



**GÜNEŞ PANELLERİNDE ADAPTİF AĞ TABANLI
BULANIK MANTIK ÇIKARIM YÖNTEMİ İLE
MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Onur ARDIÇ

DANIŞMAN

Prof. Dr. Hasan ÇİMEN

Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Aralık, 2015

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÜNEŞ PANELLERİNDE ADAPTİF AĞ TABANLI
BULANIK MANTIK ÇIKARIM YÖNTEMİ İLE
MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ**

Onur ARDIÇ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Hasan ÇİMEN

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Aralık, 2015

TEZ ONAY SAYFASI

Onur ARDIÇ tarafından hazırlanan “ Güneş panellerinde adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım yöntemi ile maksimum güç noktası takibi ” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 11 / 12 / 2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği **Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : (Prof. Dr. Hasan ÇİMEN)

Başkan : Doç. Dr. Bekir Mumyakhmaz

İmza

Dumlupınar Ü. Mühendislik Fakültesi,

Üye : Prof. Dr. Hasan Çimen

İmza

Afyon Kocatepe Ü. Teknoloji Fakültesi,

Üye : Doç. Dr. Yüksel Oğuz

İmza

Afyon Kocatepe Ü. Teknoloji Fakültesi,

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun

...../...../..... tarih ve

..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. Hüseyin ENGİNAR

Enstitü Müdürü

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

**GÜNEŞ PANELLERİNDE ADAPTİF AĞ TABANLI
BULANIK MANTIK ÇIKARIM YÖNTEMİ İLE
MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ**

Onur ARDIÇ
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hasan ÇİMEN

Güneş panellerinin kullanımı günümüzde oldukça yaygınlaşmıştır. Ancak sisteme doğrudan bağlanan güneş panellerinin maksimum güç noktalarında çalışmadıkları tespit edilmiştir. Bu problemin çözülmesi için ise birçok maksimum güç noktası takip (MPPT) yöntemi oluşturulmuştur.

Bu çalışmada, güneş panellerinde maksimum güç noktası takibi için adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım yöntemi (ANFIS) önerilmiştir. Bu yöntemin önerilmesinde sistemin gerek kendi kendine öğrenebilme gerekse insan gibi karar verebilme özellikleri etkili olmuştur.

Matematiksel olarak modellenmiş fotovoltaiik panel çıkış değerleri farklı ışınlım ve sıcaklık seviyeleri için alınmış ve ANFIS 'e aktarılmıştır. ANFIS 'in bu değerler arasındaki mantıksal ilişkiyi minimum hata değeri ile algılaması sağlanmıştır. Bir dizi işlemten sonra bu değerler ile DA-DA yükselten çeviricinin anahtarlanması ve maksimum gücün üretimi sağlanmıştır.

Sistemdeki tüm elemanların matematiksel modelleri elde edilmiş ve MATLAB 2013a paket programında benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Sistem bileşenleri ve performans oranı bakımından ayrıntılı olarak incelenen sistemde, sistem bileşenlerinin tasarım

ayrıntıları da verilmiştir. Benzetim sonuçları literatürde bulunan çalışmalar ile karşılaştırılmış ve kurulan sistemin avantaj ve dezavantajları üzerine değerlendirmeler yapılmıştır.

2015, xv + 95 sayfa

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS), Maksimum Güç Noktası Takibi.



ABSTRACT
M.Sc.Thesis

**MAXIMUM POWER POINT TRACKING
AT SOLAR CELLS USING ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM**

Onur ARDIÇ
Afyon Kocatepe University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electric-Electronic Engineering
Supervisor: Prof. Hasan ÇİMEN

The usage of solar panels today has become widespread. However, when the solar panels are connected directly to the system, they can not operate at the maximum power point. To solve this problem, many maximum power point tracking (MPPT) methods have been established.

In this study, adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS) is proposed for maximum power point tracking in solar cells. Because, ANFIS has the ability to decide like people and can self-learn.

Mathematically modeled photovoltaic panel values, were taken. After that, different radiation and temperature values have been transferred to ANFIS. Between these values ANFIS establishes logical relationship for sensing the minimum error value. After a series of operations DC-DC converter has been switched and direct current has been obtained.

Mathematical models of the all components in the system have been obtained and system performed in MATLAB software package 2013a. Also maximum power point tracking, system components of the design, which are working in the system were examined, details from performance ratio perspective, are provided. The simulation results have been compared with the studies in the literature and the advantages and disadvantages of the installed system was evaluated.

2015, xv + 95 pages

Key Words: Renewable Energy, Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS), Maximum Power Point Tracking.



TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Hasan ÇİMEN 'e, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Sait Mahmut ÇINAR 'a, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen Babam Sadık ARDIÇ 'a, Annem Zinnet ARDIÇ 'a, tüm aileme ve Fatma DURSUN 'a teşekkürü borç bilirim.

AFYONKARAHİSAR, 2015

Onur ARDIÇ

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
3. MATERYAL ve METOT	8
3.1 Güneş Pilleri.....	9
3.1.1 Fotovoltaik Hücre Elektriksel Modeli	12
3.2 Maksimum Güç Noktası Takip Algoritmalarının İncelenmesi	17
3.2.1 Maksimum Güç Noktası Takip Metotları	21
3.2.1.1 Dolaylı Denetim Metotları.....	21
3.2.1.2 Direkt Denetim Metotları	22
3.2.1.3 Değiştir ve Gözle Metodu (D&G).....	23
3.2.1.4 Artan İletkenlik Metodu (Incremental Conductance (IC) Method).....	27
3.3 Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS)	30
3.3.1 Yapay Sinir Ağları	31
3.3.2 Bulanık Mantık	34
3.3.3 Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistem Mimarisi	36
3.3.4 Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sisteminin Modellenmesi	40
3.4 Maksimum Güç Noktası Takip Sisteminin Modellenmesi	44

3.4.1 Çeviriciler	45
3.4.1.1 Anahtarlama DA-DA Çeviricilerin Sınıflandırılması	46
3.4.1.2 Yükselten (Boost) Çeviriciler	47
3.4.1.3 DA Gerilim Ayarlayıcıların Kontrolü	52
3.4.2 PI Kontrolör Tasarımı	55
3.4.2.1 PI parametrelerinin deneysel olarak ayarlanması	56
4. BULGULAR	58
4.1 Fotovoltaik Panelin MATLAB/Simulink Ortamında Simülasyonu	58
4.2 DA-DA Yükselten Tip Çevirici Simülasyonu	59
4.2.1 Anahtarlama DA-DA Çeviriciler	59
4.3 Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi Benzetimi	63
4.4 Simülasyon Sonuçları ve Tartışma	72
4.4.1 Sisteme Uyarlaması Gerçekleştirilen D&G-1 ve ANFIS Yöntemlerinin İncelenmesi	74
4.4.2 Sisteme Uyarlaması Gerçekleştirilen D&G- 2 ve ANFIS Yöntemlerinin İncelenmesi	77
5. SONUÇ	86
6. KAYNAKLAR	87
6.1 İnternet Kaynakları	94
ÖZGEÇMİŞ	95

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

AA	Alternatif Akım
A	Üretici Dizayn Katsayısı
a_i, b_i, c_i	Öncül Parametreler
C	