan sonuçlarda yükselme zamanı 3,469 ms, aşırı düşüş oranı %1,995 olmaktadır. Aynı zamanda kontrolör olarak PID kullanılan şekil 4.12'de 3,629 ms, aşırı düşüş oranı %1,996 olmaktadır.



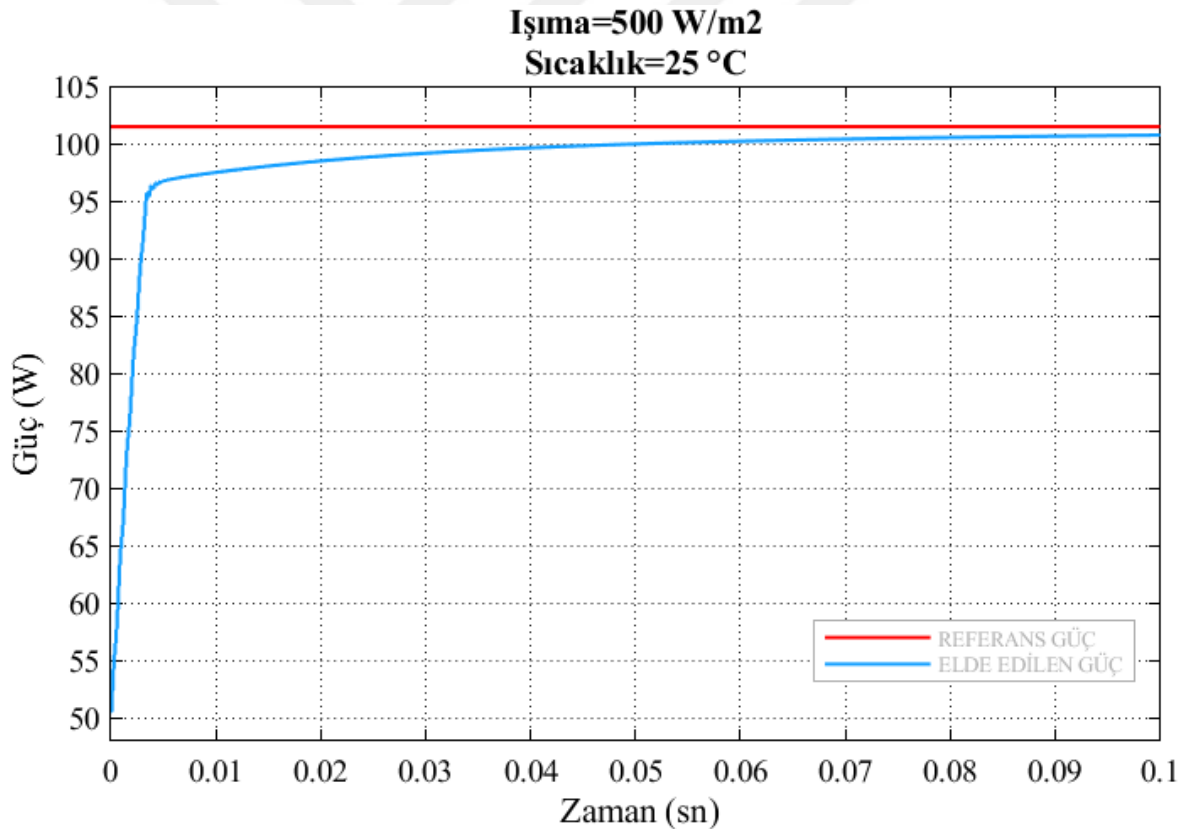
Şekil 4.12: 400 W/m² Işıma ve 45°C Güç-Zaman Grafiği

Işıma değeri 400 W/m^2 ve 25°C , 35°C , 45°C sıcaklıkları baz alınan MGNİ'den Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12 sonuçları değerlendirildiğinde, sıcaklık değeri yükseldikçe ANFIS'in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücünün azaldığı, bu ısıma ve sıcaklık değerleri için PV modülün maksimum çıkış referans

gücü yüksekten düşüğe doğru sıralandığında 25 °C, 35 °C, 45 °C sıcaklıkta elde edildiği gözlemlenmiştir.

Işıma değeri 500 W/m² ve 25 °C sıcaklıkları hem ANFIS’e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS’in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak 101,5 W olduğu, PV modülün bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda 50,56 W iken 0.1’inci saniyede 100,7 W olduğu Şekil 4.13’de görülmektedir.

Işıma değeri 500 W/m² ve 35 °C sıcaklıkları hem ANFIS’e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS’in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak 97,04 W olduğu, PV modülün bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda 50,87 W iken 0.1’inci saniyede 96,25 W olduğu Şekil 4.14’de görülmektedir.

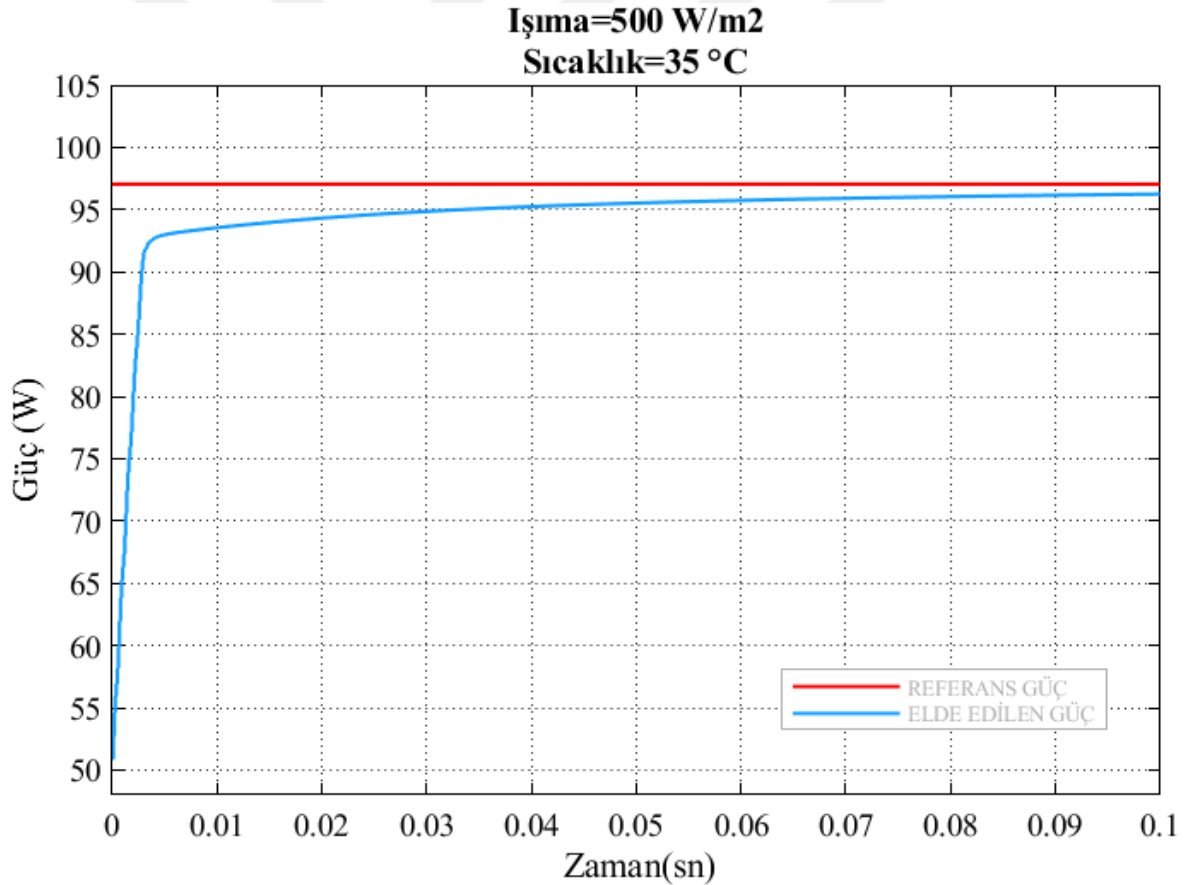


Şekil 4.13: 500 W/m² Işıma ve 25 °C Güç-Zaman Grafiği

Işıma değeri 500 W/m² ve 45 °C sıcaklıkları hem ANFIS’e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS’in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak 92,59 W olduğu, PV modülün bu ısıma ve sıcaklık değerleri için

maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda 51,18 W iken 0.1'inci saniyede 91,77 W olduğu Şekil 4.15'de görülmektedir.

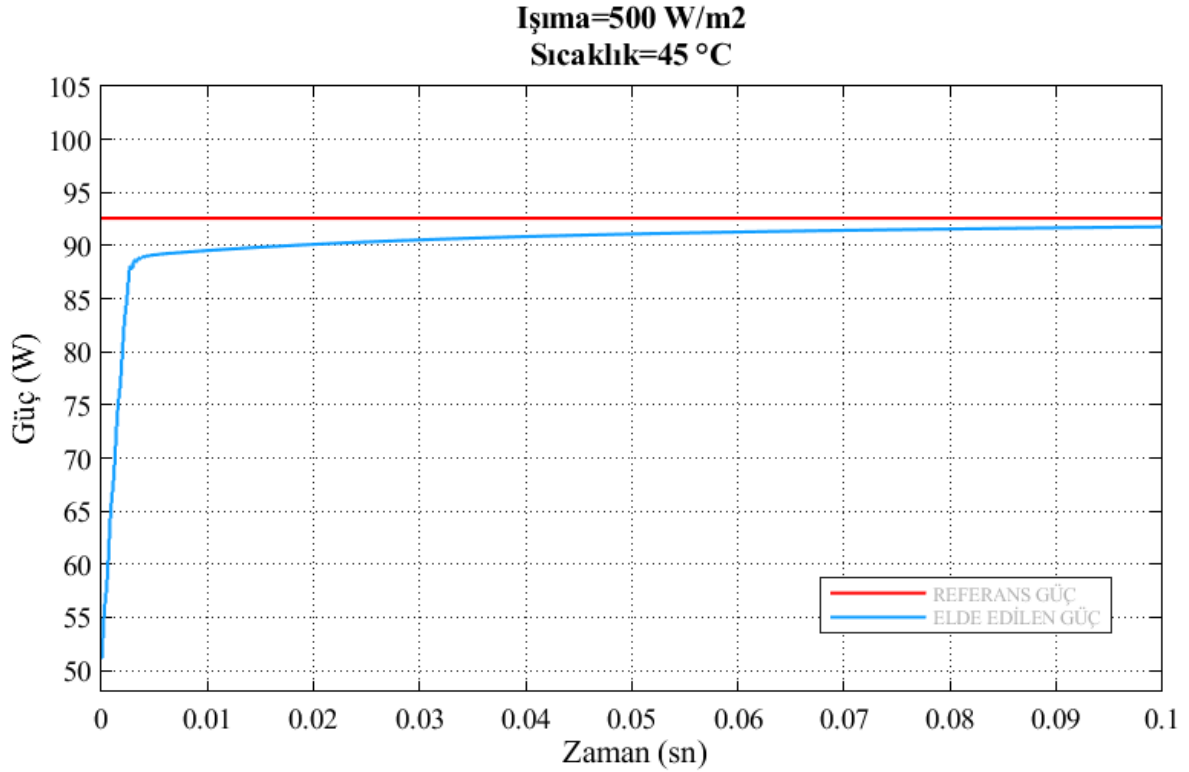
Işıma değeri 500 W/m^2 ve 25°C sıcaklığını ele alan sonuçlarda yükselme zamanı 3,0011 ms, yerleşme zamanı 6,764 ms ve aşırı düşüş oranı %1,999 olmaktadır. Aynı zamanda kontrolör olarak PID kullanılan şekil 4.13'de 3,049 ms, aşırı düşüş oranı %2,000 olmaktadır. Işıma değeri 500 W/m^2 olan 35°C sıcaklığını ele alan sonuçlarda yükselme zamanı 2,684 ms, yerleşme zamanı 12,055 ms ve aşırı düşüş oranı %1,997 olmaktadır. Aynı zamanda kontrolör olarak PID kullanılan şekil 4.14'de 2,718 ms, aşırı düşüş oranı %1,999 olmaktadır. Işıma değeri 500 W/m^2 ve 45°C sıcaklığını ele alan sonuçlarda yükselme zamanı 2,346 ms, yerleşme zamanı 12,055 ms ve aşırı düşüş oranı %1,996 olmaktadır. Aynı zamanda kontrolör olarak PID kullanılan şekil 4.15'de 2,354 ms, aşırı düşüş oranı %1,997 olmaktadır.



Şekil 4.14: 500 W/m^2 Işıma ve 35°C Güç-Zaman Grafiği

Işıma değeri 500 W/m^2 ve 25°C , 35°C , 45°C sıcaklıkları baz alınan MGNİ'den Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15 sonuçları değerlendirildiğinde, sıcaklık değeri yükseldikçe ANFIS'in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans

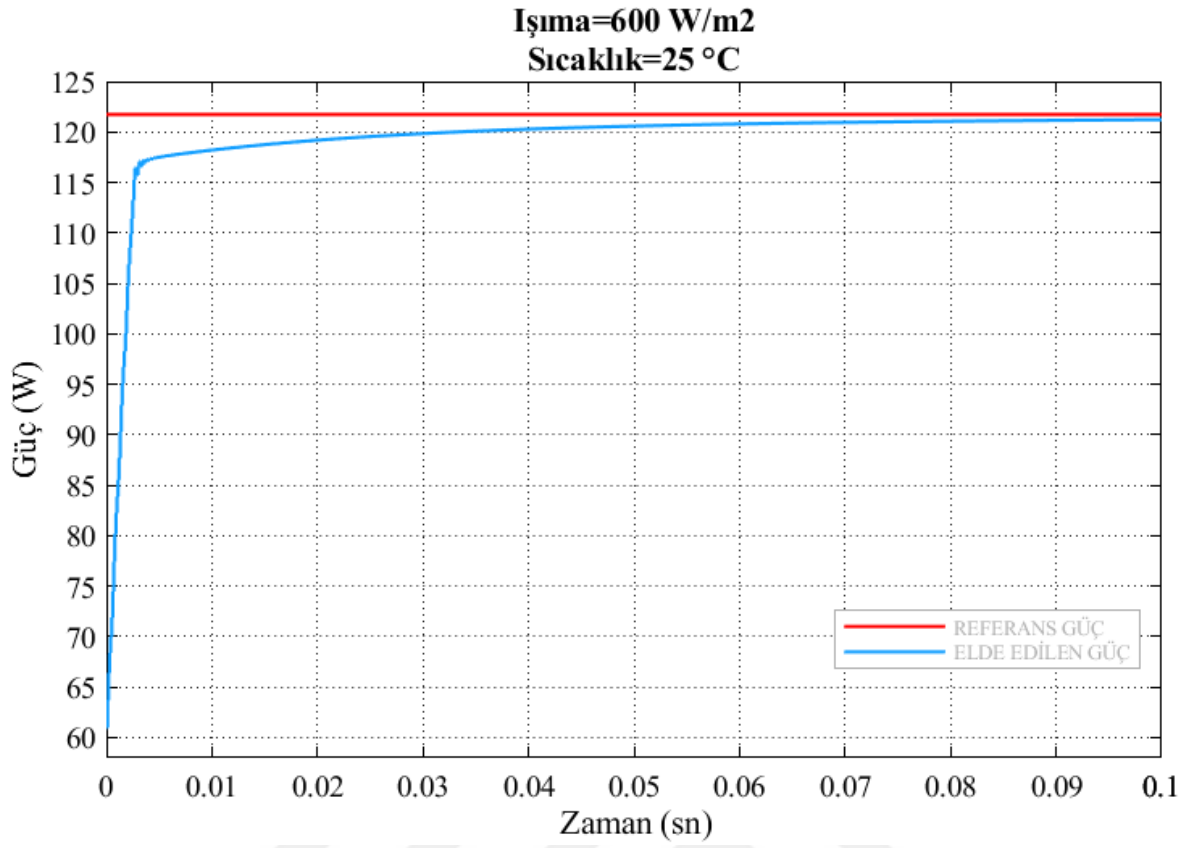
gücünün azaldığı, bu ışıma ve sıcaklık değerleri için PV modülün maksimum çıkış referans gücü yüksekte düşüğe doğru sıralandığında 25 °C, 35 °C, 45 °C sıcaklıkta elde edildiği gözlemlenmiştir.



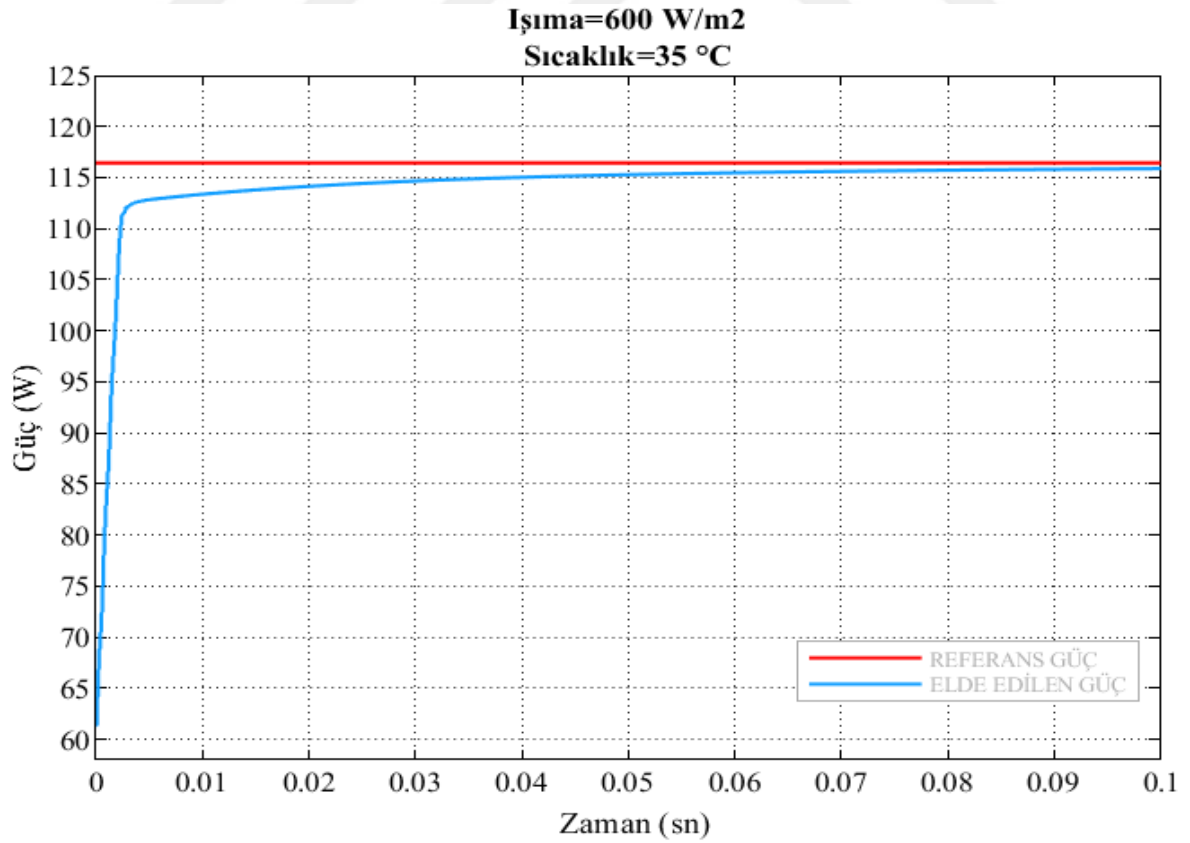
Şekil 4.15: 500 W/m² Işıma ve 45 °C Güç-Zaman Grafiği

Işıma değeri 600 W/m² ve 25 °C sıcaklıkları hem ANFIS'e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS'in bu ışıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak 121,7 W olduğu, PV modülün bu ışıma ve sıcaklık değerleri için maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda 60,98 W iken 0.1'inci saniyede 121,2 W olduğu Şekil 4.16'da görülmektedir.

Işıma değeri 600 W/m² ve 35 °C sıcaklıkları hem ANFIS'e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS'in bu ışıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak 116,4 W olduğu, PV modülün bu ışıma ve sıcaklık değerleri için maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda 61,36 W iken 0.1'inci saniyede 115,9 W olduğu Şekil 4.17'de görülmektedir.

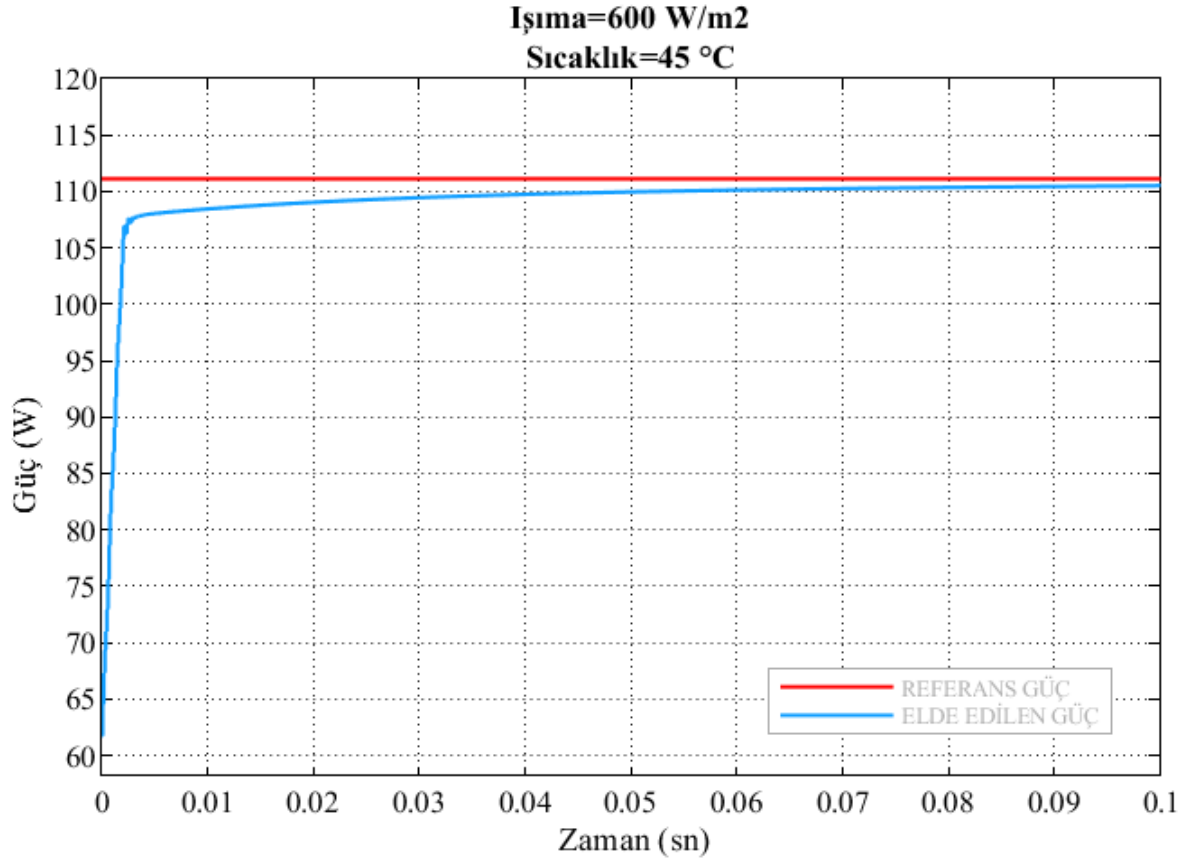


Şekil 4.16: 600 W/m² Işıma ve 25 °C Güç-Zaman Grafiği



Şekil 4.17: 600 W/m² Işıma ve 35 °C Güç-Zaman Grafiği

Işıma değeri 600 W/m^2 ve 45°C sıcaklıkları hem ANFIS'e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS'in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak $111,1 \text{ W}$ olduğu, PV modülün bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda $61,73 \text{ W}$ iken $0,1$ 'inci saniyede $110,5 \text{ W}$ olduğu Şekil 4.18'de görülmektedir.



Şekil 4.18: 600W/m^2 Işıma ve 45°C Güç-Zaman Grafiği

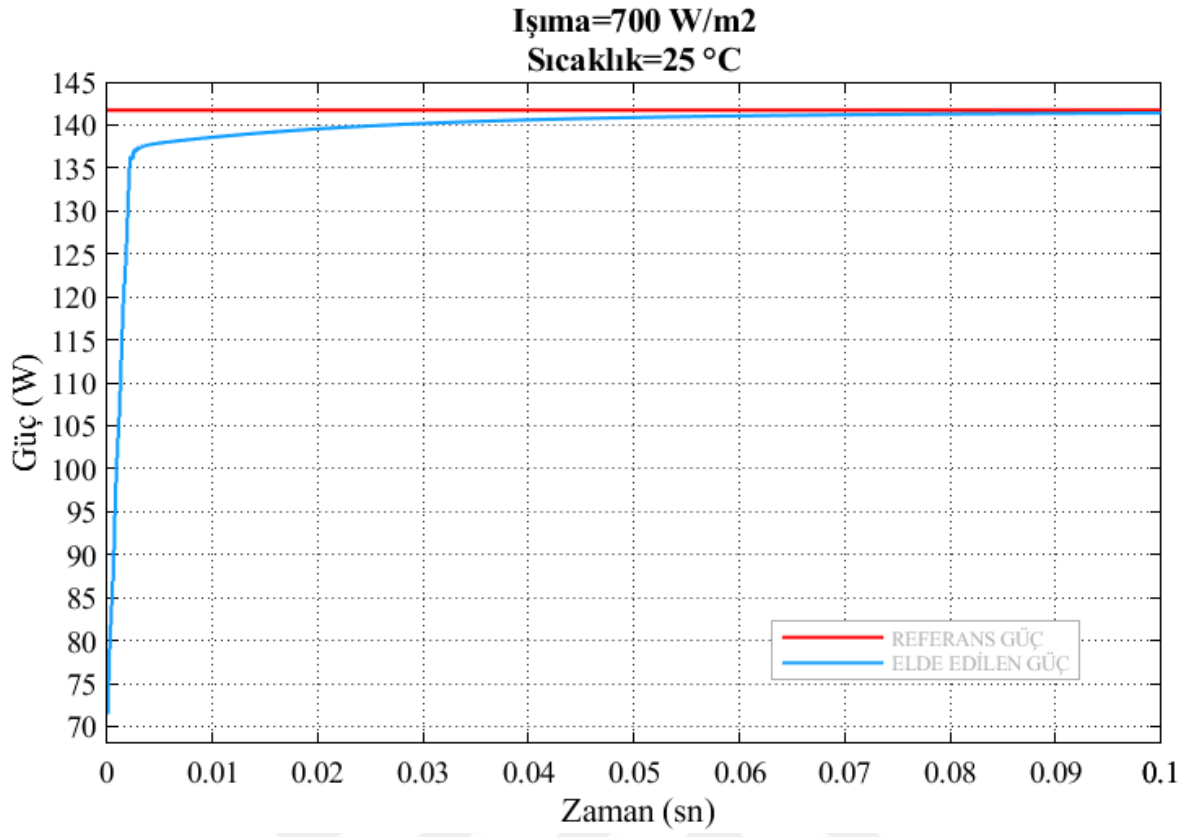
Işıma değeri 600 W/m^2 ve 25°C sıcaklığını ele alan sonuçlarda yükselme zamanı $2,333 \text{ ms}$, yerleşme zamanı $2,619 \text{ ms}$ ve aşırı düşüş oranı $\%1,880$ olmaktadır. Aynı zamanda kontrolör olarak PID kullanılan şekil 4.16'da $2,342 \text{ ms}$, aşırı düşüş oranı $\%1,994$ olmaktadır. Işıma değeri 600 W/m^2 olan 35°C sıcaklığını ele alan sonuçlarda yükselme zamanı $2,071 \text{ ms}$, yerleşme zamanı $2,592 \text{ ms}$ ve aşırı düşüş oranı $\%1,997$ olmaktadır. Aynı zamanda kontrolör olarak PID kullanılan şekil 4.17'de $2,081 \text{ ms}$, aşırı düşüş oranı $\%1,995$ olmaktadır. Işıma değeri 600 W/m^2 ve 45°C sıcaklığını ele alan sonuçlarda yükselme zamanı $1,801 \text{ ms}$, yerleşme zamanı $2,765 \text{ ms}$ ve aşırı düşüş oranı $\%1,959$ olmaktadır. Aynı

zamanda kontrolör olarak PID kullanılan şekil 4.18’de 1,802 ms, aşırı düşüş oranı %1,997 olmaktadır.

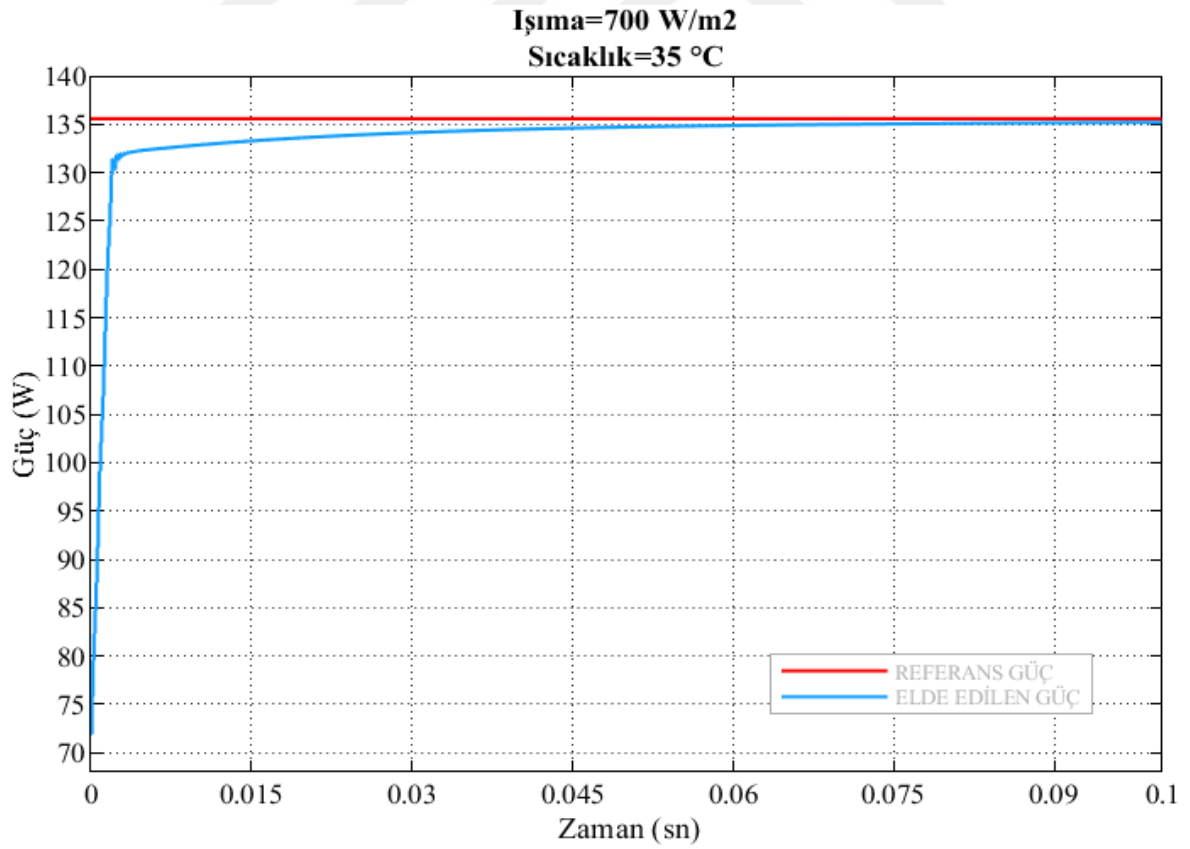
Işıma değeri 600 W/m^2 ve 25°C , 35°C , 45°C sıcaklıkları baz alınan MGNI’den Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18 sonuçları değerlendirildiğinde, sıcaklık değeri yükseldikçe ANFIS’in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücünün azaldığı, bu ısıma ve sıcaklık değerleri için PV modülün maksimum çıkış referans gücü yüksekten düşüğe doğru sıralandığında 25°C , 35°C , 45°C sıcaklıkta elde edildiği gözlemlenmiştir.

Işıma değeri 700 W/m^2 ve 25°C sıcaklıkları hem ANFIS’e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS’in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak 141,7 W olduğu, PV modülün bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda 71,5 W iken 0.1’inci saniyede 141,4 W olduğu Şekil 4.19’da görülmektedir.

Işıma değeri 700 W/m^2 ve 35°C sıcaklıkları hem ANFIS’e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS’in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak 135,6 W olduğu, PV modülün bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda 71,94 W iken 0.1’inci saniyede 135,2 W olduğu Şekil 4.20’de görülmektedir.

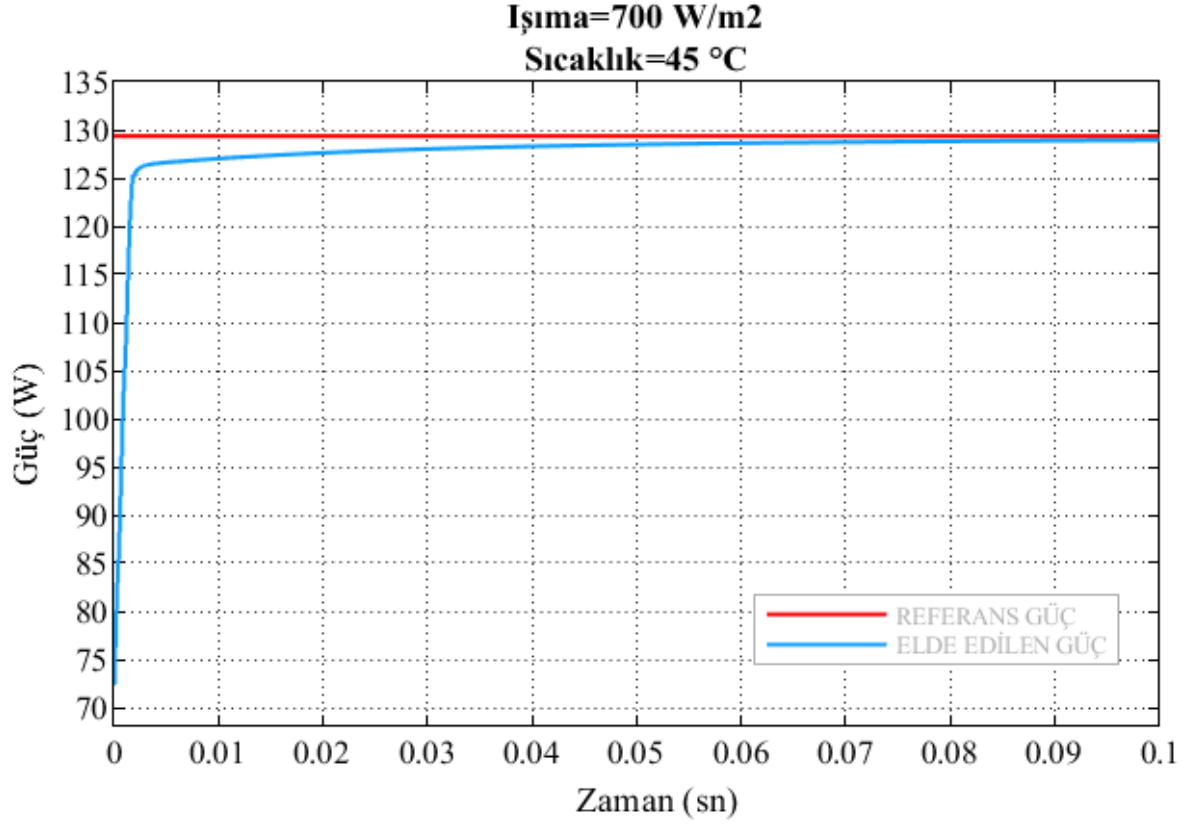


Şekil 4.19: 700 W/m² Işıma ve 25 °C Güç-Zaman Grafiği



Şekil 4.20: 700 W/m² Işıma ve 35 °C Güç-Zaman Grafiği

Işıma değeri 700 W/m^2 ve 45°C sıcaklıkları hem ANFIS'e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS'in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak $129,4 \text{ W}$ olduğu, PV modülün bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda $72,39 \text{ W}$ iken $0,1$ 'inci saniyede $128,9 \text{ W}$ olduğu Şekil 4.21'de görülmektedir.

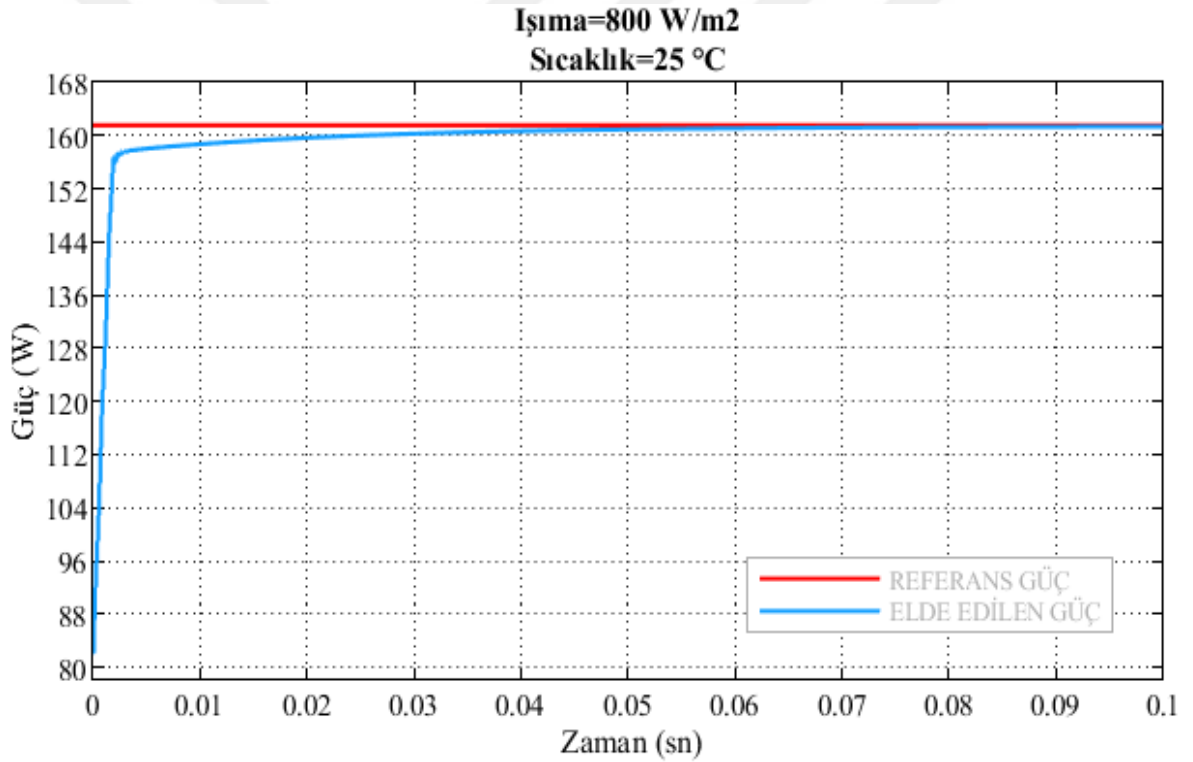


Şekil 4.21: 700 W/m^2 Işıma ve 45°C Güç-Zaman Grafiği

Işıma değeri 700 W/m^2 ve 25°C sıcaklığını ele alan sonuçlarda yükselme zamanı $1,864 \text{ ms}$, yerleşme zamanı $1,837 \text{ ms}$ ve aşırı düşüş oranı $\%1,797$ olmaktadır. Aynı zamanda kontrolör olarak PID kullanılan şekil 4.19'da $1,871 \text{ ms}$, aşırı düşüş oranı $\%2,000$ olmaktadır. Işıma değeri 700 W/m^2 olan 35°C sıcaklığını ele alan sonuçlarda yükselme zamanı $1,684 \text{ ms}$, yerleşme zamanı $1,808 \text{ ms}$ ve aşırı düşüş oranı $\%1,784$ olmaktadır. Aynı zamanda kontrolör olarak PID kullanılan şekil 4.20'de yükselme zamanı $1,689 \text{ ms}$, yerleşme zamanı $19,159 \text{ ms}$ ve aşırı düşüş oranı $\%1,992$ olmaktadır. Işıma değeri 700 W/m^2 ve 45°C sıcaklığını ele alan sonuçlarda yükselme zamanı $1,463 \text{ ms}$, yerleşme zamanı $1,785 \text{ ms}$ ve aşırı düşüş oranı $\%1,864$ olmaktadır. Aynı zamanda kontrolör olarak PID kullanılan şekil 4.21'de yükselme zamanı $1,469 \text{ ms}$, yerleşme zamanı $17,604 \text{ ms}$, aşırı düşüş oranı $\%1,994$ olmaktadır.

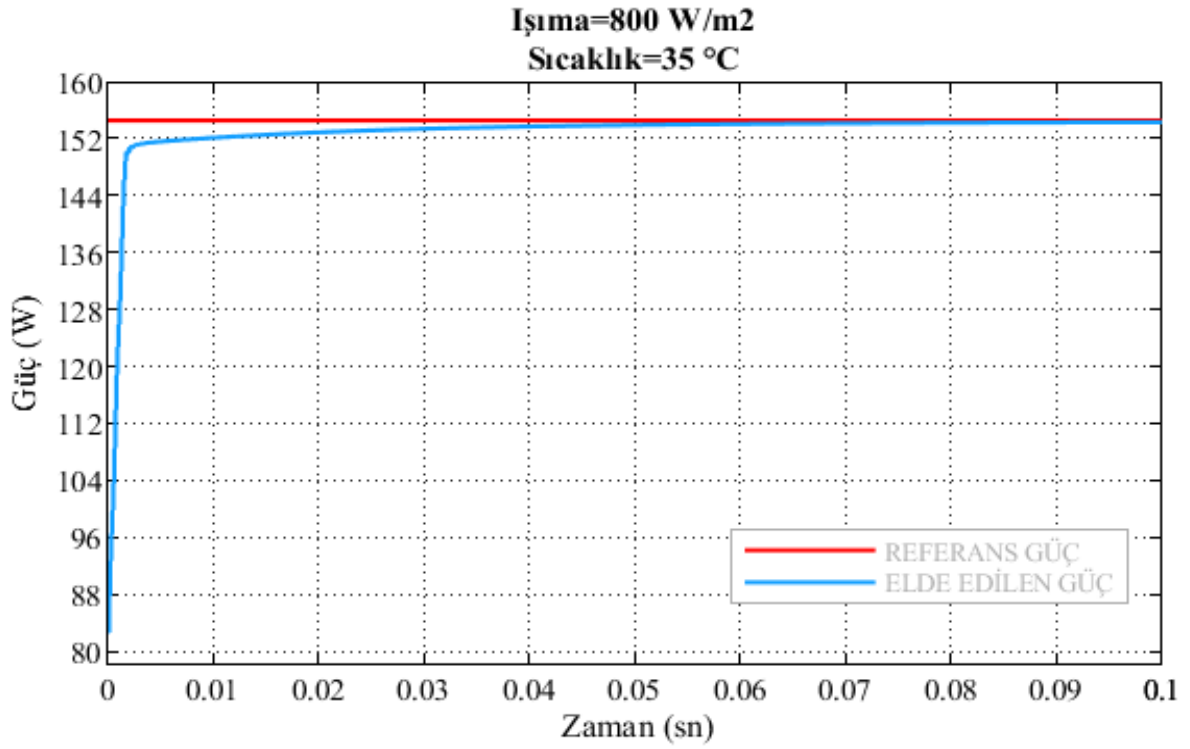
Işıma değeri 700 W/m^2 ve 25°C , 35°C , 45°C sıcaklıkları baz alınan MGNI'den Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21 sonuçları değerlendirildiğinde, sıcaklık değeri yükseldikçe ANFIS'in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücünün azaldığı, bu ısıma ve sıcaklık değerleri için PV modülün maksimum çıkış referans gücü yüksekten düşüğe doğru sıralandığında 25°C , 35°C , 45°C sıcaklıkta elde edildiği gözlemlenmiştir.

Işıma değeri 800 W/m^2 ve 25°C sıcaklıkları hem ANFIS'e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS'in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak $161,6 \text{ W}$ olduğu, PV modülün bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda $82,12 \text{ W}$ iken $0,1$ 'inci saniyede $161,4 \text{ W}$ olduğu Şekil 4.22'de görülmektedir.



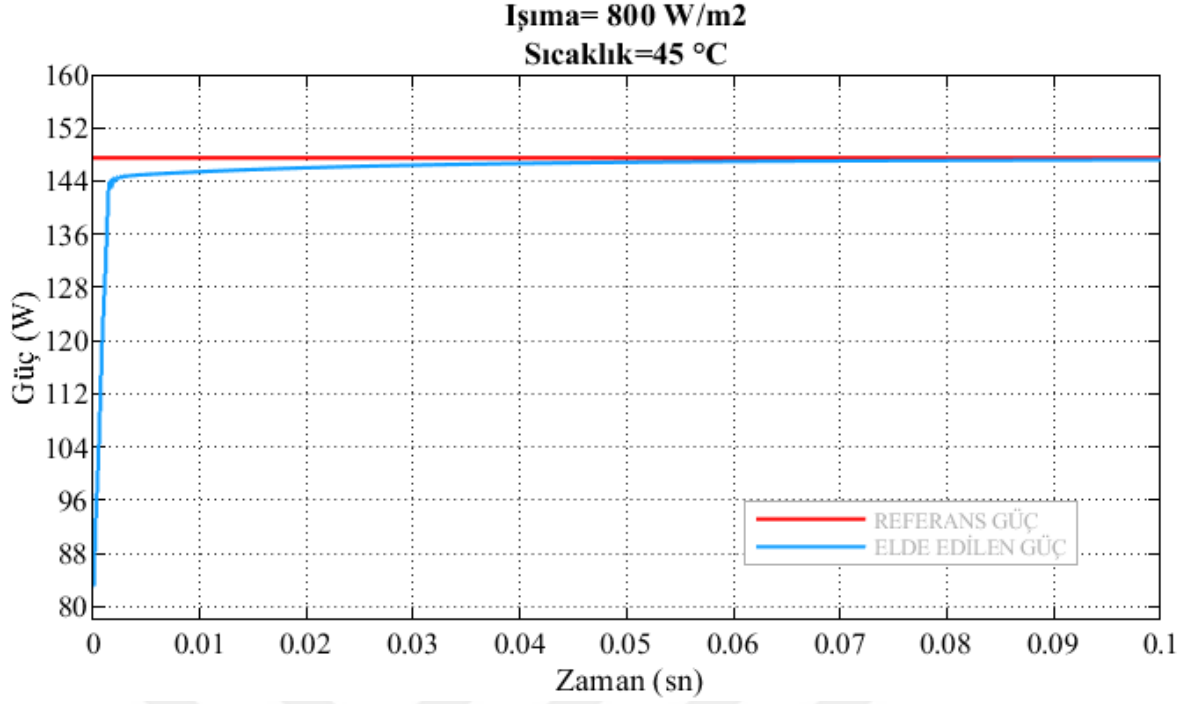
Şekil 4.22: 800 W/m^2 Işıma ve 25°C Güç-Zaman Grafiği

Işıma değeri 800 W/m^2 ve 35°C sıcaklıkları hem ANFIS'e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS'in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak $154,5 \text{ W}$ olduğu, PV modülün bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda $82,63 \text{ W}$ iken $0,1$ 'inci saniyede $154,3 \text{ W}$ olduğu Şekil 4.23'de görülmektedir.



Şekil 4.23: 800 W/m² Işıma ve 35 °C Güç-Zaman Grafiği

Işıma değeri 800 W/m² ve 45 °C sıcaklıkları hem ANFIS'e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS'in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak 147,5 W olduğu, PV modülün bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda 83,14 W iken 0.1'inci saniyede 147,5 W olduğu Şekil 4.24'da görülmektedir.



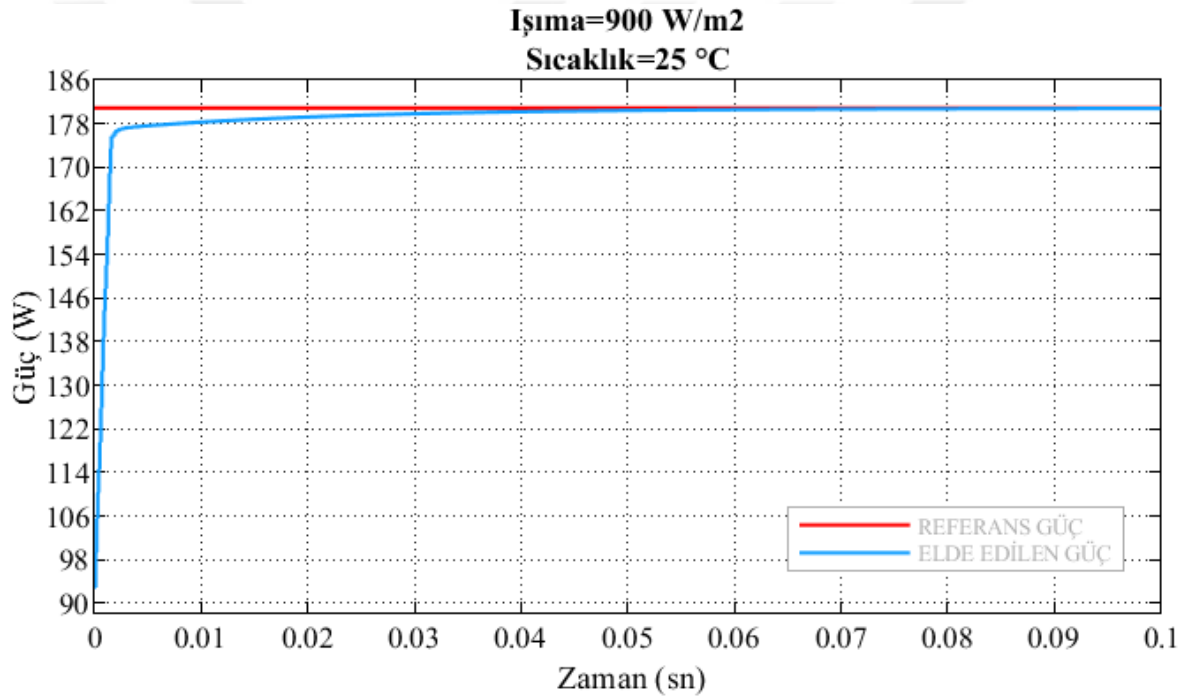
Şekil 4.24: 800W/m² Işıma ve 45 °C Güç-Zaman Grafiği

Işıma değeri 800 W/m² ve 25 °C sıcaklığını ele alan sonuçlarda yükselme zamanı 1,590 ms, yerleşme zamanı 1,399 ms ve aşırı düşüş oranı %1,948 olmaktadır. Aynı zamanda kontrolör olarak PID kullanılan şekil 4.23’de yükselme zamanı 1,596 ms, yerleşme zamanı 15,865 ms ve aşırı düşüş oranı %1,996 olmaktadır. Işıma değeri 800 W/m² olan 35 °C sıcaklığını ele alan sonuçlarda yükselme zamanı 1,373 ms, yerleşme zamanı 1,317 ms ve aşırı düşüş oranı %1,837 olmaktadır. Aynı zamanda kontrolör olarak PID kullanılan şekil 4.24’de yükselme zamanı 1,379 ms, yerleşme zamanı 14,193 ms, aşırı düşüş oranı %1,998 olmaktadır. Işıma değeri 800 W/m² ve 45 °C sıcaklığını ele alan sonuçlarda yükselme zamanı 1,215 ms, yerleşme zamanı 1,436 ms ve aşırı düşüş oranı %2,282 olmaktadır. Aynı zamanda kontrolör olarak PID kullanılan şekil 4.24’de yükselme zamanı 1,217 ms, yerleşme zamanı 12,308 ms, aşırı düşüş oranı %1,991 olmaktadır.

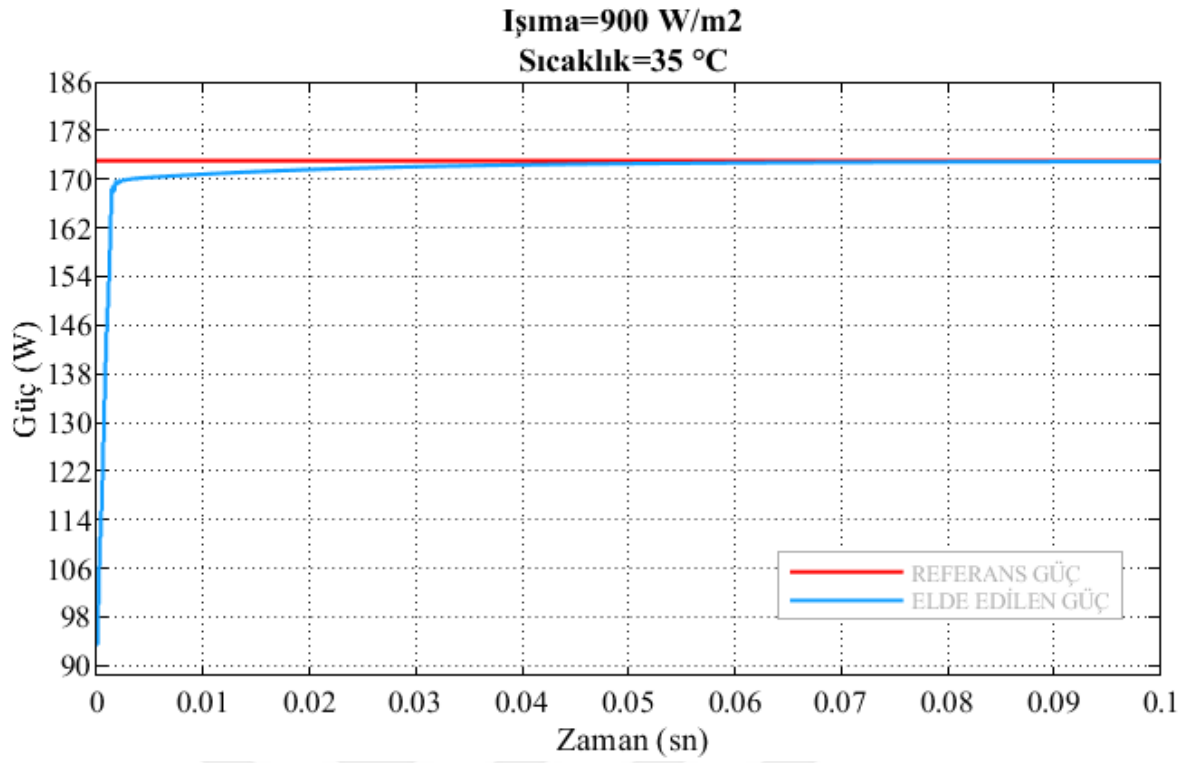
Işıma değeri 800 W/m² ve 25 °C, 35 °C, 45 °C sıcaklıkları baz alınan MGNİ’den Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.24 sonuçları değerlendirildiğinde, sıcaklık değeri yükseldikçe ANFIS’in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücünün azaldığı, bu ısıma ve sıcaklık değerleri için PV modülün maksimum çıkış referans gücü yüksekte düşüğe doğru sıralandığında 25 °C, 35 °C, 45 °C sıcaklıkta elde edildiği gözlemlenmiştir.

Işıma değeri 900 W/m^2 ve $25 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkları hem ANFIS'e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS'in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak $180,9 \text{ W}$ olduğu, PV modülün bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda $92,84 \text{ W}$ iken 0.1 'inci saniyede $180,8 \text{ W}$ olduğu Şekil 4.25'de görülmektedir.

Işıma değeri 900 W/m^2 ve $35 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkları hem ANFIS'e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS'in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak $173,0 \text{ W}$ olduğu, PV modülün bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda $93,42 \text{ W}$ iken 0.1 'inci saniyede $172,9 \text{ W}$ olduğu Şekil 4.26'de görülmektedir.

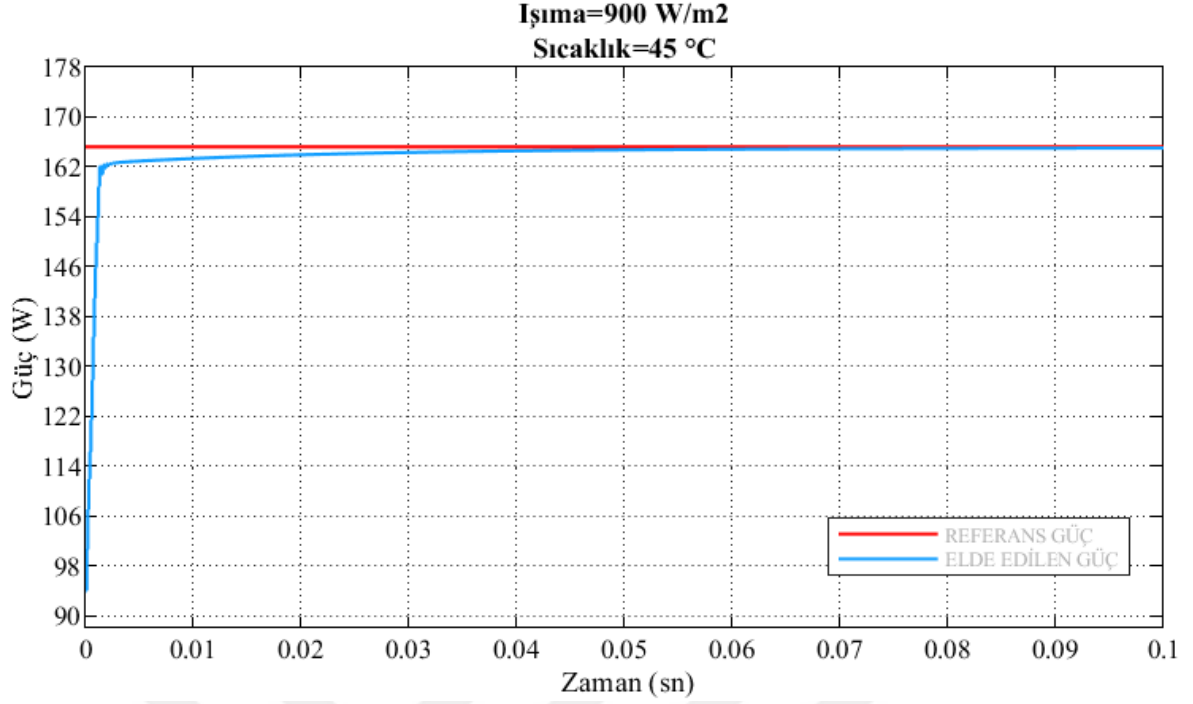


Şekil 4.25: 900 W/m^2 Işıma ve $25 \text{ }^\circ\text{C}$ Güç-Zaman Grafiği



Şekil 4.26: 900 W/m² Işıma ve 35 °C Güç-Zaman Grafiği

Işıma değeri 900 W/m² ve 45 °C sıcaklıkları hem ANFIS’e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS’in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak 165,2 W olduğu, PV modülün bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda 94,0 W iken 0.1’inci saniyede 165,2 W olduğu Şekil 4.27’de görülmektedir.



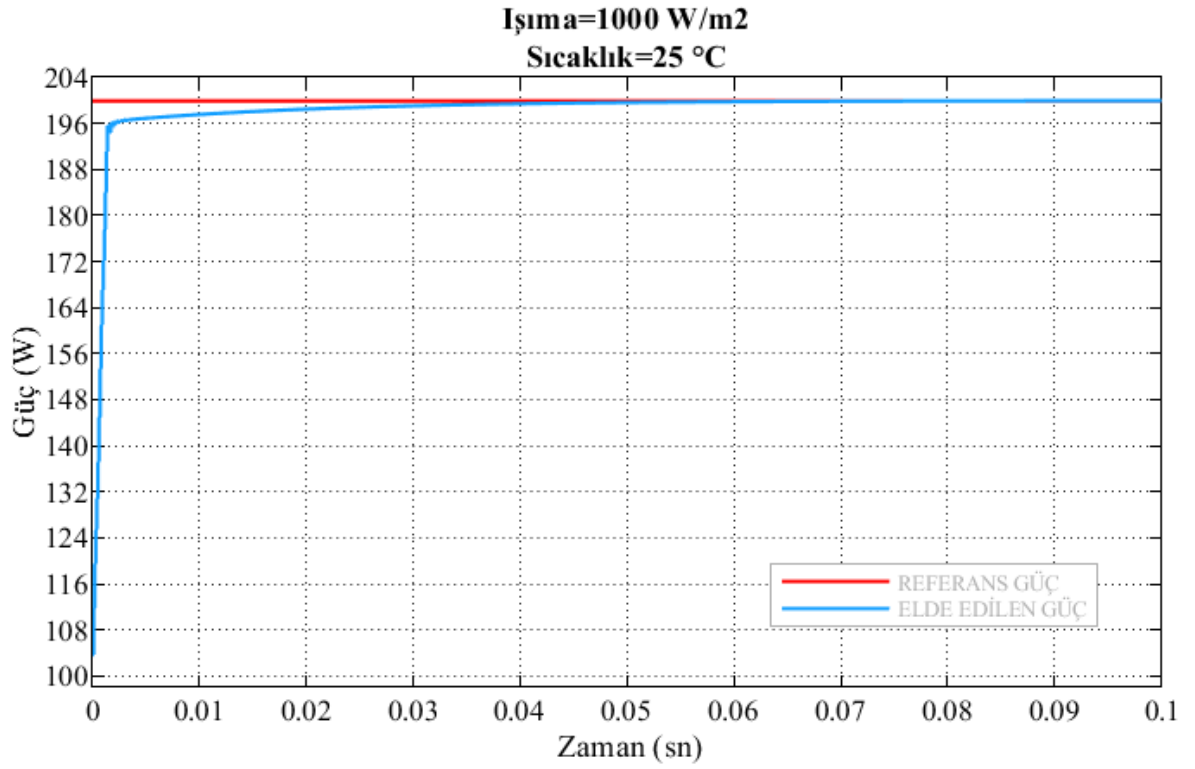
Şekil 4.27: 900 W/m² Işıma ve 45 °C Güç-Zaman Grafiği

Işıma değeri 900 W/m² ve 25 °C sıcaklığını ele alan sonuçlarda yükselme zamanı 1,313 ms, yerleşme zamanı 1,180 ms ve aşırı düşüş oranı %1,511 olmaktadır. Aynı zamanda kontrolör olarak PID kullanılan şekil 4.25’de yükselme zamanı 1,317 ms, yerleşme zamanı 12,240 ms aşırı düşüş oranı 1,989% olmaktadır. Işıma değeri 900 W/m² olan 35 °C sıcaklığını ele alan sonuçlarda yükselme zamanı 1,180 ms, yerleşme zamanı 1,086 ms ve aşırı düşüş oranı %1,677 olmaktadır. Aynı zamanda kontrolör olarak PID kullanılan şekil 4.26 da yükselme zamanı 1,184 ms, yerleşme zamanı 10,448 ms, aşırı düşüş oranı %1,993 olmaktadır. Işıma değeri 900 W/m² ve 45 °C sıcaklığını ele alan sonuçlarda yükselme zamanı 1,062 ms, yerleşme zamanı 1,030 ms ve aşırı düşüş oranı %1,816 olmaktadır. Aynı zamanda kontrolör olarak PID kullanılan şekil 4.27’de yükselme zamanı 1,064 ms, yerleşme zamanı 8,304 ms, aşırı düşüş oranı %1,992 olmaktadır.

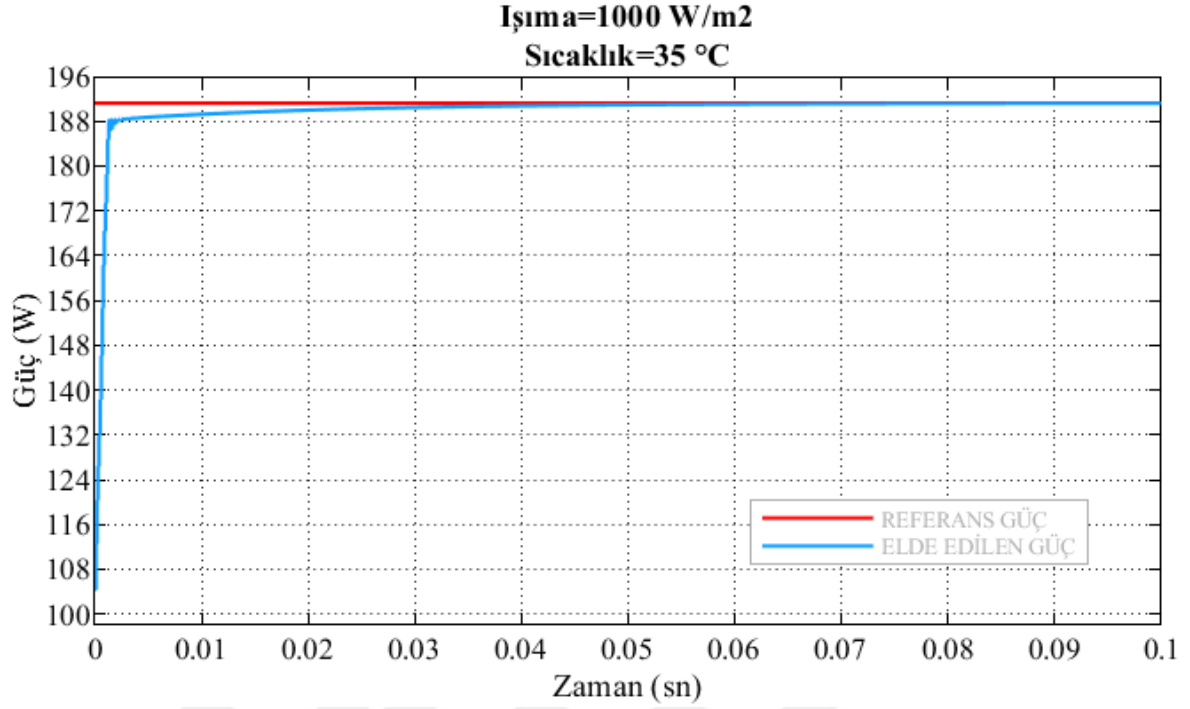
Işıma değeri 900 W/m² ve 25 °C, 35 °C, 45°C sıcaklıkları baz alınan MGNİ’den Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27 sonuçları değerlendirildiğinde, sıcaklık değeri yükseldikçe ANFIS’in bu ışıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücünün azaldığı, bu ışıma ve sıcaklık değerleri için PV modülün maksimum çıkış referans gücü yüksekte düşüğe doğru sıralandığında 25 °C, 35 °C, 45 °C sıcaklıkta elde edildiği gözlemlenmiştir.

Işıma değeri 1000 W/m^2 ve $25 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkları hem ANFIS'e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS'in bu ışıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak $199,9 \text{ W}$ olduğu, PV modülün bu ışıma ve sıcaklık değerleri için maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda $103,7 \text{ W}$ iken $0,1$ 'inci saniyede $199,9 \text{ W}$ olduğu Şekil 4.28'de görülmektedir.

Işıma değeri 1000 W/m^2 ve $35 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkları hem ANFIS'e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS'in bu ışıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak $191,2 \text{ W}$ olduğu, PV modülün bu ışıma ve sıcaklık değerleri için maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda $104,3 \text{ W}$ iken $0,1$ 'inci saniyede $191,2 \text{ W}$ olduğu Şekil 4.29'da görülmektedir.

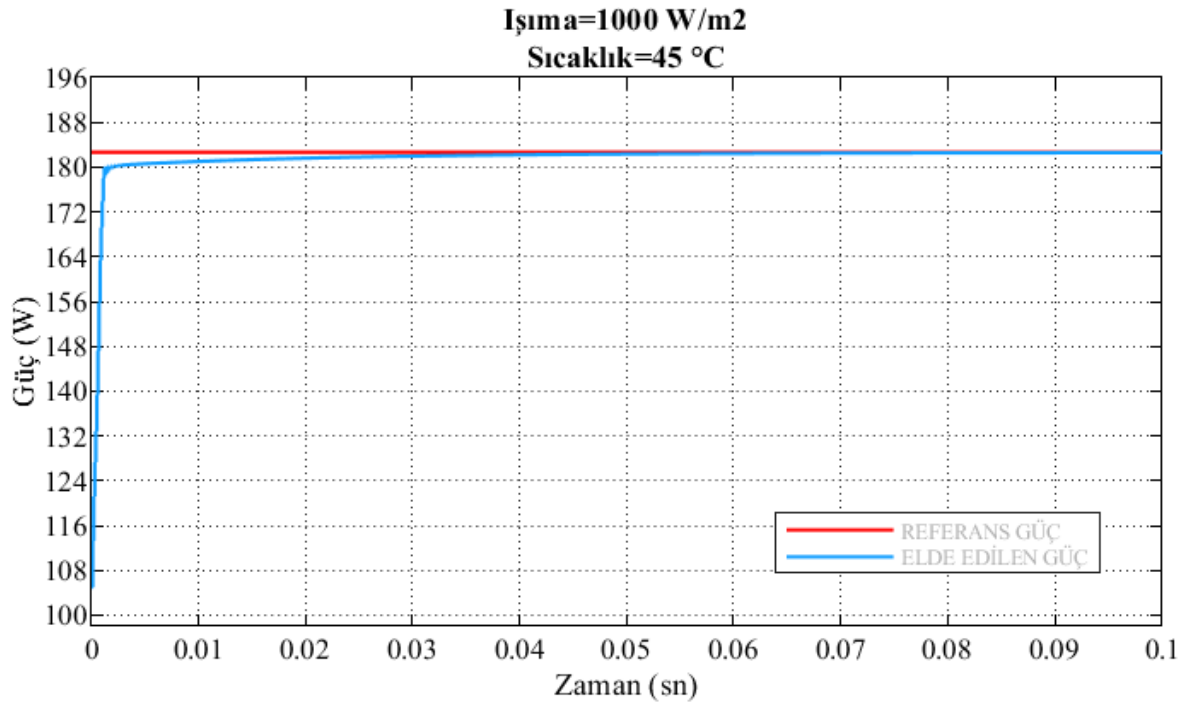


Şekil 4.28: 1000 W/m^2 Işıma ve $25 \text{ }^\circ\text{C}$ Güç-Zaman Grafiği



Şekil 4.29: 1000 W/m² Işıma ve 35 °C Güç-Zaman Grafiği

Işıma değeri 1000 W/m² ve 45 °C sıcaklıkları hem ANFIS'e hem de PV modüle giriş değeri olarak verildiğinde ANFIS'in bu ışıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücü olarak 182,7 W olduğu, PV modülün bu ışıma ve sıcaklık değerleri için maksimum elde edilen çıkış gücünün ilk anda 105,0 W iken 0.1'inci saniyede 182,7 W olduğu Şekil 4.30'da görülmektedir.

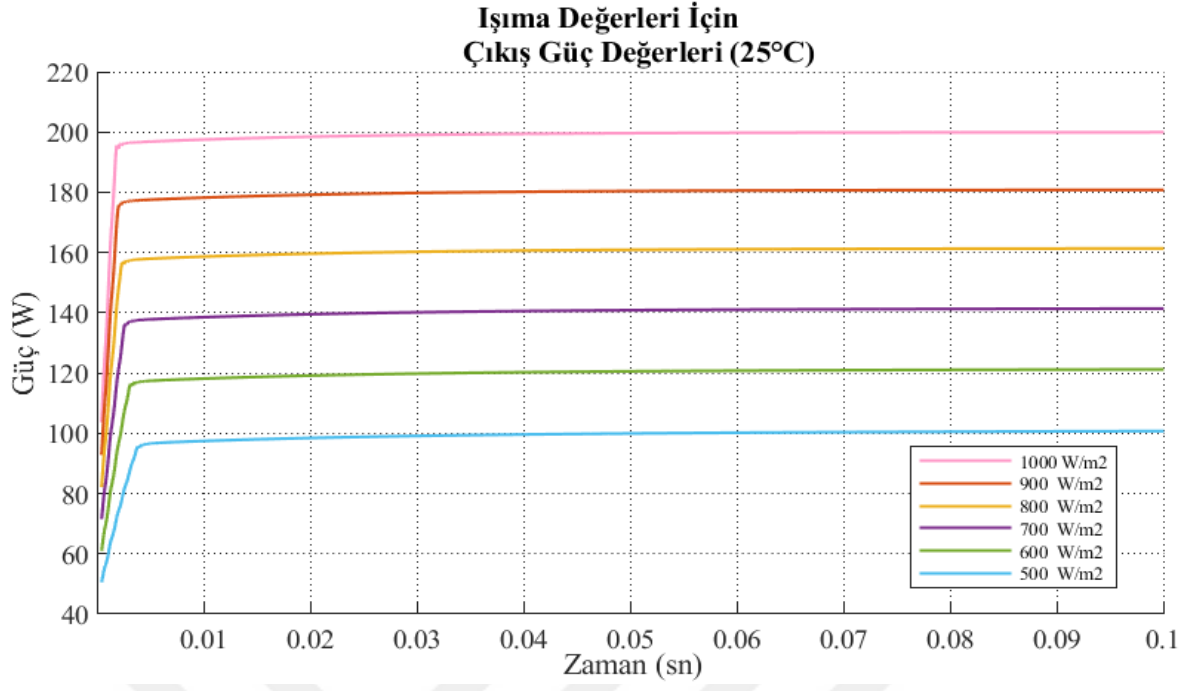


Şekil 4.30: 1000 W/m² Işıma ve 45 °C Güç-Zaman Grafiği

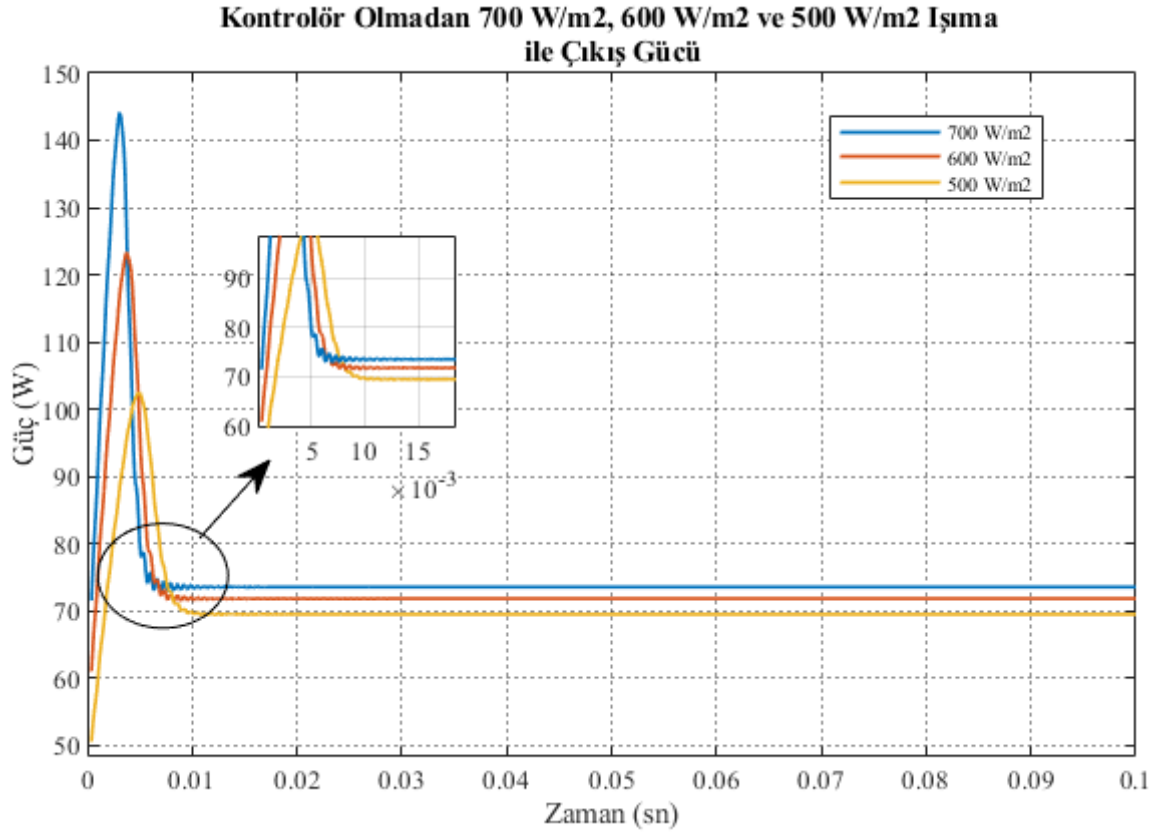
Işıma değeri 1000 W/m^2 ve $25 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığını ele alan sonuçlarda yükselme zamanı $1,155 \text{ ms}$, yerleşme zamanı $1,037 \text{ ms}$ ve aşırı düşüş oranı $\%1,203$ olmaktadır. Aynı zamanda kontrolör olarak PID kullanılan şekil 4.28’de yükselme zamanı $1,158 \text{ ms}$, yerleşme zamanı $9,290 \text{ ms}$, aşırı düşüş oranı $\%1,996$ olmaktadır. Işıma değeri 1000 W/m^2 olan $35 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığını ele alan sonuçlarda yükselme zamanı $1,045 \text{ ms}$, yerleşme zamanı $977,770 \text{ }\mu\text{s}$ ve aşırı düşüş oranı $\%3,675$ olmaktadır. Aynı zamanda kontrolör olarak PID kullanılan şekil 6.37 de yükselme zamanı $1,048 \text{ ms}$, yerleşme zamanı $7,343 \text{ ms}$ ve aşırı düşüş oranı $\%1,995$ olmaktadır. Işıma değeri 1000 W/m^2 ve $45 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığını ele alan sonuçlarda yükselme zamanı $914,315 \text{ }\mu\text{s}$, yerleşme zamanı $912,236 \text{ }\mu\text{s}$ ve aşırı düşüş oranı $\%1,564$ olmaktadır. Aynı zamanda kontrolör olarak PID kullanılan şekil 4.30’da yükselme zamanı $917,181 \text{ }\mu\text{s}$, yerleşme zamanı $5,046 \text{ ms}$ ve aşırı düşüş oranı $\%1,988$ olmaktadır.

Işıma değeri 1000 W/m^2 ve $25 \text{ }^\circ\text{C}$, $35 \text{ }^\circ\text{C}$, $45 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkları baz alınan MGNI’den Şekil 4.28, Şekil 4.29, Şekil 4.30 sonuçları değerlendirildiğinde, sıcaklık değeri yükseldikçe ANFIS’in bu ısıma ve sıcaklık değerleri için maksimum çıkış referans gücünün azaldığı, bu ısıma ve sıcaklık değerleri için PV modülün maksimum çıkış referans gücü yüksekte düşüğe doğru sıralandığında $25 \text{ }^\circ\text{C}$, $35 \text{ }^\circ\text{C}$, $45 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta elde edildiği gözlemlenmiştir.

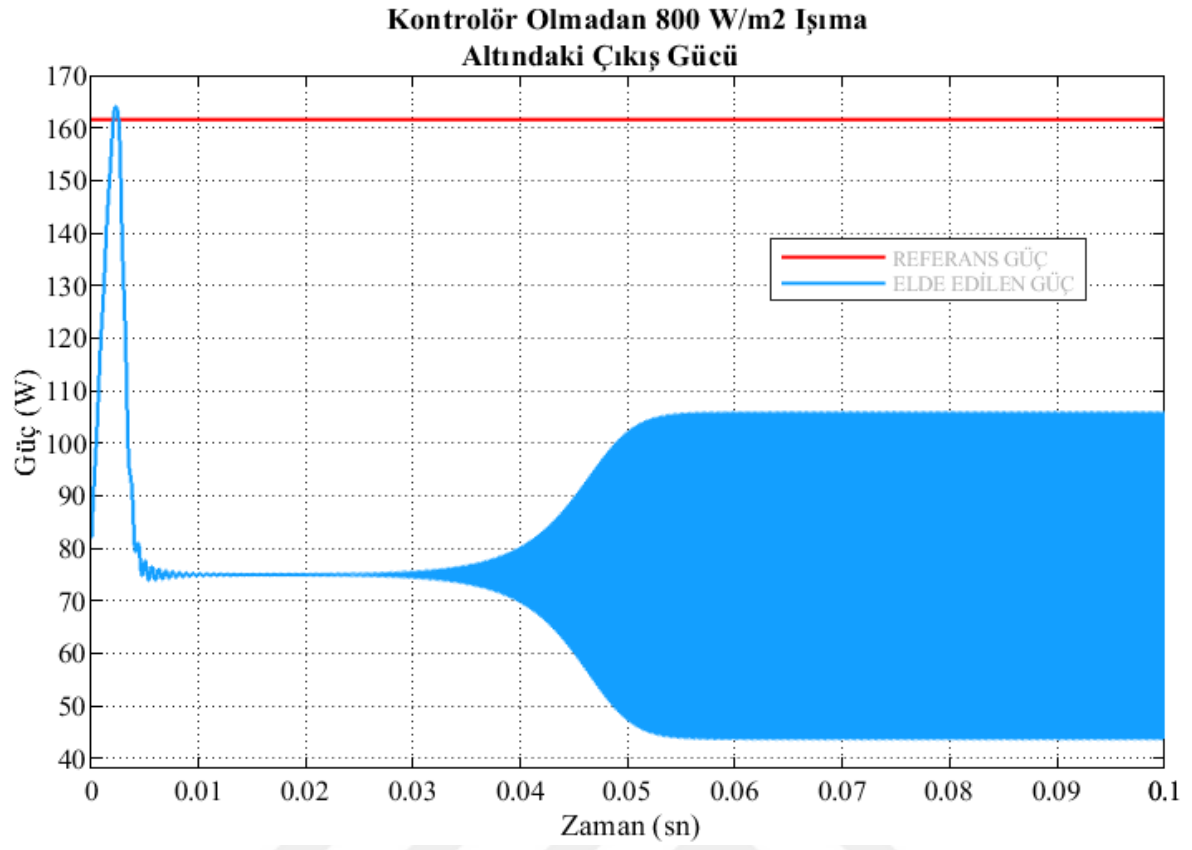
Şekil 4.31’de 500 W/m^2 ile 1000 W/m^2 aralığındaki ısımaların $25 \text{ }^\circ\text{C}$ sabit sıcaklıkta PV panelden elde edilen güçlerin aynı anda görülebilmesi için üst üste çizilmiş grafiğidir. Kontrolör devre dışı bırakıldığı zaman oluşan grafik şekil 4.32, şekil 4.33, şekil 4.34 ve şekil 4.35’de görülmüştür.



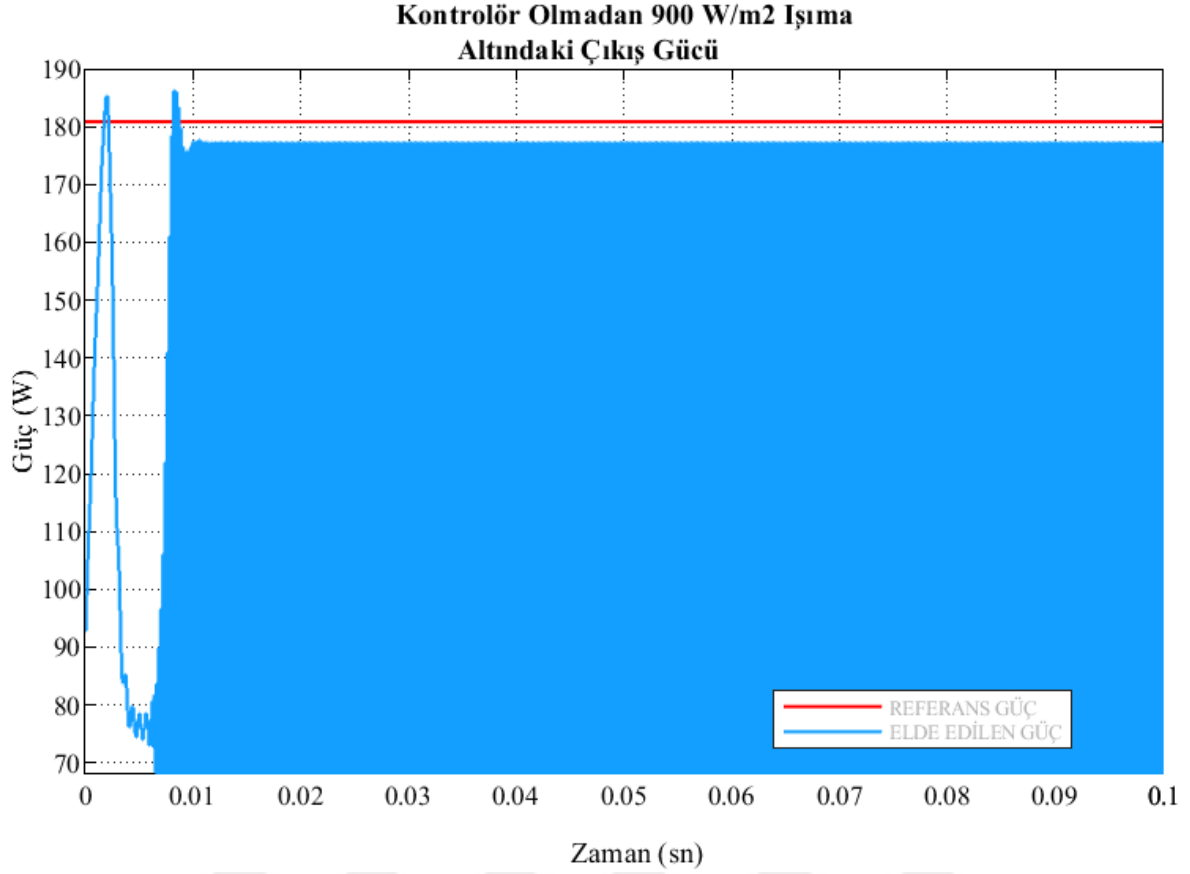
Şekil 4.31: Sistem Çıkış Cevabı



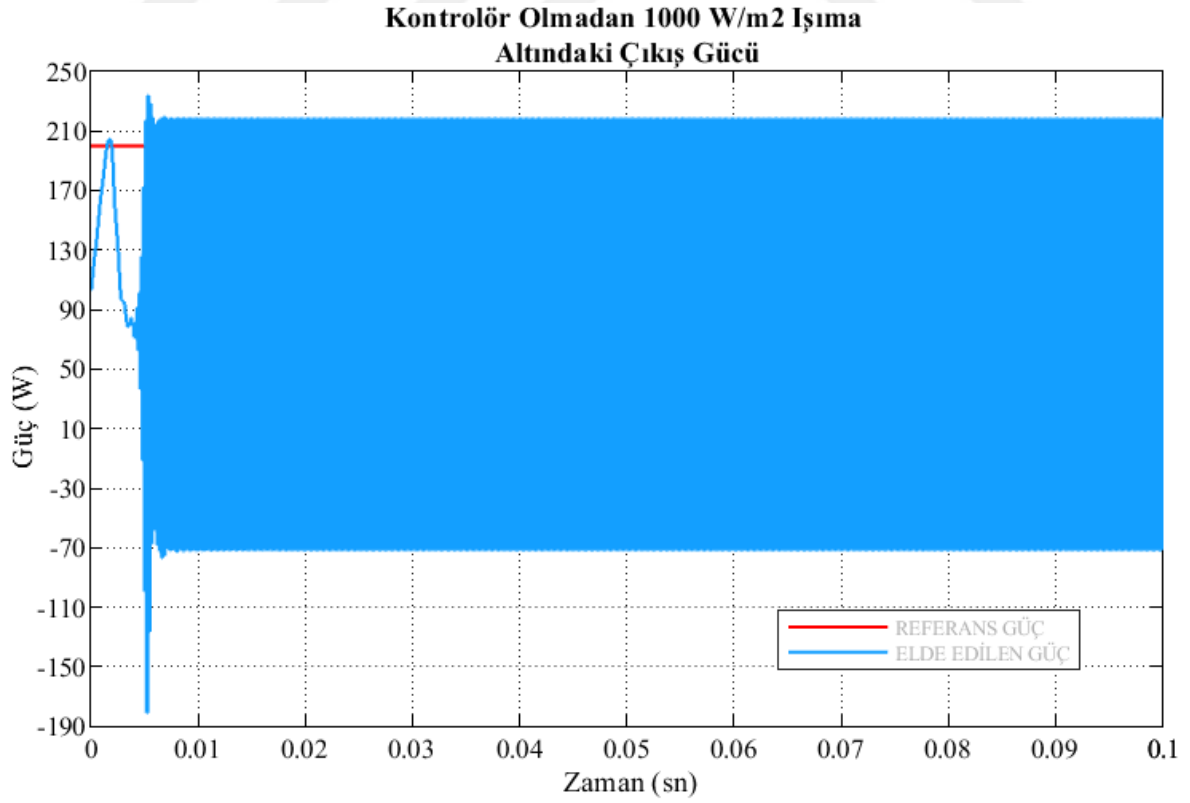
Şekil 4.32: 700 W/m², 600 W/m² ve 500 W/m² Işıma altında Kontrolör Olmadan Sistem Çıkış Cevabı



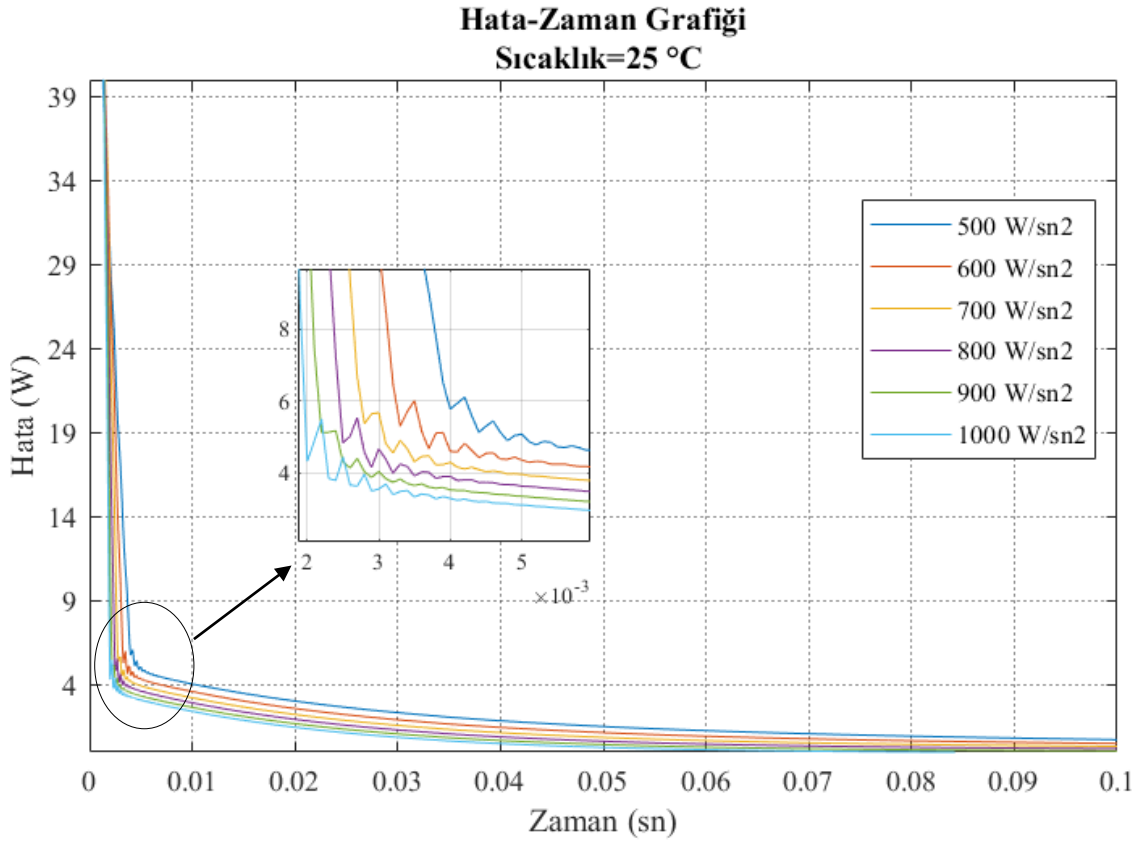
Şekil 4.33: 800 W/m² Işıma altında Kontrolör Olmadan Devrenin Çıkış Cevabı



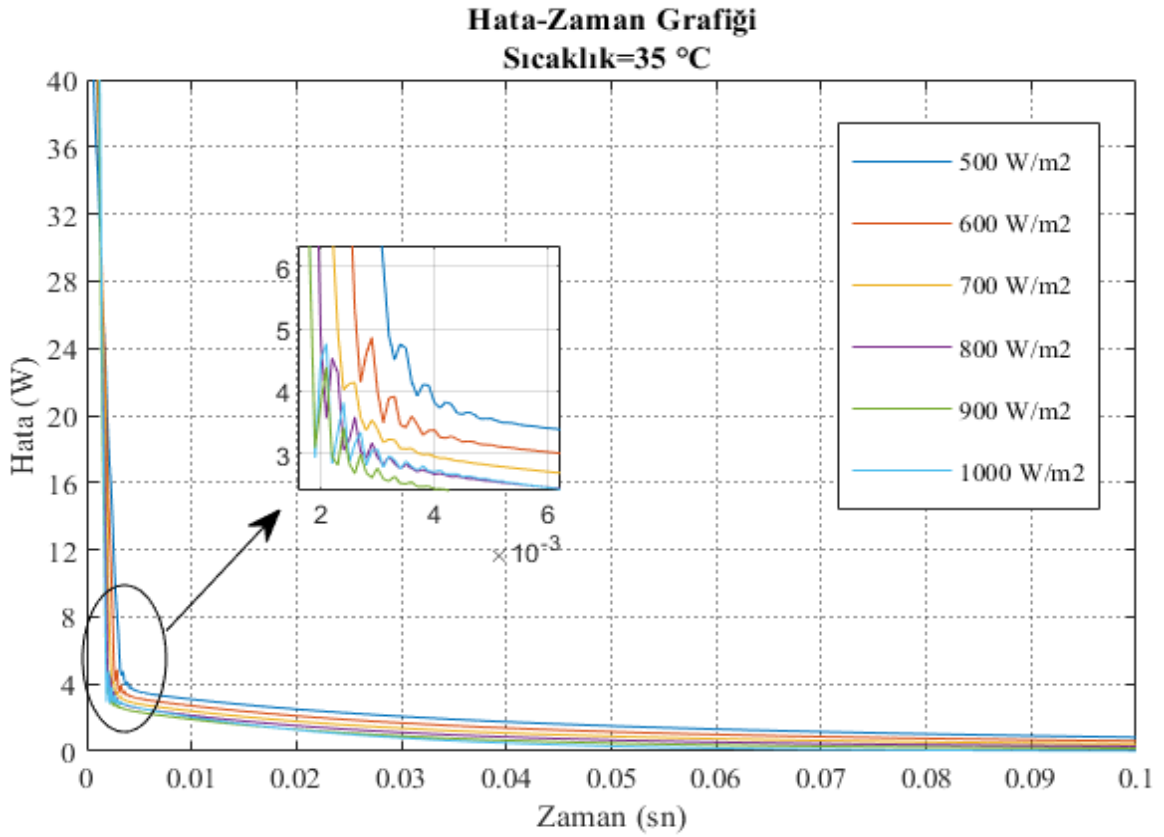
Şekil 4.34: 900 W/m² Işıma altında Kontrolör Olmadan Devrenin Çıkış Cevabı



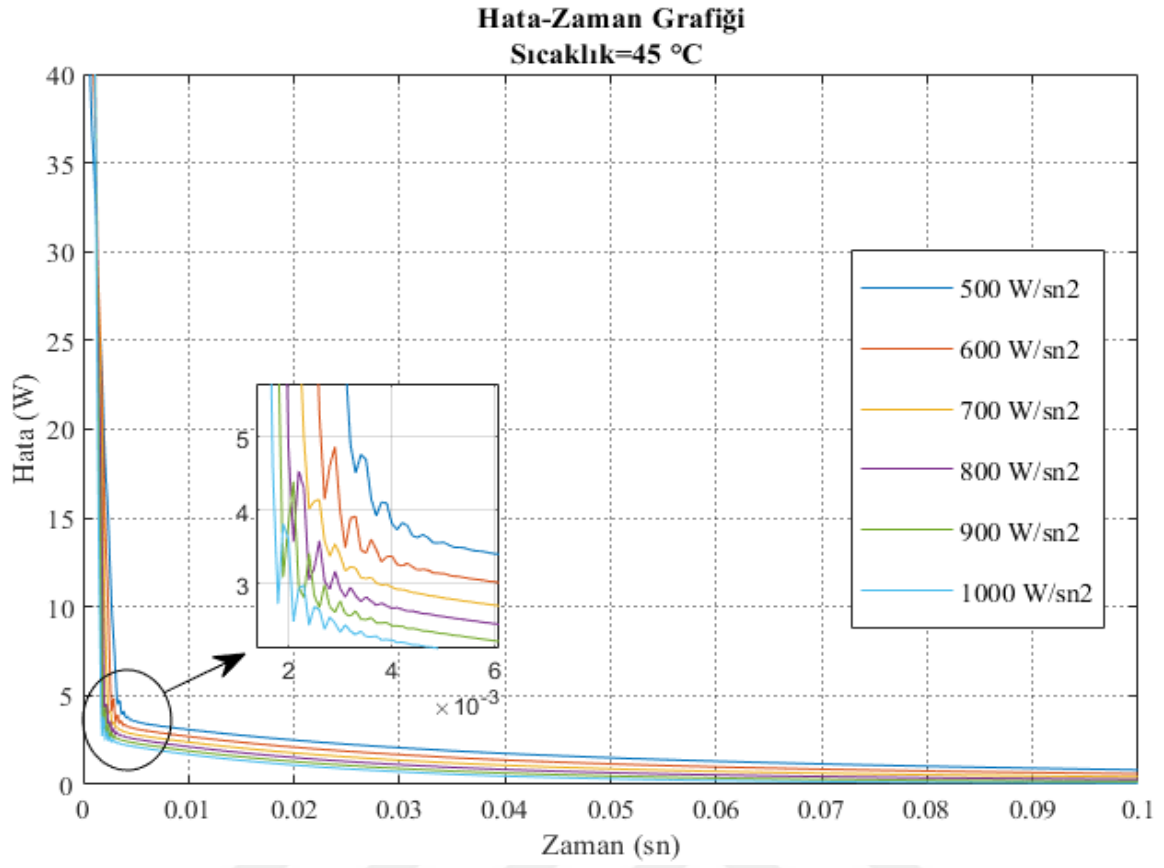
Şekil 4.35: 1000 W/m² Işıma altında Kontrolör Olmadan Devrenin Çıkış Cevabı



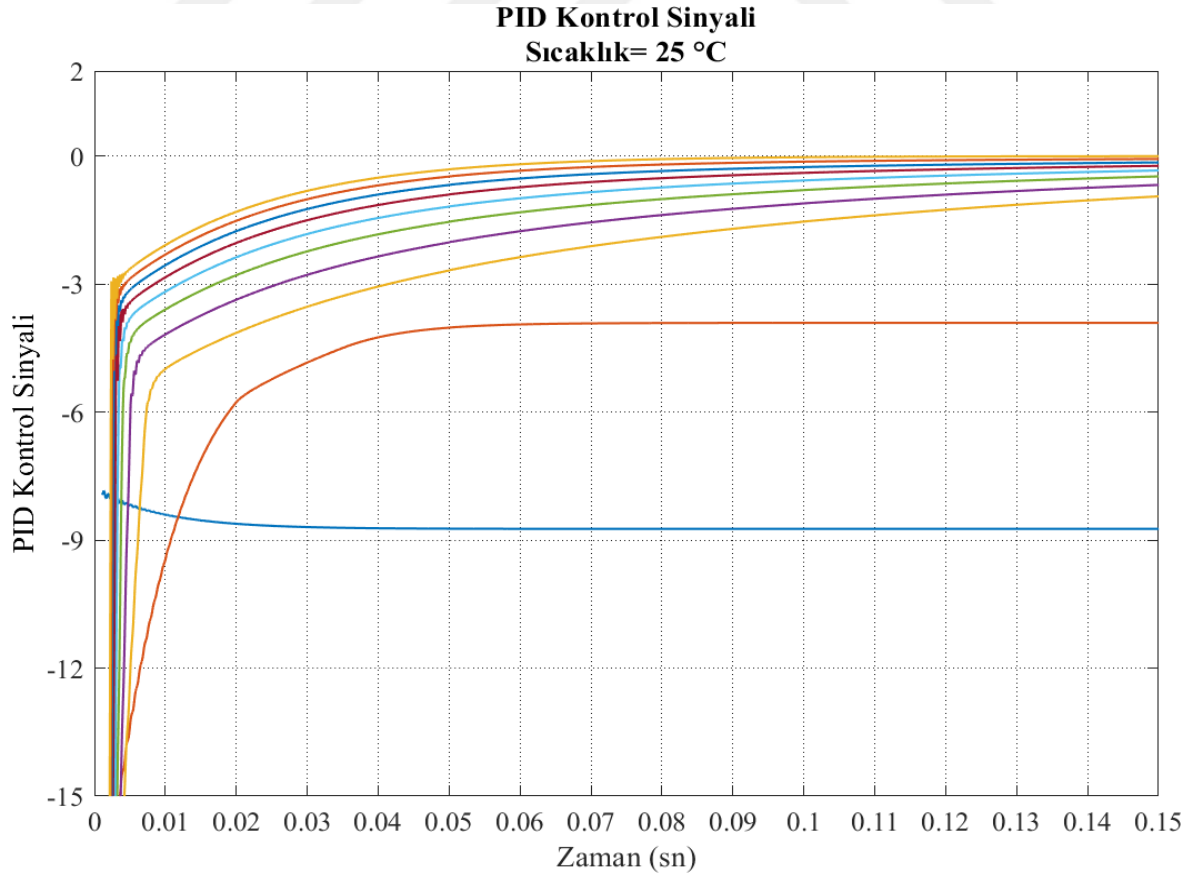
Şekil 4.36: 25 °C Sabit Sıcaklık Altında Hata-Zaman Grafiği



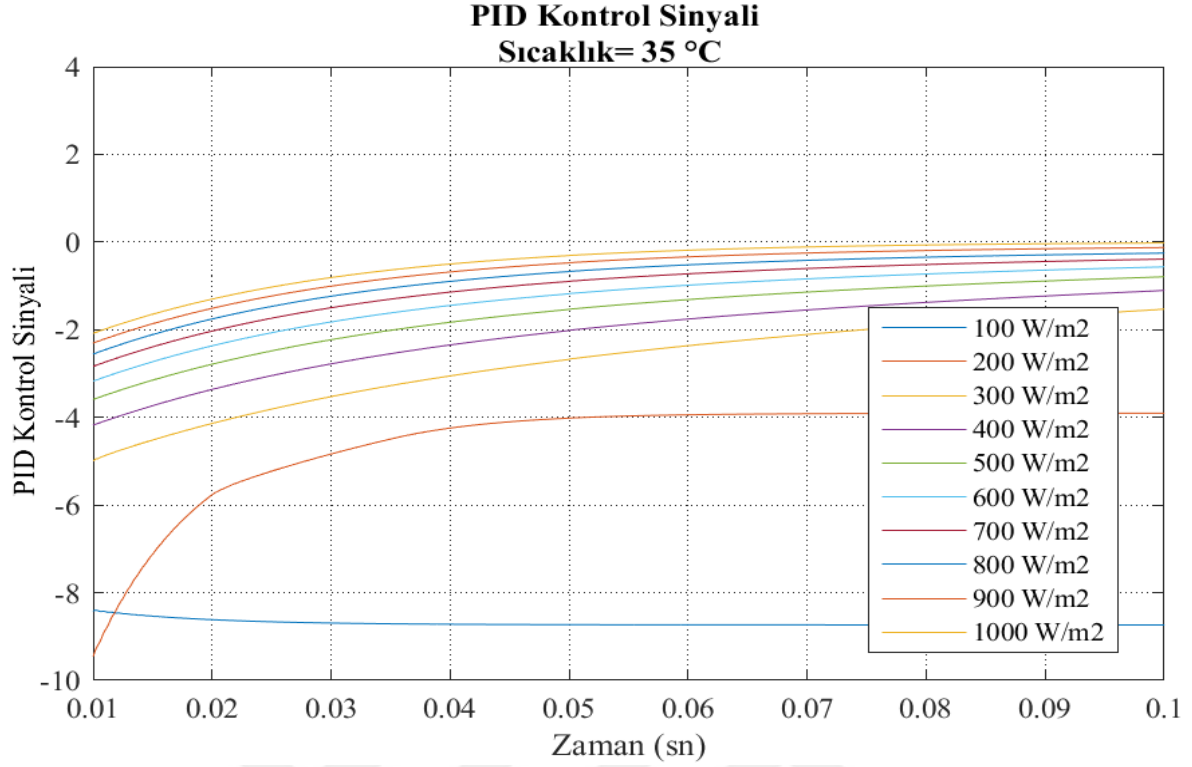
Şekil 4.37: 35 °C Sabit Sıcaklık Altında Hata-Zaman Grafiği



Şekil 4.38: 45 °C Sabit Sıcaklık Altında Hata-Zaman Grafiği

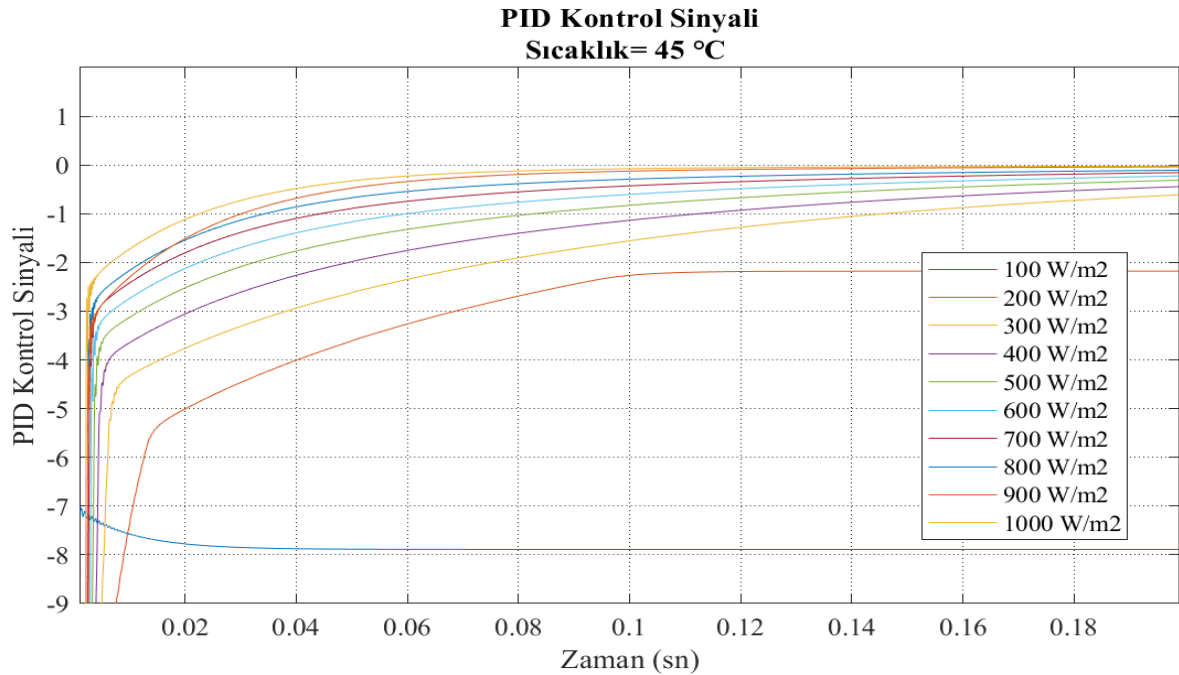


Şekil 4.39: 25 °C Sabit Sıcaklık Altında PID Kontrol Sinyali



Şekil 4.40: 35 °C Sabit Sıcaklık Altında PID Kontrol Sinyali

Şekil 4.36’da, Şekil 4.37’de, Şekil 4.38’de sırasıyla 25 °C, 35 °C, 45 °C Sabit Sıcaklık Değerleri Altında Hata-Zaman Grafikleri verilmiştir. Şekil 4.39’da, Şekil 4.40’da, Şekil 4.41’de sırasıyla 25 °C, 35 °C, 45 °C Sabit Sıcaklık Değerleri Altında PID Kontrol Sinyali Grafikleri verilmiştir.

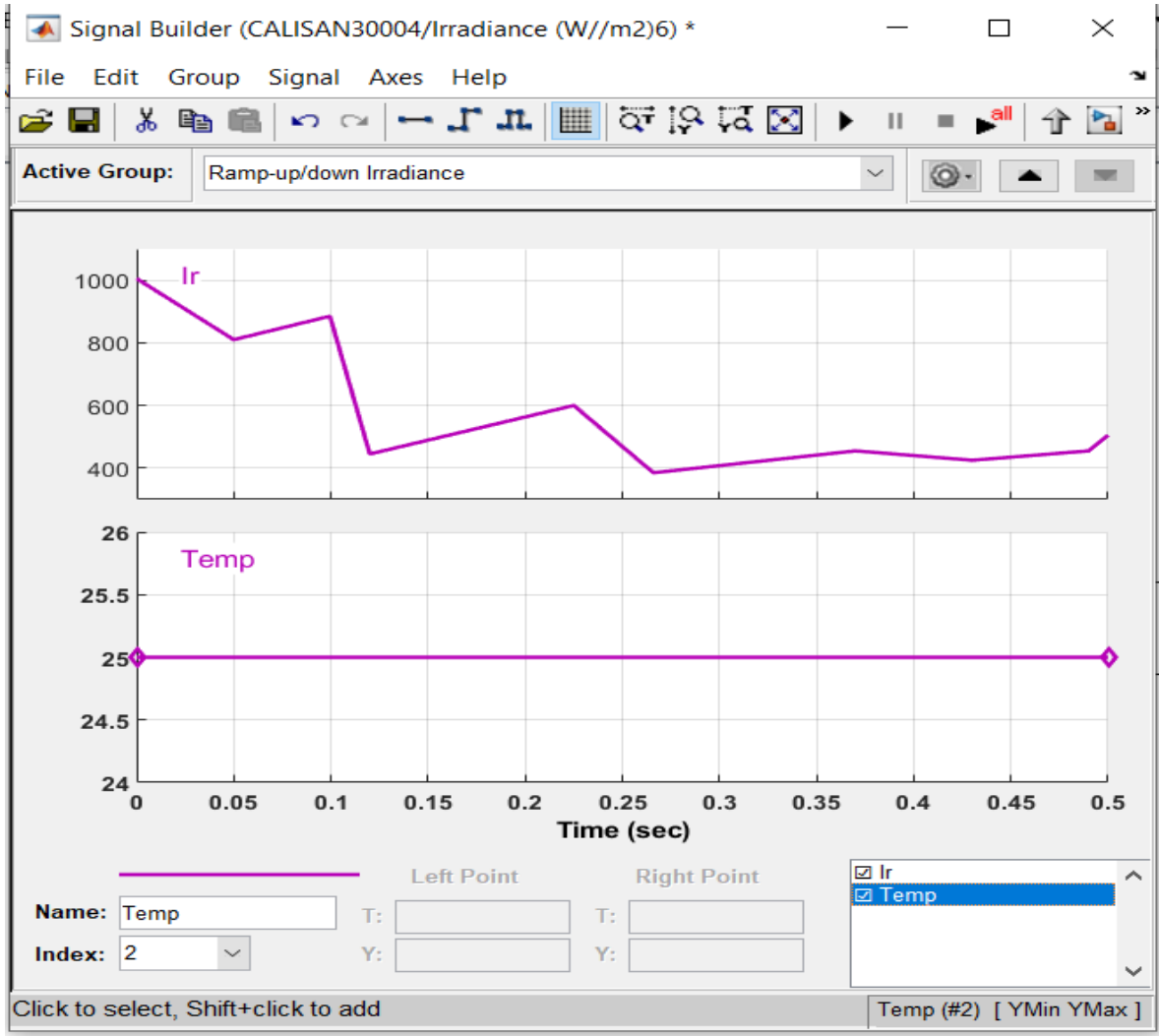


Şekil 4.41: 45 °C Sabit Sıcaklık Altında PID Kontrol Sinyali

4.2. Sistem Üzerindeki Bulutlanma Etkisi

Çalışmada bulutlanma etkisinin MGNİ üzerindeki sonucunu tahmin etmek için girişe ani ışıma değişikliği ve sabit sıcaklık verilmiştir. Verilen ışıma değişikliği şekil 4.42 ve şekil 4.45’de görülmektedir. Örnek bulutlanma eğrilerinin güç üzerindeki etkisi şekil 4.43, şekil 4.46 ve şekil 4.47’de verilmiştir. Tekrar bulutlanma etkisi altında iken kontrolörün devre dışı bırakıldığı grafik şekil 4.44 ve şekil 4.47’de görmekteyiz.

PV modülün çalışma performansını etkileyen dış ortam koşullarından biri de bulutlanma etkisidir. Güneş ışınlarının doğrudan PV modül üzerine gelmesini engelleyerek metrekareye düşen foton sayısını ve enerjisini azaltması nedeniyle PV modülün bu esnadaki çıkış gücünde düşüş meydana gelmektedir. Bulutlanma etkisinin çalışılan devre üzerindeki etkisini simüle etmek için sabit sıcaklık ve zamanla değişen ışıma değerleri, MATLAB/Simulink ortamında sabit sıcaklık ve ışıma değerleri yerine bağlanmıştır.

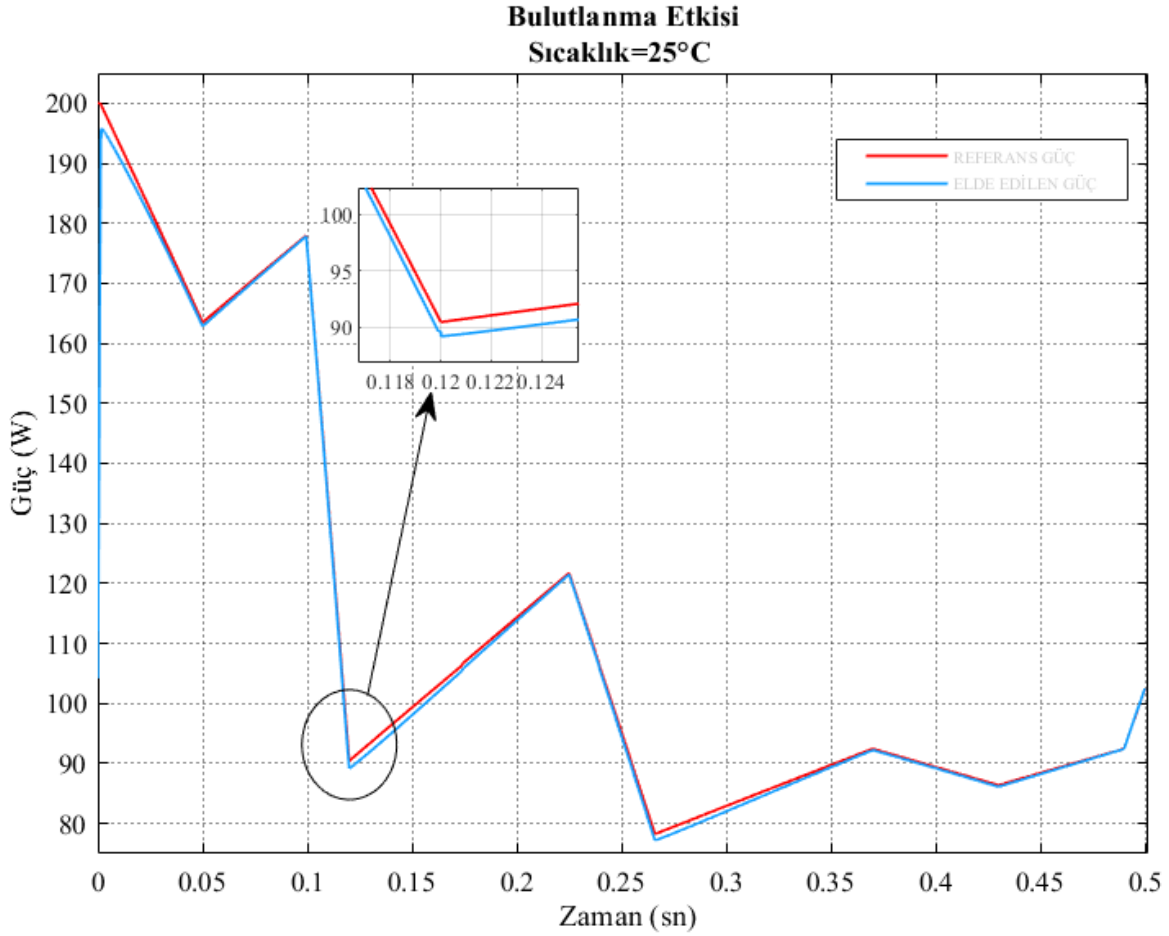


Şekil 4.42: 25 °C Sabit Sıcaklık Altında Değişen Işıma Değerleri

Şekil 4.42’de zamanla değişen ışıma değerleri, ilk anda 1005 W/m^2 ışıma değeri, sonrasında 0,05. saniyedeki ışıma değeri 810 W/m^2 , 0,0995. saniyede 885 W/m^2 ışıma değeri, 0,12. saniyede 445 W/m^2 ışıma değeri, 0,225. saniyede 600 W/m^2 ışıma değeri, 0,266. saniyede 385 W/m^2 ışıma değeri, 0,37. saniyede 425 W/m^2 ışıma değeri, 0,43. saniyede 455 W/m^2 ışıma değeri, 0,5. saniyede $504,6552 \text{ W/m}^2$ ışıma değerlerini ve sabit 25°C sıcaklık değeri alan sinyal simülasyonda kullanılmıştır. Aktarılan değerler çizelgede gösterilmiştir. Işıma için tercih edilen değerler çizelge 4.1’de görülmektedir. Bu rastgele seçilen ara değerler 1005 W/m^2 , 810 W/m^2 , 885 W/m^2 , 445 W/m^2 , 385 W/m^2 , $504,6 \text{ W/m}^2$ ’dir. Bu değerler eğitilen ANFIS değerleri arasında bulunmamaktadır.

Çizelge 4.1: Işıma ve Zaman Çizelgesi

Işıma Değeri (W/m^2)	1005	810	885	445	600	385	455	425	455	504,6
Zaman(sn.)	0	0,05	0,0995	0,12	0,225	0,266	0,37	0,43	0,49	0,5



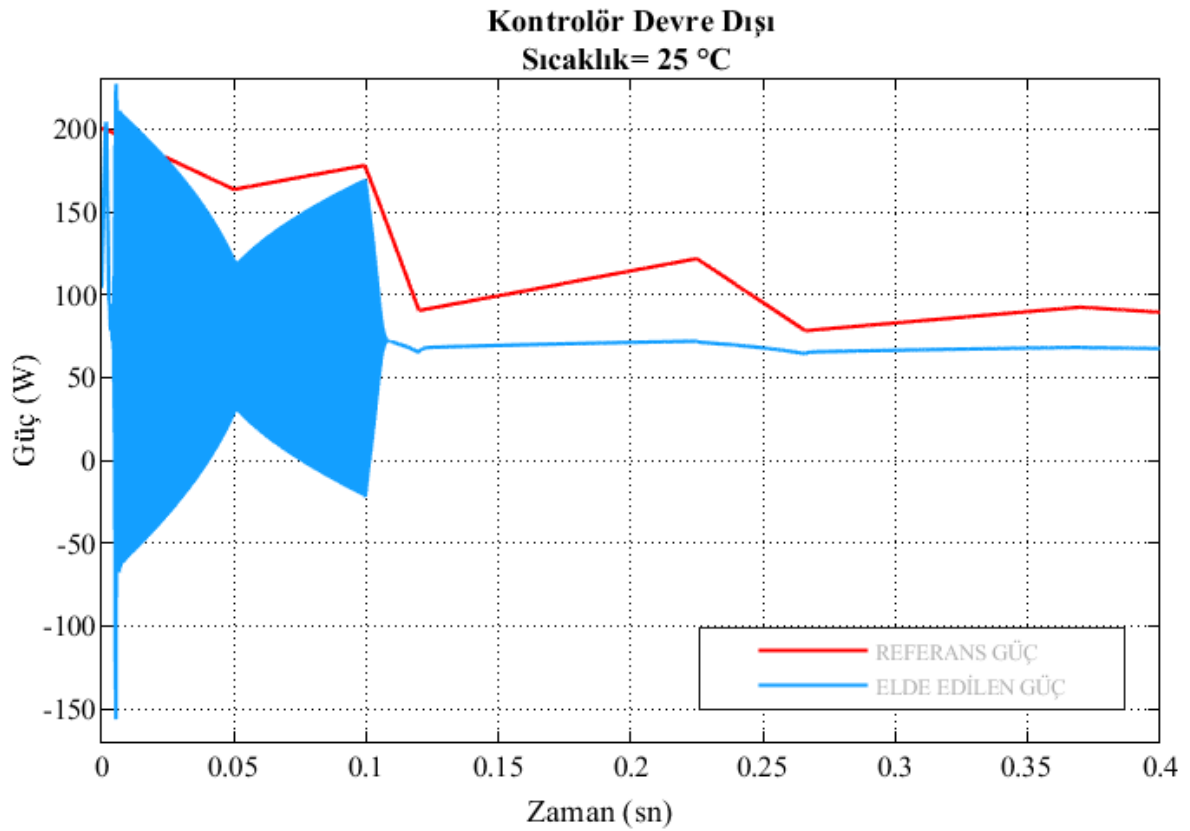
Şekil 4.43: 25 °C Sabit Sıcaklık Altında Bulutlanma Etkisi Sonucunda Oluşan Elde Edilen Gücün İzlenmesi

Şekil 4.43’de bu sıcaklık ve ışıma değerleri sonucunda bulutlanma etkisi ile PV modülün çıkış gücü 0. saniyede elde edilen güç değeri 104,2 W’tır. 0,05. saniyede elde edilen güç değeri 162,8 W’tır. 0,1. saniyede elde edilen güç değeri 177,9 W’tır. 0,12. saniyede elde edilen güç değeri 89,18 W’tır. 0,225. saniyede elde edilen güç değeri 121,5 W’tır. 0,266. saniyede elde edilen güç değeri 77,18 W’tır. 0,37 saniyede elde edilen güç değeri 92,23 W’tır. 0,43. saniyede elde edilen güç değeri 86,14 W’tır. 0,49. saniyede elde edilen güç değeri 92,41 W’tır. 0,5. saniyede elde edilen güç değeri 102,5 W’tır. Referans

gücün zamanla değişimi çizelge 4.2’de belirtilmiştir. Bu referans güç ve elde edilen gücün birbirini izleme hızının yakın olduğu Şekil 4.43’de görülebilmektedir. Aynı zamanda ANFIS tarafından eğitime alınmayan ışıma değerleri de ANFIS’in yapay zekâ ve bulanık mantık özelliği tarafından tamamlanarak izleme performansının düşmeden devam ettiği görülmektedir.

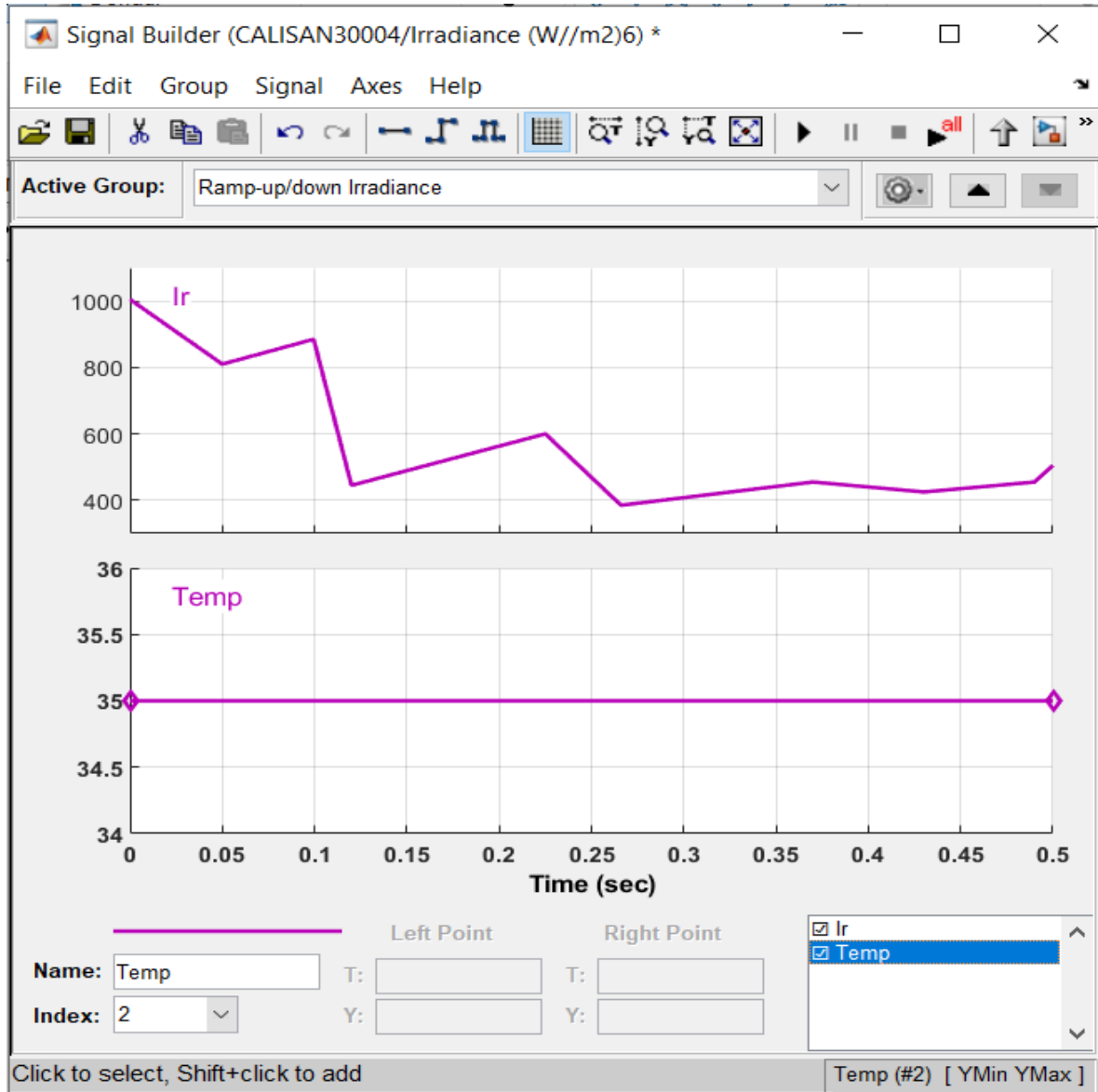
Çizelge 4.2: 25°C Bulutlanma Etkisi Güç Zaman Çizelgesi

Referans										
Güç(W)	200	163,5	178	90,44	121,7	78,24	92,46	86,39	92,46	102,4
Zaman(sn.)	0	0,05	0,0995	0,12	0,225	0,266	0,37	0,43	0,49	0,5



Şekil 4.44: 25 °C Sabit Sıcaklık ve Bulutlanma Etkisi Altında Bulunan Devrede Kontrolörün Devre Dışı Bırakılması Sonucunda Oluşan Sinyalin İzlenmesi

PV panel üzerindeki bulutlanma etkisinin çıkış gücü sinyaline etkisinin izlendiği çalışmada PID ve PI kontrolör devre dışı bırakılmıştır. Bu çalışmanın sinyal etkisinin sonucunu Şekil 4.44’de görebilmekteyiz. Sonuç olarak 0. saniyeden 0,1. saniyeye kadar olan kararsızlığın en yüksek seviyede olduğunu 0,1. saniye sonrasında kararsızlık oranının azaldığını fakat referans güç sinyalini izleme yeteneğinin olmadığı sonucu açıklanabilir.



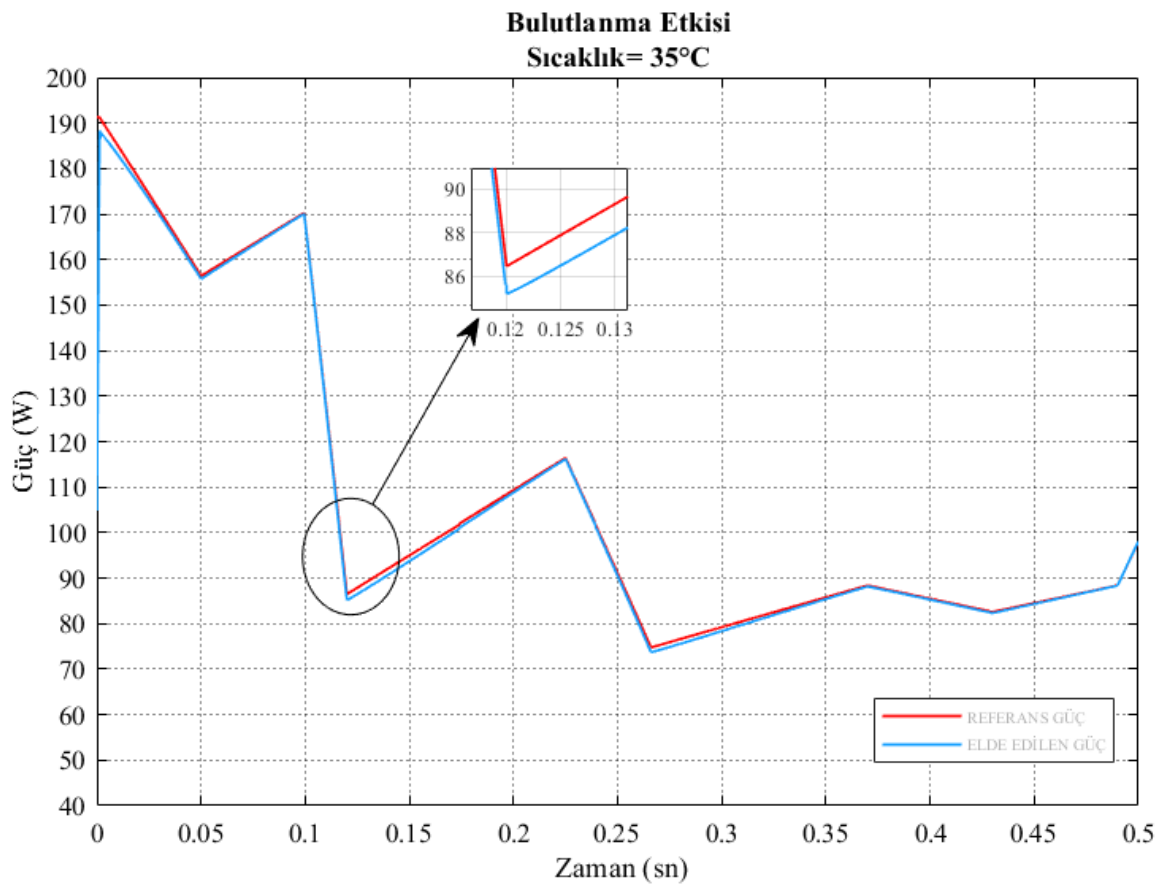
Şekil 4.45: 35°C Sabit Sıcaklık Altında Değişen Işıma Değerleri

Şekil 4.45’da anlık değişen ışıma ve 35 °C sabit sıcaklık değerleri altında devreye aktarılan sinyal dizisi görülmektedir. Şekil 4.45’da zamanla değişen ışıma değerleri, ilk anda 1005 W/m^2 ışıma değeri, sonrasında 0,05. saniyedeki ışıma değeri 810 W/m^2 , 0,0995. saniyede 885 W/m^2 ışıma değeri, 0,12. saniyede 445 W/m^2 ışıma değeri, 0,225. saniyede 600 W/m^2 ışıma değeri, 0,266. saniyede 385 W/m^2 ışıma değeri, 0,37. saniyede 455 W/m^2 ışıma değeri, 0,43. saniyede 425 W/m^2 ışıma değeri, 0,49. saniyede 455 W/m^2 ışıma değeri, 0,5. saniyede $504,6552 \text{ W/m}^2$ ışıma değerlerini ve sabit 35 °C sıcaklık değeri alan sinyal simülasyonda kullanılmıştır. Aktarılan değerlerler çizelgededir.

Işıma için tercih edilen değerler çizelge 4.3’de görülmektedir. Bu rastgele seçilen ara değerler 1005 W/m^2 , 810 W/m^2 , 885 W/m^2 , 445 W/m^2 , 385 W/m^2 , $504,6 \text{ W/m}^2$ ’dir. Bu değerler eğitilen ANFIS değerleri arasında bulunmamaktadır.

Çizelge 4.3: Işıma ve Zaman Çizelgesi

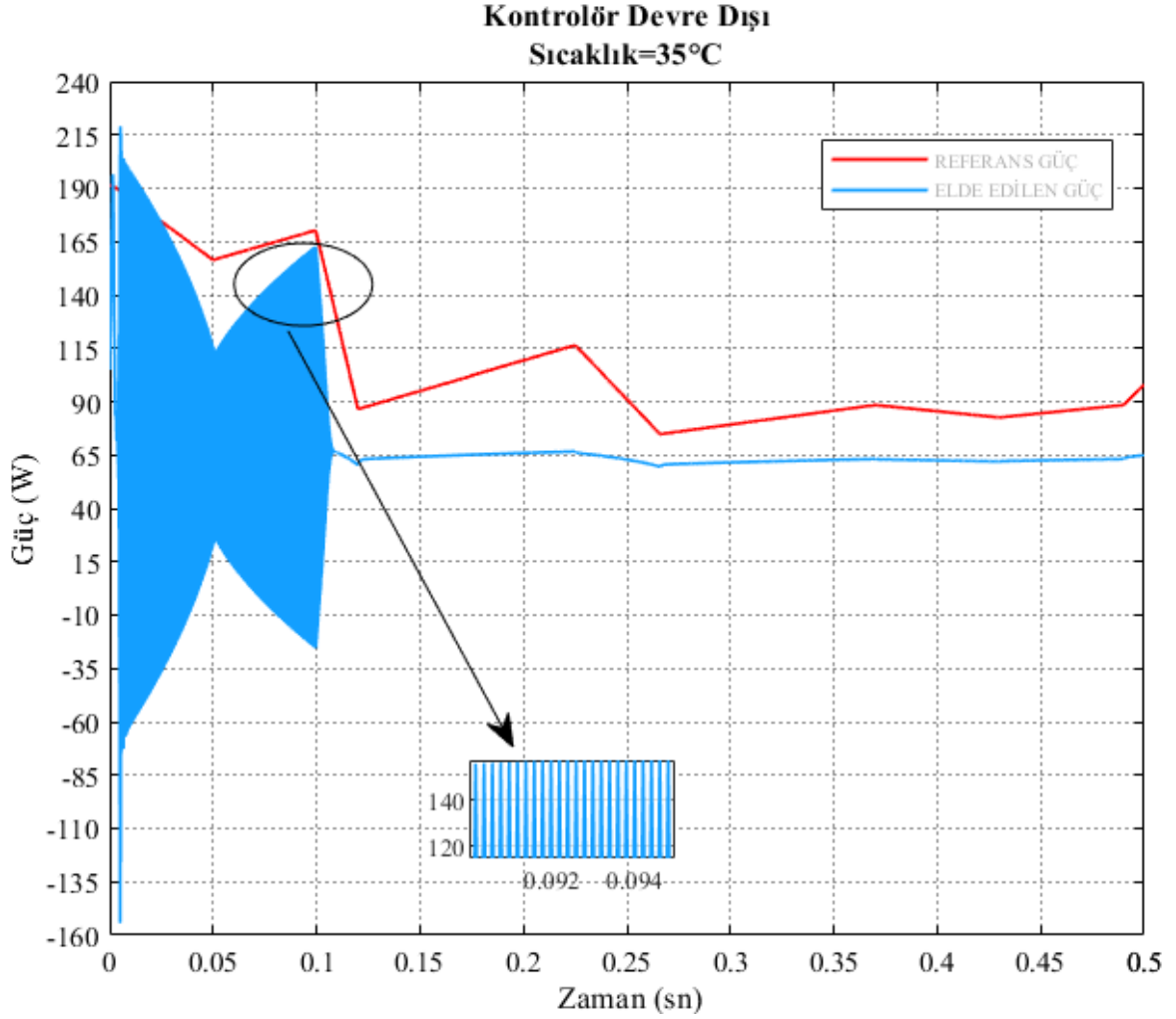
Işıma Değeri (W/m^2)	1005	810	885	445	600	385	455	425	455	504,6
Zaman(sn.)	0	0,05	0,0995	0,12	0,225	0,266	0,37	0,43	0,49	0,5



Şekil 4.46: 35 °C Sabit Sıcaklık Altında Bulutlanma Etkisi Sonucunda Oluşan Elde Edilen Gücün İzlenmesi

Şekil 4.46’da bu sıcaklık ve ışıma değerleri sonucunda bulutlanma etkisi ile PV modülün çıkış gücü 0. saniyede elde edilen güç değeri $104,9 \text{ W}$ ’tır. 0,05. saniyede elde edilen güç değeri $155,7 \text{ W}$ ’tır. 0,1. saniyede elde edilen güç değeri $170,1 \text{ W}$ ’tır. 0,12. saniyede elde edilen güç değeri $85,19 \text{ W}$ ’tır. 0,225. saniyede elde edilen güç değeri $116,2 \text{ W}$ ’tır. 0,266. saniyede elde edilen güç değeri $73,72 \text{ W}$ ’tır. 0,37. saniyede elde edilen güç değeri $88,16 \text{ W}$ ’tır. 0,43. saniyede elde edilen güç değeri $82,32 \text{ W}$ ’tır. 0,49. saniyede elde

edilen güç değeri 88,35 W'tır. 0,5. saniyede elde edilen güç değeri 98,07 W'tır. Referans gücün zamanla değişimi çizelge 4.4'de belirtilmiştir. Bu referans güç ve elde edilen gücün birbirini izleme hızının yakın olduğu Şekil 4.40'da görülebilmektedir. Aynı zamanda ANFIS tarafından eğitime alınmayan ışıma değerleri de ANFIS'in yapay zekâ ve bulanık mantık özelliği tarafından tamamlanarak izleme performansının düşmeden devam ettiği görülmektedir.

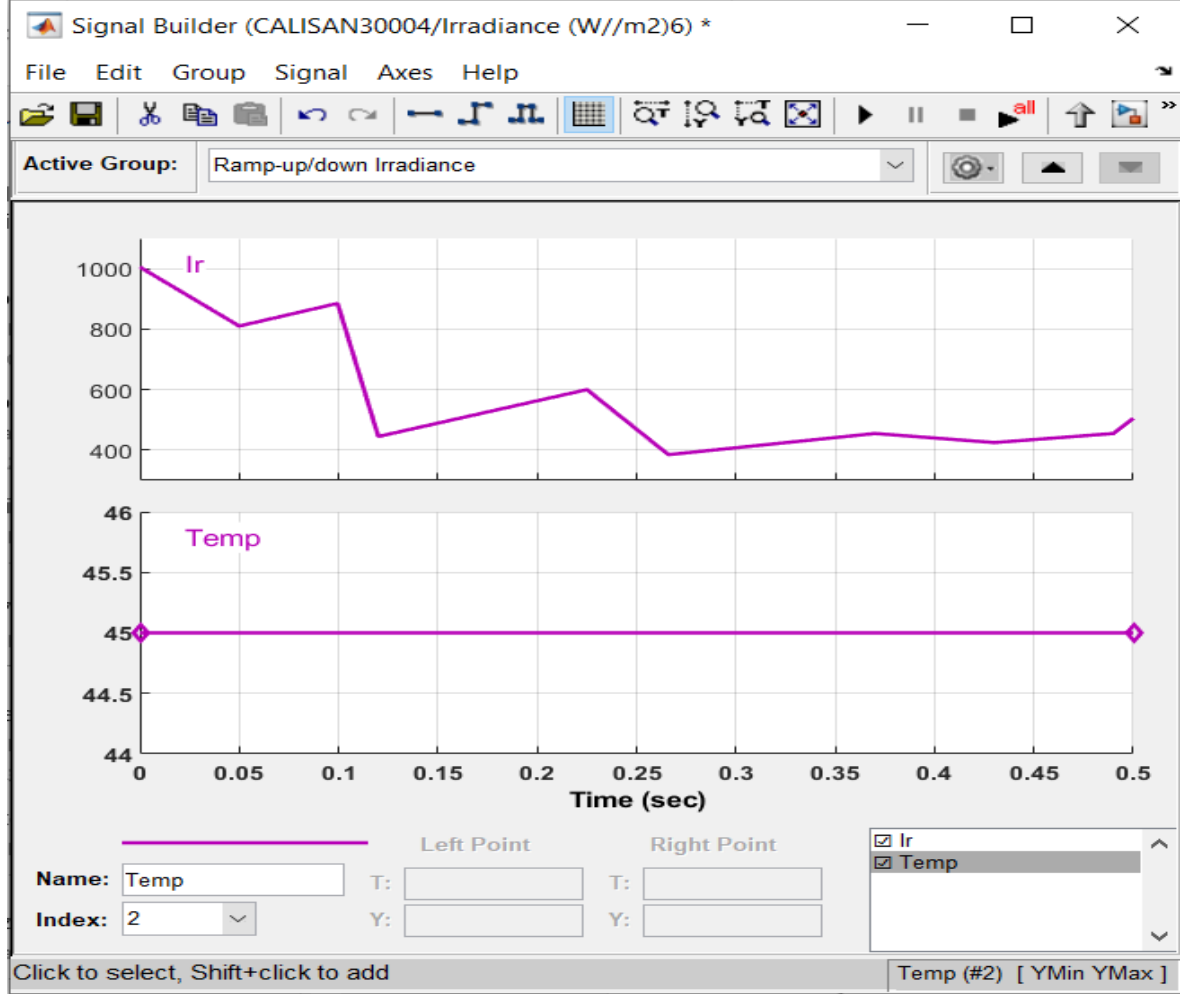


Şekil 4.47 : 35 °C Sabit Sıcaklık ve Bulutlanma Etkisi Altında Bulunan Devre Dışı Bırakılması Sonucunda Oluşan Sinyalin İzlenmesi

Çizelge 4.4: 35 °C Bulutlanma Etkisi Güç Zaman Çizelgesi

Referans										
Güç(W)	191,3	156,4	170,3	86,46	116,4	74,75	88,39	82,58	88,39	97,92
Zaman(sn.)	0	0,05	0,0995	0,12	0,225	0,266	0,37	0,43	0,49	0,5

PV panel üzerindeki bulutlanma etkisinin çıkış gücü sinyaline etkisinin izlendiği çalışmada PID ve PI kontrolör devre dışı bırakılmıştır. Bu çalışmanın sinyal etkisinin sonucunu Şekil 4.47’de görebilmekteyiz. Sonuç olarak 0. saniyeden 0,1. saniyeye kadar olan kararsızlığın en yüksek seviyede olduğunu 0,1. saniye sonrasında kararsızlık oranının azaldığını fakat referans güç sinyalini izleme yeteneğinin olmadığı sonucu açıklanabilir.



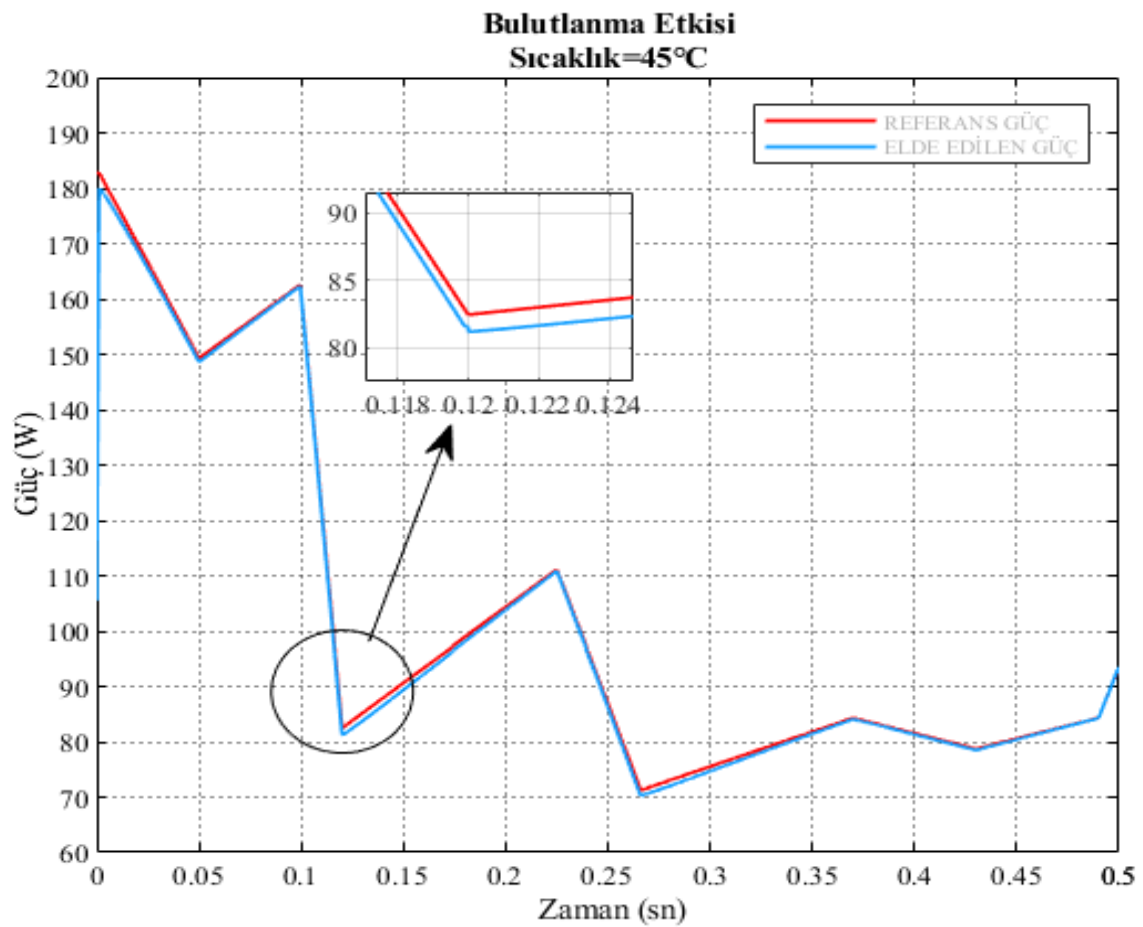
Şekil 4.48: 45 °C Sabit Sıcaklık Altında Değişen Işıma Değerleri

Şekil 4.48’de anlık değişen ışıma ve 45 °C sabit sıcaklık değerleri altında devreye aktarılan sinyal dizisi görülmektedir. Şekil 4.48’de zamanla değişen ışıma değerleri, ilk anda 1005 W/m² ışıma değeri, sonrasında 0,05. saniyedeki ışıma değeri 810W/m², 0,0995. saniyede 885 W/m² ışıma değeri, 0,12. saniyede 445 W/m² ışıma değeri, 0,225. saniyede 600 W/m² ışıma değeri, 0,266. saniyede 385 W/m² ışıma değeri, 0,37. saniyede 455 W/m² ışıma değeri, 0,43. saniyede 425 W/m² ışıma değeri, 0,49. saniyede 455 W/m² ışıma değeri, 0,5. saniyede 504,6552 W/m² ışıma değerlerini ve sabit 45 °C sıcaklık değeri alan sinyal simülasyonda kullanılmıştır. Aktarılan değerlerler çizelgededir.

İşıma için tercih edilen değerler çizelge 4.5’de görülmektedir. Bu rastgele seçilen ara değerler 1005 W/m^2 , 810 W/m^2 , 885 W/m^2 , 445 W/m^2 , 385 W/m^2 , $504,6 \text{ W/m}^2$ ’dir. Bu değerler eğitilen ANFIS değerleri arasında bulunmamaktadır.

Çizelge 4.5: İşıma ve Zaman Çizelgesi

İşıma Değeri (W/m^2)	1005	810	885	445	600	385	455	425	455	504,6
Zaman(sn.)	0	0,05	0,0995	0,12	0,225	0,266	0,37	0,43	0,49	0,5



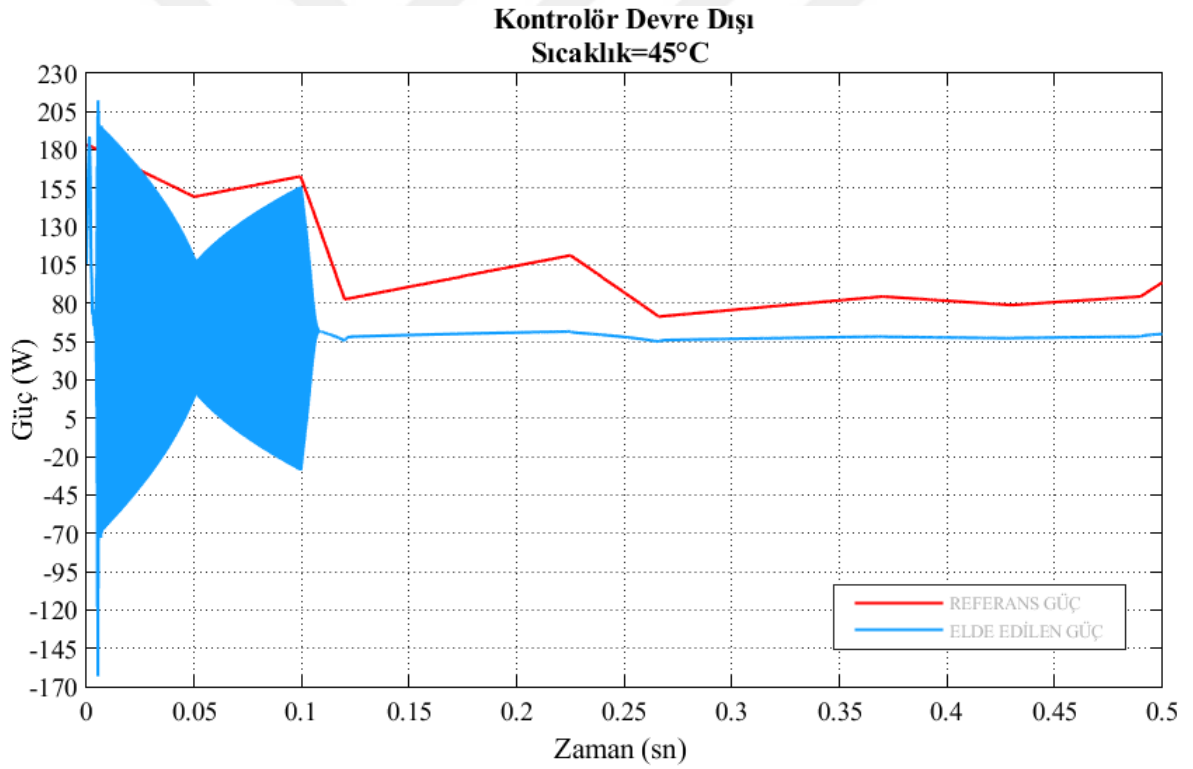
Şekil 4.49: 45°C Sabit Sıcaklık Altında Bulutlanma Etkisi Sonucunda Oluşan Elde Edilen Gücün İzlenmesi

Şekil 4.49’da bu sıcaklık ve ışıma değerleri sonucunda bulutlanma etkisi ile PV modülün çıkış gücü 0. saniyede elde edilen güç değeri $105,5 \text{ W}$ ’tır. 0,05. saniyede elde edilen güç değeri $148,6 \text{ W}$ ’tır. 0,1. saniyede elde edilen güç değeri $162,3 \text{ W}$ ’tır. 0,12. saniyede elde edilen güç değeri $81,19 \text{ W}$ ’tır. 0,225. saniyede elde edilen güç değeri $110,8$

W'tır. 0,266. saniyede elde edilen güç değeri 70,24 W'tır. 0,37. saniyede elde edilen güç değeri 84,08W'tır. 0,43. saniyede elde edilen güç değeri 78,49 W'tır. 0,49. saniyede elde edilen güç değeri 84,26 W'tır. 0,5. saniyede elde edilen güç değeri 93,56 W'tır. Referans gücün zamanla değişimi çizelge 4.6'da belirtilmiştir. Bu referans güç ve elde edilen gücün birbirini izleme hızının yakın olduğu Şekil 4.49'da görülebilmektedir. Aynı zamanda ANFIS tarafından eğitime alınmayan ışıma değerleri de ANFIS'in yapay zekâ ve bulanık mantık özelliği tarafından tamamlanarak izleme performansının düşmeden devam ettiği görülmektedir.

Çizelge 4.6: 45 °C Bulutlanma Etkisi Güç Zaman Çizelgesi

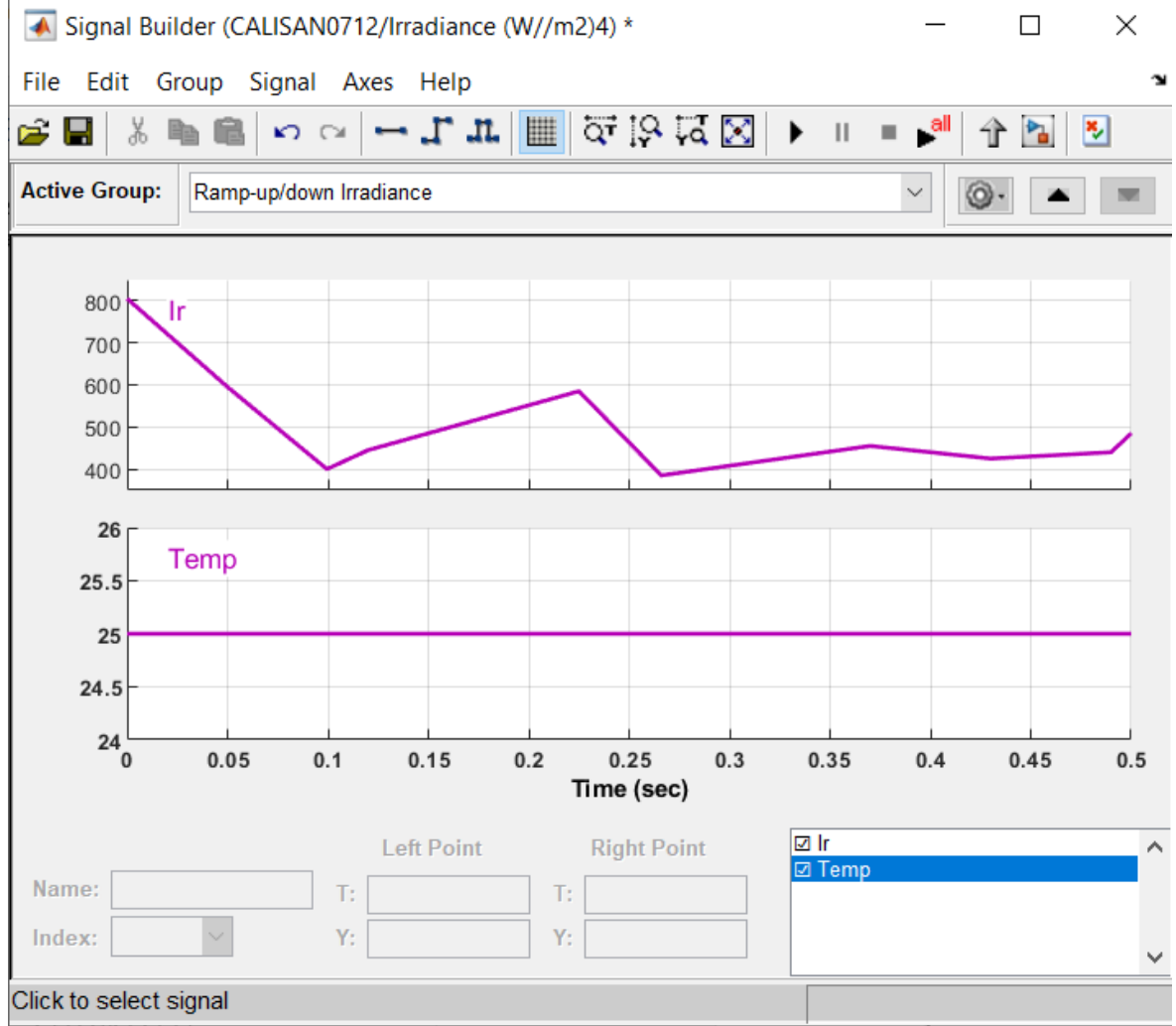
Referans										
Güç(W)	182,8	149,3	162,6	82,46	111,1	71,24	84,31	78,47	84,31	93,44
Zaman(sn.)	0	0,05	0,0995	0,12	0,225	0,266	0,37	0,43	0,49	0,5



Şekil 4.50: 45 °C Sabit Sıcaklık ve Bulutlanma Etkisi Altında Bulunan Devrede Kontrolörün Devre Dışı Bırakılması Sonucunda Oluşan Sinyalin İzlenmesi

PV panel üzerindeki bulutlanma etkisinin çıkış gücü sinyaline etkisinin izlendiği çalışmada PID ve PI kontrolör devre dışı bırakılmıştır. Bu çalışmanın sinyal etkisinin sonucunu Şekil 4.50'de görebilmekteyiz. Sonuç olarak 0. saniyeden 0,1. saniyeye kadar

olan kararsızlığın en yüksek seviyede olduğunu 0,1. saniye sonrasında kararsızlık oranının azaldığını fakat referans güç sinyalini izleme yeteneğinin olmadığı sonucu açıklanabilir.



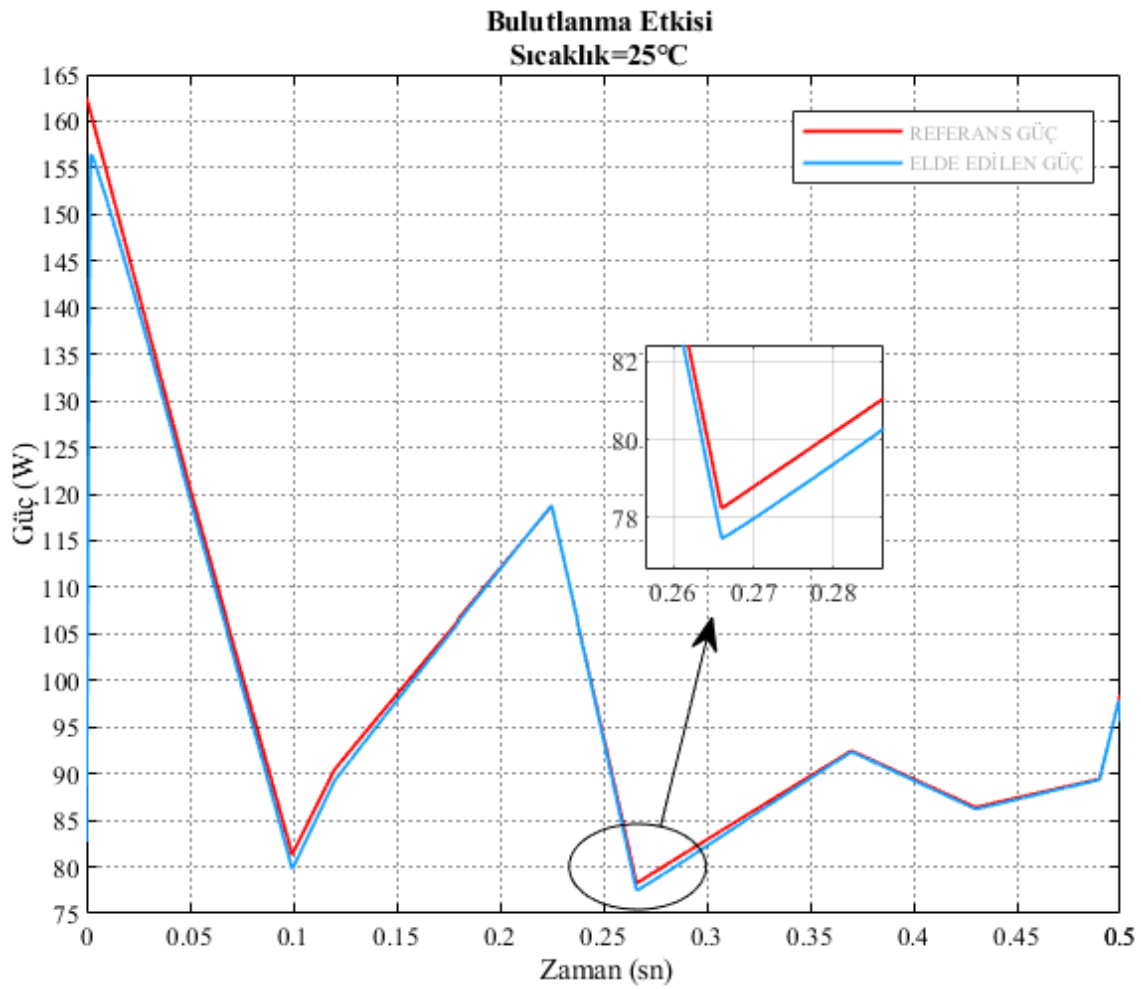
Şekil 4.51: 25 °C Sabit Sıcaklık Altında Değişen Işıma Değerleri

Şekil 4.51’de anlık değişen ışıma ve 25 °C sabit sıcaklık değerleri altında devreye aktarılan sinyal dizisi görülmektedir. Şekil 4.51’de zamanla değişen ışıma değerleri, ilk anda 805 W/m^2 ışıma değeri, sonrasında 0,05. saniyedeki ışıma değeri 595 W/m^2 , 0,1. saniyede 400 W/m^2 ışıma değeri, 0,12. saniyede 445 W/m^2 ışıma değeri, 0,225. saniyede 585 W/m^2 ışıma değeri, 0,266. saniyede 385 W/m^2 ışıma değeri, 0,37. saniyede 455 W/m^2 ışıma değeri, 0,43. saniyede 425 W/m^2 ışıma değeri, 0,49. saniyede 440 W/m^2 ışıma değeri, 0,5. saniyede 485 W/m^2 ışıma değerlerini ve sabit 25 °C sıcaklık değeri alan sinyal simülasyonda kullanılmıştır. Aktarılan değerler çizelgededir.

Işıma için tercih edilen değerler çizelge 4.7’de görülmektedir. Bu rastgele seçilen ara değerler 805 W/m^2 , 595 W/m^2 , 445 W/m^2 , 585 W/m^2 , 455 W/m^2 , 440 W/m^2 , 425 W/m^2 , 485 W/m^2 ’dir. Bu değerler eğitilen ANFIS değerleri arasında bulunmamaktadır.

Çizelge 4.7: Işıma ve Zaman Çizelgesi

Işıma Değeri (W/m^2)	805	595	400	445	585	385	455	425	440	485
Zaman(sn.)	0	0,05	0,0995	0,12	0,225	0,266	0,37	0,43	0,49	0,5



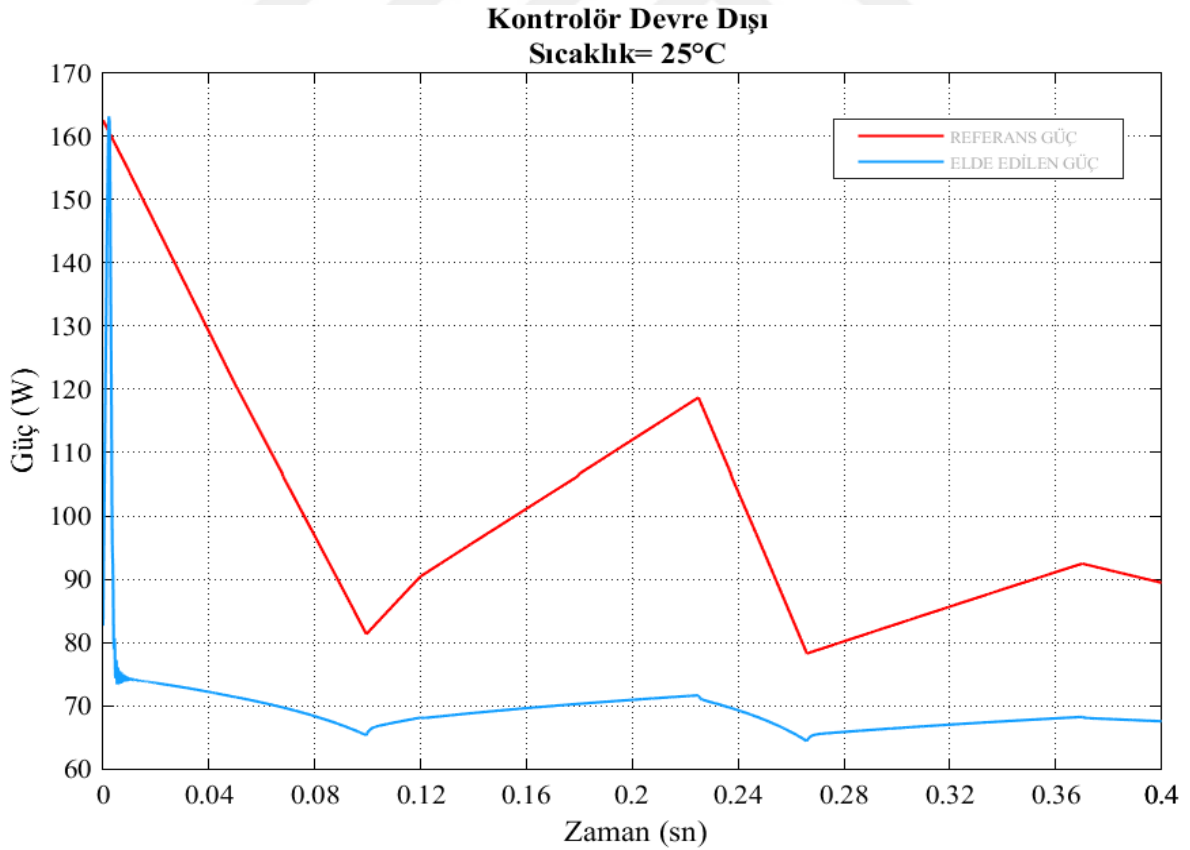
Şekil 4.52: 25 °C Sabit Sıcaklık Altında Bulutlanma Etkisi Sonucunda Oluşan Elde Edilen Gücün İzlenmesi

Şekil 4.52’de bu sıcaklık ve ışıma değerleri sonucunda bulutlanma etkisi ile PV modülün çıkış gücü 0. saniyede elde edilen güç değeri $82,66 \text{ W}$ ’tır. 0,05. saniyede elde edilen güç değeri $119,7 \text{ W}$ ’tır. 0,1. saniyede elde edilen güç değeri $80,07 \text{ W}$ ’tır. 0,12.

saniyede elde edilen güç değeri 89 W'tır. 0,225. saniyede elde edilen güç değeri 118,6 W'tır. 0,266. saniyede elde edilen güç değeri 77,49 W'tır. 0,37. saniyede elde edilen güç değeri 92,26 W'tır. 0,43. saniyede elde edilen güç değeri 86,25 W'tır. 0,49. saniyede elde edilen güç değeri 89,50 W'tır. 0,5. saniyede elde edilen güç değeri 97,40 W'tır. Referans gücün zamanla değişimi çizelge 4.8'de belirtilmiştir. Bu referans güç ve elde edilen gücün birbirini izleme hızının yakın olduğu Şekil 4.52'de görülebilmektedir. Aynı zamanda ANFIS tarafından eğitime alınmayan ışıma değerleri de ANFIS'in yapay zekâ ve bulanık mantık özelliği tarafından tamamlanarak izleme performansının düşmeden devam ettiği görülmektedir.

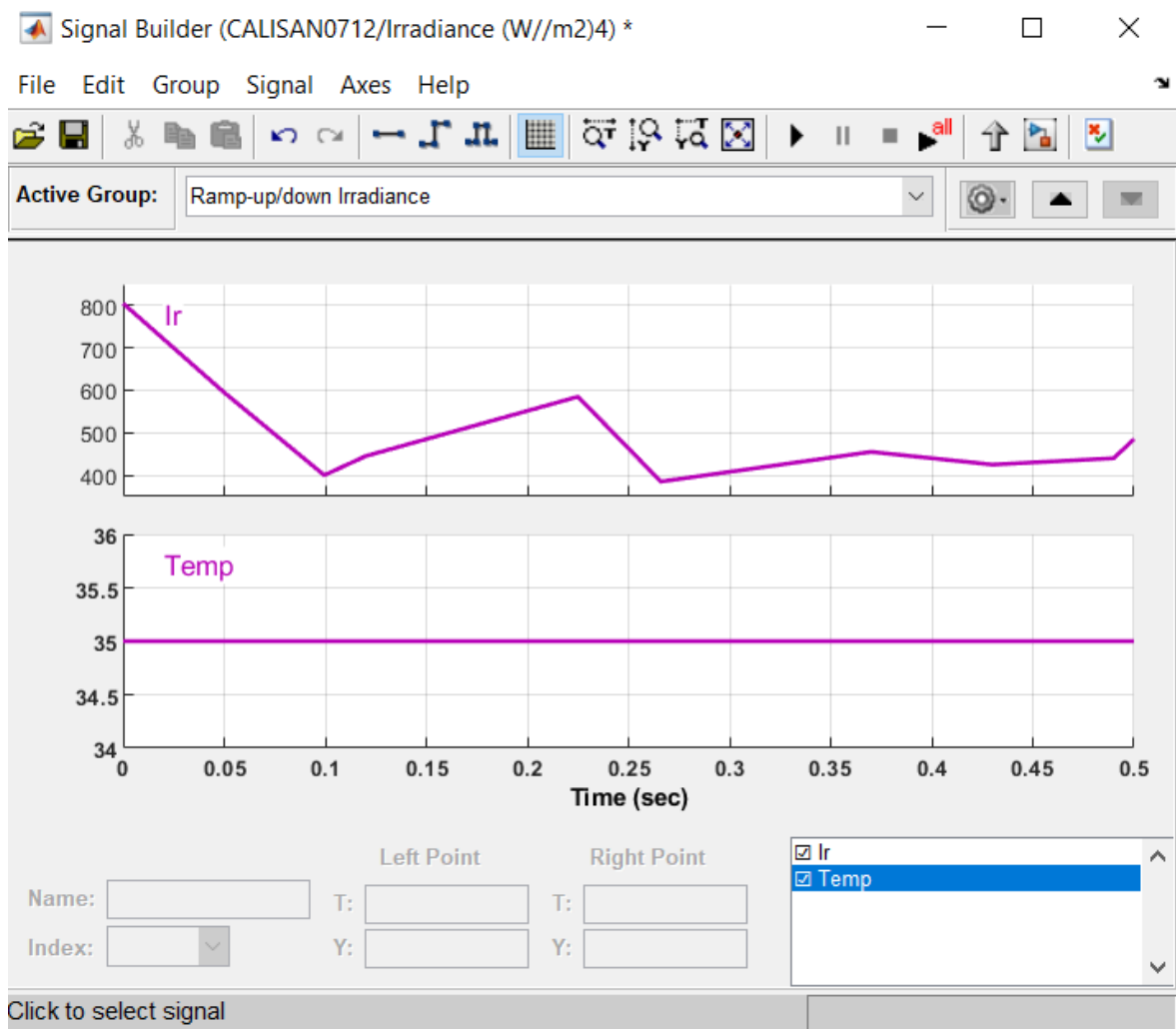
Çizelge 4.8: 45°C Bulutlanma Etkisi Güç Zaman Çizelgesi

Referans										
Güç(W)	162,5	120,7	81,53	90,44	118,7	78,24	92,46	86,39	89,43	98,47
Zaman(sn.)	0	0,05	0,0995	0,12	0,225	0,266	0,37	0,43	0,49	0,5



Şekil 4.53: 25 °C Sabit Sıcaklık ve Bulutlanma Etkisi Altında Bulunan Devrede Kontrolörün Devre Dışı Bırakılması Sonucunda Oluşan Sinyalin İzlenmesi

PV panel üzerindeki bulutlanma etkisinin çıkış gücü sinyaline etkisinin izlendiği çalışmada PID ve PI kontrolör devre dışı bırakılmıştır. Bu çalışmanın sinyal etkisinin sonucunu Şekil 4.53’de görebilmekteyiz. Sonuç olarak ilk saniyede olan kararsızlığın en yüksek seviyede olduğunu sonrasında kararsızlık oranının azaldığını fakat referans güç sinyalinin izleme yeteneğinin iyi olmadığı sonucu açıklanabilir.



Şekil 4.54: 35 °C Sabit Sıcaklık Altında Değişen Işıma Değerleri

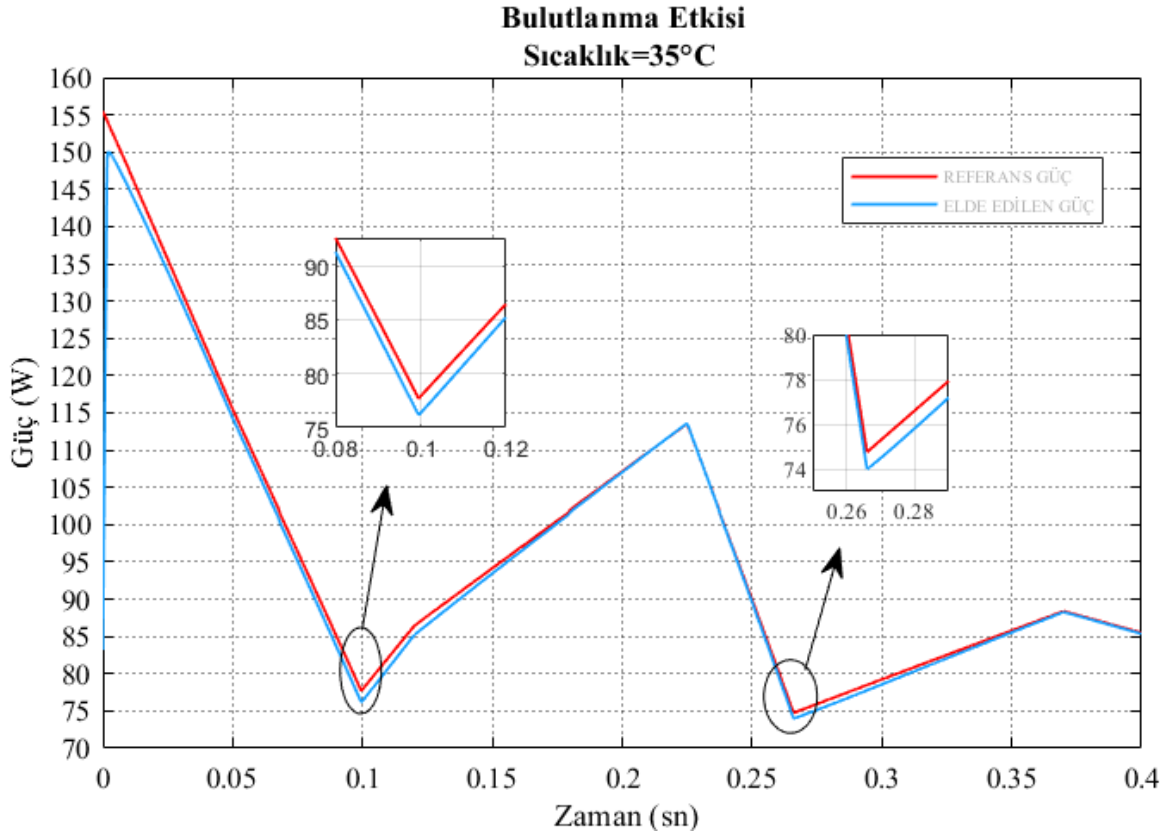
Şekil 4.54’de anlık değişen ışıma ve 35 °C sabit sıcaklık değerleri altında devreye aktarılan sinyal dizisi görülmektedir. Şekil 4.54’de zamanla değişen ışıma değerleri, ilk anda 805 W/m^2 ışıma değeri, sonrasında 0,05. saniyedeki ışıma değeri 595 W/m^2 , 0,1. saniyede 400 W/m^2 ışıma değeri, 0,12. saniyede 445 W/m^2 ışıma değeri, 0,225. saniyede 585 W/m^2 ışıma değeri, 0,266. saniyede 385 W/m^2 ışıma değeri, 0,37. saniyede 455 W/m^2 ışıma değeri, 0,43. saniyede 425 W/m^2 ışıma değeri, 0,49. saniyede 440 W/m^2 ışıma değeri,

0,5. saniyede 485 W/m^2 ışıma değerlerini ve sabit $35 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklık değeri alan sinyal simülasyonda kullanılmıştır. Aktarılan değerlerler çizelgededir.

İşıma için tercih edilen değerler çizelge 4.9’da görülmektedir. Bu rastgele seçilen ara değerler 805 W/m^2 , 595 W/m^2 , 445 W/m^2 , 585 W/m^2 , 455 W/m^2 , 440 W/m^2 , 425 W/m^2 , 485 W/m^2 ’dir. Bu değerler eğitilen ANFIS değerleri arasında bulunmamaktadır.

Çizelge 4.9: Işıma ve Zaman Çizelgesi

İşıma Değeri (W/m^2)	805	595	400	445	585	385	455	425	440	485
Zaman(sn.)	0	0,05	0,0995	0,12	0,225	0,266	0,37	0,43	0,49	0,5



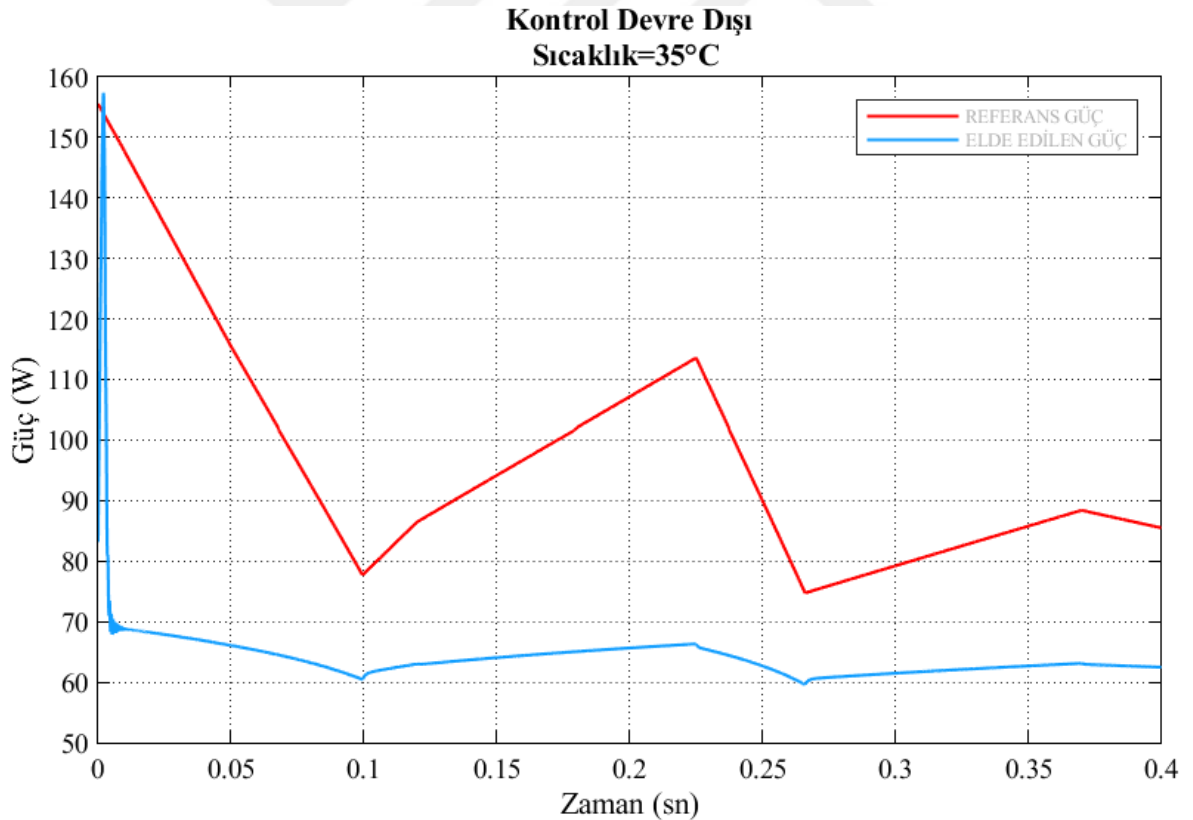
Şekil 4.55: 35 °C Sabit Sıcaklık Altında Bulutlanma Etkisi Sonucunda Oluşan Elde Edilen Gücün İzlenmesi

Şekil 4.55’de bu sıcaklık ve ışıma değerleri sonucunda bulutlanma etkisi ile PV modülün çıkış gücü 0. saniyede elde edilen güç değeri $83,17 \text{ W}$ ’tır. 0,05. saniyede elde edilen güç değeri $114,3 \text{ W}$ ’tır. 0,1. saniyede elde edilen güç değeri $76,36 \text{ W}$ ’tır. 0,12. saniyede elde edilen güç değeri $85,24 \text{ W}$ ’tır. 0,225. saniyede elde edilen güç değeri $113,6$

W'tır. 0,266. saniyede elde edilen güç değeri 73,96 W'tır. 0,37. saniyede elde edilen güç değeri 88,27 W'tır. 0,43. saniyede elde edilen güç değeri 82,38 W'tır. 0,49. saniyede elde edilen güç değeri 85,41 W'tır. 0,5. saniyede elde edilen güç değeri 92,24 W'tır. Referans gücün zamanla değişimi çizelge 4.10'da belirtilmiştir. Bu referans güç ve elde edilen gücün birbirini izleme hızının yakın olduğu Şekil 4.55'de görülebilmektedir. Aynı zamanda ANFIS tarafından eğitime alınmayan ısıma değerleri de ANFIS'in yapay zekâ ve bulanık mantık özelliği tarafından tamamlanarak izleme performansının düşmeden devam ettiği görülmektedir.

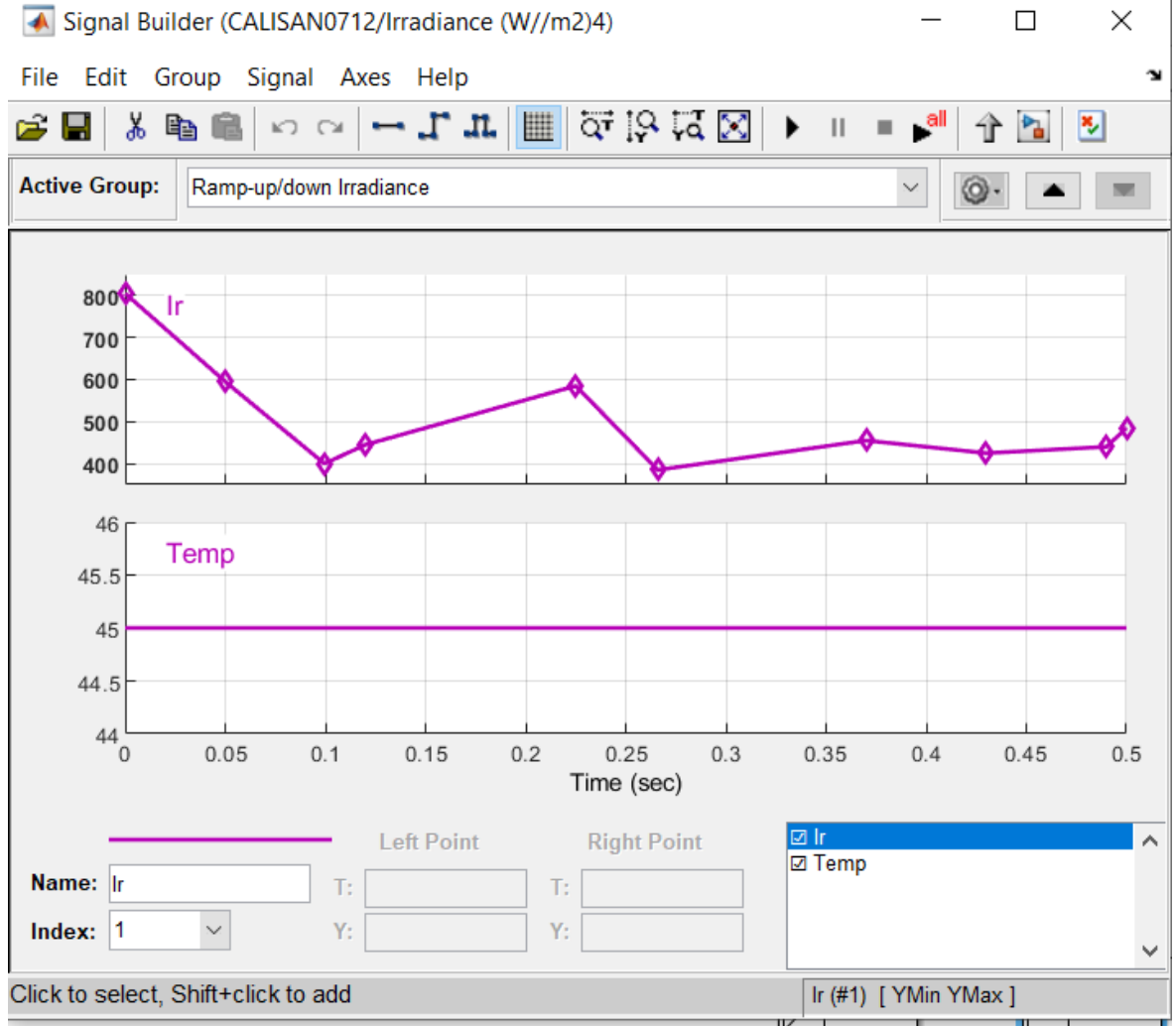
Çizelge 4.10: 45 °C Bulutlanma Etkisi Güç Zaman Çizelgesi

Referans										
Güç(W)	155,5	115,5	77,91	86,46	113,6	74,75	88,39	82,58	85,49	94,17
Zaman(sn)	0	0,05	0,0995	0,12	0,225	0,266	0,37	0,43	0,49	0,5



Şekil 4.56: 35 °C Sabit Sıcaklık ve Bulutlanma Etkisi Altında Bulunan Devrede Kontrolörün Devre Dışı Bırakılması Sonucunda Oluşan Sinyalin İzlenmesi

PV panel üzerindeki bulutlanma etkisinin çıkış gücü sinyaline etkisinin izlendiği çalışmada PID ve PI kontrolör devre dışı bırakılmıştır. Bu çalışmanın sinyal etkisinin sonucunu Şekil 4.56’da görebilmekteyiz. Sonuç olarak ilk saniyede olan kararsızlığın en yüksek seviyede olduğunu sonrasında kararsızlık oranının azaldığını fakat referans güç sinyalini izleme yeteneğinin iyi olmadığı sonucu açıklanabilir.



Şekil 4.57: 45 °C Sabit Sıcaklık Altında Değişen Işıma Değerleri

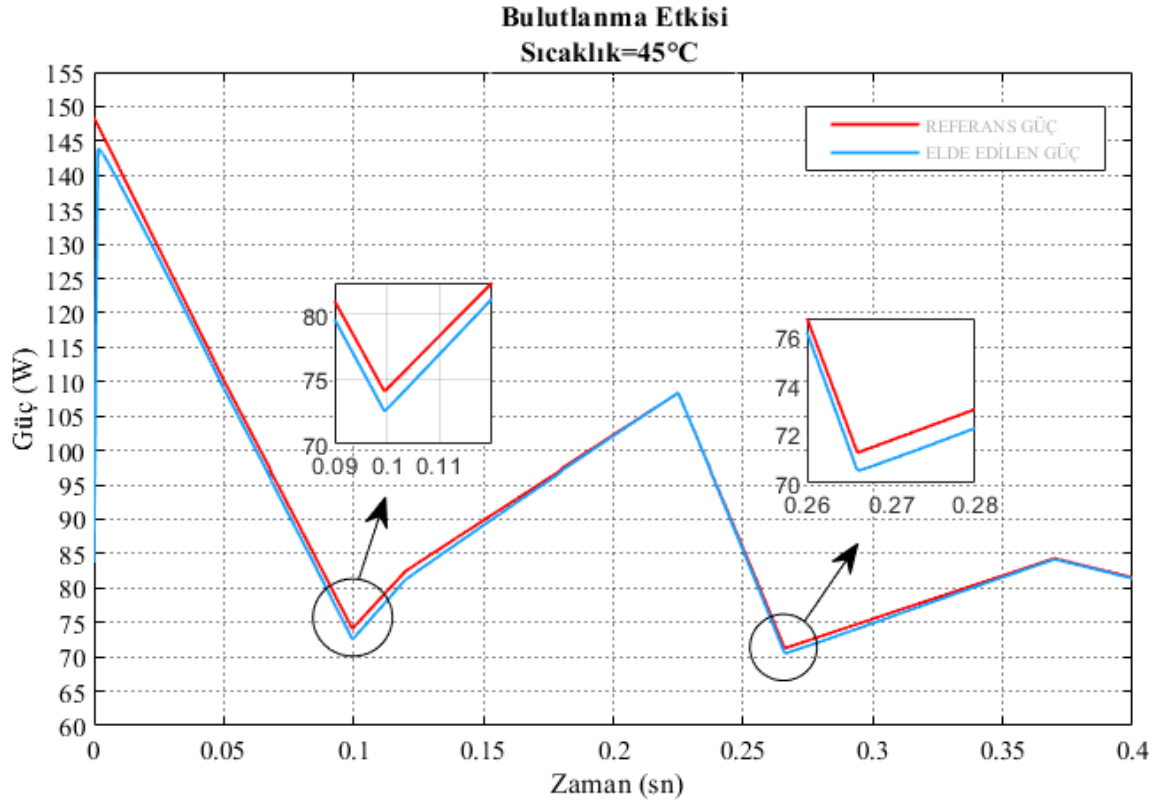
Şekil 4.57’de anlık değişen ışıma ve 45 °C sabit sıcaklık değerleri altında devreye aktarılan sinyal dizisi görülmektedir. Şekil 4.57’de zamanla değişen ışıma değerleri, ilk anda 805 W/m^2 ışıma değeri, sonrasında 0,05. saniyedeki ışıma değeri 595 W/m^2 , 0,1. saniyede 400 W/m^2 ışıma değeri, 0,12. saniyede 445 W/m^2 ışıma değeri, 0,225. saniyede 585 W/m^2 ışıma değeri, 0,266. saniyede 385 W/m^2 ışıma değeri, 0,37. saniyede 455 W/m^2 ışıma değeri, 0,43. saniyede 425 W/m^2 ışıma değeri, 0,49. saniyede 440 W/m^2 ışıma değeri,

0,5. saniyede 485 W/m^2 ışıma değerlerini ve sabit 45°C sıcaklık değeri alan sinyal simülasyonda kullanılmıştır. Aktarılan değerler çizelgededir.

İşıma için tercih edilen değerler çizelge 4.11’de görülmektedir. Bu rastgele seçilen ara değerler 805 W/m^2 , 595 W/m^2 , 445 W/m^2 , 585 W/m^2 , 455 W/m^2 , 440 W/m^2 , 425 W/m^2 , 485 W/m^2 ’dir. Bu değerler eğitilen ANFIS değerleri arasında bulunmamaktadır.

Çizelge 4.11: Işıma ve Zaman Çizelgesi

İşıma Değeri (W/m^2)	805	595	400	445	585	385	455	425	440	485
Zaman(sn)	0	0,05	0,0995	0,12	0,225	0,266	0,37	0,43	0,49	0,5



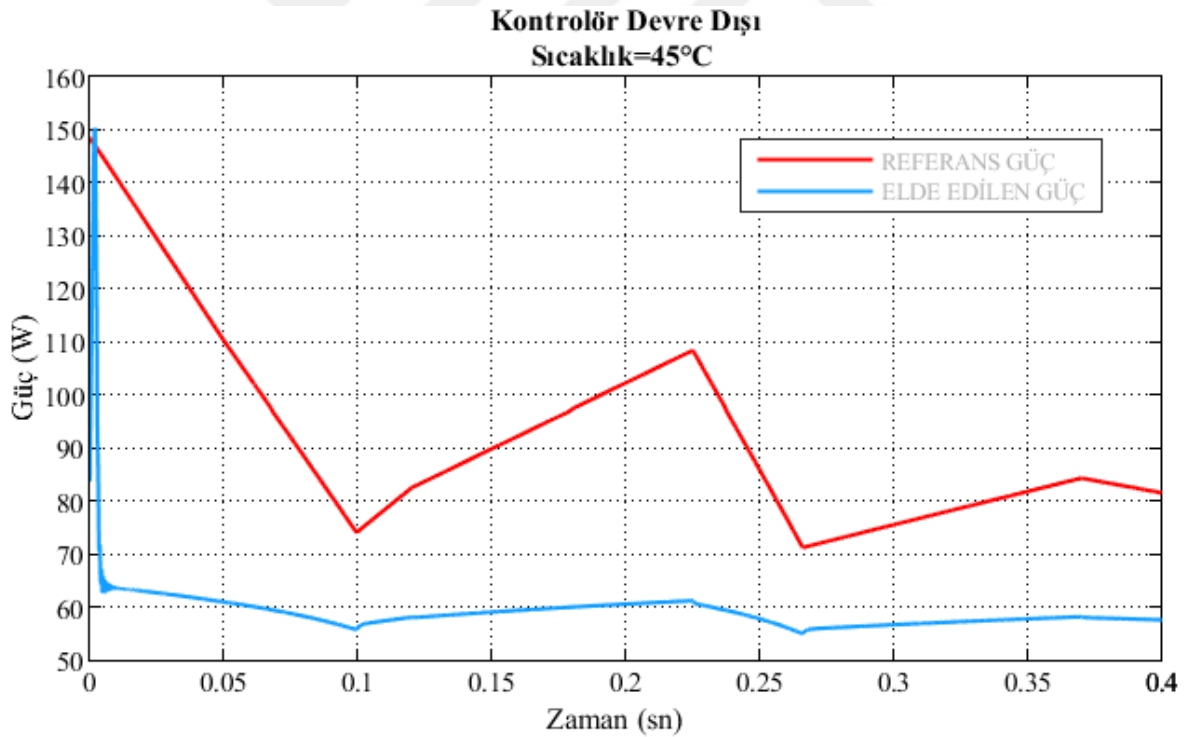
Şekil 4.58: 45 °C Sabit Sıcaklık Altında Bulutlanma Etkisi Sonucunda Oluşan Elde Edilen Gücün İzlenmesi

Şekil 4.58’de bu sıcaklık ve ışıma değerleri sonucunda bulutlanma etkisi ile PV modülün çıkış gücü 0. saniyede elde edilen güç değeri $83,68 \text{ W}$ ’tır. 0,05. saniyede elde edilen güç değeri 109 W ’tır. 0,1. saniyede elde edilen güç değeri $72,72 \text{ W}$ ’tır. 0,12. saniyede elde edilen güç değeri $81,23 \text{ W}$ ’tır. 0,225. saniyede elde edilen güç değeri $108,4$

W'tır. 0,266. saniyede elde edilen güç değeri 70,50 W'tır. 0,37. saniyede elde edilen güç değeri 84,18 W'tır. 0,43. saniyede elde edilen güç değeri 78,55 W'tır. 0,49. saniyede elde edilen güç değeri 81,45 W'tır. 0,5. saniyede elde edilen güç değeri 89,90 W'tır. Referans gücün zamanla değişimi çizelge 4.12'de belirtilmiştir. Bu referans güç ve elde edilen gücün birbirini izleme hızının yakın olduğu Şekil 4.58'de görülebilmektedir. Aynı zamanda ANFIS tarafından eğitime alınmayan ışıma değerleri de ANFIS'in yapay zekâ ve bulanık mantık özelliği tarafından tamamlanarak izleme performansının düşmeden devam ettiği görülmektedir.

Çizelge 4.12: 45 °C Bulutlanma Etkisi Güç Zaman Çizelgesi

Referans										
Güç(W)	148,4	110,2	74,26	82,46	108,4	71,24	84,31	78,74	81,53	89,84
Zaman(sn)	0	0,05	0,0995	0,12	0,225	0,266	0,37	0,43	0,49	0,5



Şekil 4.59: 45 °C Sabit Sıcaklık ve Bulutlanma Etkisi Altında Bulunan Devrede Kontrolörün Devre Dışı Bırakılması Sonucunda Oluşan Sinyalin İzlenmesi

PV panel üzerindeki bulutlanma etkisinin çıkış gücü sinyaline etkisinin izlendiği çalışmada PID ve PI kontrolör devre dışı bırakılmıştır. Bu çalışmanın sinyal etkisinin sonucunu Şekil 4.59'da görebilmekteyiz. Sonuç olarak ilk saniyede olan kararsızlığın en

yüksek seviyede olduğunu sonrasında kararsızlık oranının azaldığını fakat referans güç sinyalini izleme yeteneğinin iyi olmadığı sonucu açıklanabilir.



5. SONUÇ

Çalışma 1’de oluşturulan devre sabit ışıma ve sıcaklık altında oluşturulup. ışıma değerleri sırasıyla 100 W/m^2 - 1000 W/m^2 aralığında 100’er birimlik ışıma artırımları ile çıkış gücü üzerindeki etkisi gözlenmektedir. Sıcaklık değerleri 25°C , 35°C , 45°C olarak 10’ar derecelik artışlarla belirlenmiştir. Bu değerler doğrultusunda alınan grafiklerde düşük ışıma değerlerinde devrenin güç izleme yeteneğinin, yüksek ışıma değerlerine göre daha kötü olduğu görülmüştür. Işıma değerlerinin yüksek olduğu grafiklerde sıcaklığın etkisinin daha az olduğu görülmüştür. Sıcaklık için optimum sıcaklık terimini kullanabiliriz. Çünkü aynı ışıma değerlerinde 25°C güç faktörünün yükselme zamanı 35°C den daha yüksektir. Aynı zamanda 45°C deki güç faktörünün yükselme zamanı da 35°C den daha yüksektir. Genel olarak en kısa yükselme zamanı (aynı ışıma değerleri altındaki gruplarda) en yüksek güce çıkış 35°C de olduğu görülmüştür. Yine giriş sıcaklığının 45°C olduğu devre sonuçlarında referans güç değerine teğet oranı ve yakalama gücü daha düşüktür.

Çalışma 2’de oluşturulan devre üzerinde bulutlanma etkisi incelenmiş olup yukarıda verilen grafiklerden de görüldüğü gibi ANFIS modeli oluşturulmuş ve farklı sıcaklık ışıma değerine göre maksimum çıkış cevabı ANFIS’ten alınmıştır. PI kontrolör ise ANFIS çıkış cevabındaki gücü hızlı bir şekilde takip etmiştir. Bu çalışmada önce PV panelin karakteristiği belirli ışıma ve sıcaklık değerlerine göre maksimum güç noktaları bulunmuştur. Bu şekilde 50 değişik maksimum güç noktası tespit edilmiştir. Daha sonra bu panelin ANFIS modeli oluşturulmuştur. Matlab Simulink’te PV panelin maksimum güç noktası takibi için ANFIS ve PI kontrolör içeren sistem blok diyagramı oluşturulmuş ve çalıştırılmıştır. Sabit ışıma ve sıcaklık ayrıca bulutlanma etkisini gösterecek giriş sinyallerinden sistemin çıkış cevabı alınmıştır. Bu PI kontrol sistemi maksimum güç noktasını hızlı takip ettiği görülmüştür. Kontrolör olmaksızın çalıştığında maksimum güç noktasının istenildiği gibi takip etmediği tespit edilmiştir. Bu durumda kontrolörün önemini; elde edilmesi gereken gücün hem çok altına düştüğünü aynı zamanda devrenin kararsızlığın arttığını görebilmekteyiz. Hem devreden çekilebilecek gücün değerini hem de

kontrolöre karşı devrenin tepkisini ANFIS kullanarak önceden tahmin edebiliyor olmak büyük bir avantaj olarak belirlenmelidir.



KAYNAKÇA

- [1] M. Mao, L. Cui, Q. Zhang, K. Guo, L. Zhou, H. Huang, Classification and summarization of solar photovoltaic MPPT techniques: A review based on traditional and intelligent control strategies, *Energy Reports* Volume 6, November 2020, Pages 1312-1327
- [2] D. R. Reddy, R. V. Sudarasana Reddy, Study on Series and Parallel Connected Solar Photovoltaic System under Shadow Conditions, *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE)*, e-ISSN: 2278-1676, p-ISSN: 2320-3331, Volume 11, Issue 1 Ver. I (Jan – Feb. 2016), PP 36-40
- [3] E. Kabalcı, G. Gökkuş ve A. Görgün, " Design and implementation of the PI-MPPT-based Buck-Boost transducer," 2015 7th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), 2015, p. SG-23 -SG-28, doi: 10.1109 / ECAI.2015.7301194.
- [4] Ting-Chung Yu And Tang-Shuan Chien, "Analysis and Simulation of Characteristics and Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Systems", *Proceedings of Power Electronics and Drive Systems Conference*, pp. 1339 - 1344, Taipei, 2009.
- [5] ME Za'ter ve MG Batarseh, " New Multiplexed - First Stage Inline Hybrid MPPT Approach for Photovoltaic Systems ", 2019 IEEE International Conference on Environmental and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I & CPS Europe), 2019, pages 1-6, doi: 10.1109 / EEEIC.2019.8783292.
- [6] C. S. Chin, P. Neelakantan, H. P. Yoong, S. S. Yang, K. T. K. Teo, Maximum Power Point Tracking for PV Array under Partially Shaded Conditions, 2011 Third International Conference on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks, Bali, Endonezya, 2011, s. 72-77, doi: 10.1109 / CICSyN.2011.27.
- [7] K. Punitha, D. Devaraj, S. Sakthivel, Artificial neural network based modified incremental conductance algorithm for maximum power point tracking in photovoltaic system under partial shading conditions, *Energy*, 62 (2013), pp. 330-340
- [8] Kharb R.K., Shimi S.L., Chatterji S., Ansari M.F. Modeling of Solar PV Module and Maximum Power Point Tracking Using ANFIS, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 33, May 2014, Pages 602-612
- [9] S. Agatino, G. Scelba, ANN Based MPPT Method For Rapidly Variable Shading Conditions, *Applied Energy*, Volume 145, 1 May 2015, Pages 124-132
- [10] S. Messalti, A. Harraga, A. Loukriz, A New Variable Step Size Neural Networks MPPT Controller: Review, Simulation And Hardware Implementation, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 68, Part 1, February 2017, Pages 221-233
- [11] Lpn Jyothy Ve Mr Sindhu, " Neural Network based MPPT Algorithm for Solar PV System ", 2018 4. International Electrical Energy Systems Conference (ICEES) , 2018, s. 375-380, doi: 10.1109 / ICEES.2018.8443277.

- [12] S. Laamami, M. Benhamed Ve L. Sbita, " Artificial Neural Network-Based Fault Detection And Classification For Photovoltaic System " 2017 International Green Energy Conversion Systems Conference (GECS), 2017, s. 1-7, doi: 10.1109/GECS.2017.8066211.
- [13] F.Almonacid, C.Rus, L.Hontoria, M.Fuentes, G.Nofuentes, Characterisation Of Si-Crystalline PV Modules By Artificial Neural Networks, Renewable Energy, Volume 34, Issue 4, April 2009, Pages 941-949
- [14] M. Karamirad, M. Omid, R. Alimardani, H. Mousazadeh, S. Navid Heidari, ANN Based Simulation And Experimental Verification Of Analytical Four- And Five-Parameters Models Of PV Modules , Simulation Modelling Practice and Theory, Volume 34, May 2013, Pages 86-98
- [15] T. Hiyama, S. Kouzuma, T. Imakubo, Identification Of Optimal Operating Point Of PV Modules Using Neural Network For Real Time Maximum Power Tracking Control, IEEE Trans Energy Convers, 10 (2) (1995), pp. 360-367
- [16] Ü. Yılmaz, A. Kırçay, S. Börekçi, PV system fuzzy logic MPPT method and PI control as a charge controller, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 81, Part 1, January 2018, Pages 994-1001
- [17] N. Ould Cherchali, M. S. Boucherit, L. Barazane, A. Morsli, Study of Two MPPTs for Photovoltaic Systems Using Controllers Based in Fuzzy Logic and Sliding Mode, World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electrical, Computer, Electronics and Communication Engineering Vol:9, No:5, 2015
- [18] Özdemir Ş., Altin N., Sefa İ., Fuzzy logic based MPPT controller for high conversion ratio quadratic boost converter, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 42, Issue 28, 13 July 2017, Pages 17748-17759
- [19] C. R. Algarín, J.T. Giraldo ve O. R. Álvarez, Fuzzy Logic Based MPPT Controller for a PV System, Energies, vol.10,yıl 2017,No:12, article-number.2036
- [20] H. Boumaaraf, A. Talha, O. Bouhali, A three-phase NPC grid-connected inverter for photovoltaic applications using neural network MPPT, Renew Sustain Energy Rev, 49 (2015), [1.pdf]
- [21] A.I. Dounis, P. Kofinas, K. Alafodimos, D. Tseles, Adaptive fuzzy gain scheduling PID controller for maximum power point tracking of photovoltaic system, Volume 60, December 2013, Pages 202-214 December 2013
- [22] A.Panda, M.K. Pathak, S.P. Srivastava, Fuzzy Intelligent Controller for the Maximum Power Point Tracking of a Photovoltaic Module at Varying Atmospheric Conditions, Journal of Energy Technologies and Policy, Vol.1, No.2, 2011,Pages 2224-3232
- [23] F.Bouchafaa, I. Hamzaoui, A. Hadjammar, Fuzzy Logic Control For The Tracking Of Maximum Power Point Of A PV System, Energy Procedia 6 (2011) 633–642
- [24] Abu-Rub H. ,Iqbal A. , Ahmed Sk.M., Peng F. Z., Li Y., Baoming G., Quasi-Z-Source Inverter-Based Photovoltaic Generation System With Maximum Power Tracking Control Using ANFIS , IEEE Transactions on sustainable energy vol.4, no.1, january 2013

- [25] Kulaksız A.A., ANFIS-based estimation of PV module equivalent parameters: application to a stand-alone PV system with MPPT controller, Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, (2013) 21: 2127 – 2140
- [26] D. Mlakić ve S. Nikolovski, "ANFIS as a method for determination of MPPT in simulated photovoltaic system in MATLAB /Simulink " 2016 39 International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), 2016, s. 1082- 1086, doi: 10.1109 / MIPRO.2016.7522301
- [27] A. Fathy, A. M.Kassem, Antlion optimizer-ANFIS load frequency control for multi-interconnected plants comprising photovoltaic and wind turbine, ISA Transactions, Volume 87, April 2019, Pages 282-296
- [28] T.Shanthi, A.S.Vanmukhil, Photovoltaic Generation System with MPPT Control Using ANFIS, International Electrical Engineering Journal (IEEJ) 2013,Vol.4,No.3 ,pp.1105-1115
- [29] M. M. Ismail, A. F. Bendary, Smart Battery Controller Using Anfis For Three Phase Grid Connected PV Array System, Department Of Electrical Power And Machines, Faculty Of Engineering, Helwan University, Egypt Received 31 August 2017; Received in Revised Form 25 February 2018; Accepted 16 April 2018, Available Online 3 May 2018
- [30] Aldair A.A., Obed A. A., Halihal A.F., Design And Implementation Of ANFIS-Reference Model Controller Based MPPT Using FPGA For Photovoltaic System,Renewable and Sustainable Energy Reviews,Volume 82, Part 3, February 2018, Pages 2202-2217
- [31] Mellit A., S. A. Kalogirou., ANFIS-Based Modelling For Photovoltaic Power Supply System: A Case Study,Renewable Energy,Volume 36, Issue 1, January 2011, Pages 250-258
- [32] Otieno C.A., Nyakoe G.N., Wekesa C.W., A Neural Fuzzy Based Maximum Power Point Tracker for a Photovoltaic System,IEEE AFRICON 2009,23 - 25 September 2009, Nairobi, Kenya,978-1-4244-3919
- [33] Jayawardene I., Venayagamoorthy G.K., Comparison of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems and Echo State Networks for PV Power Prediction,Procedia Computer Science,Volume 53, 2015, Pages 92-102
- [34] Shabaan S., El-Sebah M.I.A., Bekhit P. Maximum Power Point Tracking For Photovoltaic Solar Pump Based On ANFIS Tuning System, Journal of Electrical Systems and Information Technology Volume 5, Issue 1, May 2018, Pages 11-22
- [35] E.Adıgüzel, E. Özer, A. Akgündoğdu, A.E. Yılmaz, Prediction Of Dust Particle Size Effect On Efficiency Of Photovoltaic Modules With ANFIS: An Experimental Study In Aegean Region, Turkey, Solar Energy Volume 177, 1 January 2019, Pages 690-702
- [36] K. J. Reddy, N.Sudhakar, Anfis-Mppt Control Algorithm For A Pemfc System Used In Electric Vehicle Applications , International Journal Of Hydrogen Energy,Volume 44, Issue 29, 7 June 2019, Pages 15355-15369 June 2019, Pages 15355-15369

- [37] E.Anbarasu, M.V.Pandian, A.R.Basha, An Improved Power Conditioning System For Grid Integration Of Solar Power Using ANFIS Based FOPID Controller, Microprocessors and Microsystems, Volume 74, April 2020, 103030
- [38] L.L.Kazmerski, Photovoltaics : A Review Of Cell And Module Technologies, Renewable and Sustainable Energy Reviews , Vol 1 nos1/2 pp71-17,1997
- [39] C. Toledo, R. López-Vicente, J. Abad, A. Urbina, Thermal performance of PV modules as building elements: Analysis under real operating conditions of different technologies, Energy & Buildings, 223 (2020) 110087
- [40] K. Akhmad, A. Kitamura, F. Yamamoto, H. Okamoto, H. Takakura, Y. Hamakawa, Outdoor Performance Of Amorphous Silicon And Polycrystalline Silicon Pv Modules, Solar Energy Materials And Solar Cells Vol 46 (1997) 209-218
- [41] S. A. Kalogirou, Solar Thermal Collectors And Applications, Department Of Mechanical Engineering, Higher Technical Institute, P.O. Box 20423, Nicosia 2152, Cyprus, Progress in Energy and Combustion Science vol 30 (2004) 231–295
- [42] M. Esfandyari, M.A. Fanaei, Adaptive Fuzzy Tuning Of PID Controllers, Neural Comput & Applic (2013) 23, Pages 19–28
- [43] Yayla Tunay S.K., Özgüven Ö.F., PV modülünün ANFIS ile Modellenmesi ve PI Denetleyici ile Maksimum Güç Noktasının Takibi, Selçuk Zirvesi 1. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi 7-8 aralık 2019, Konya, sayfa 99-109.

ÖZGEÇMİŞ

İsim : Sinem Kezban

Soy isim : YAYLA TUNAY

Mail Adresi :

Eğitim Durumu:

Lisans: İnönü Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği/2015

Lisans: İnönü Üniversitesi Makine Mühendisliği/2022

Lisans: İnönü Üniversitesi Eğitim Fakültesi Pedagojik Formasyon /2018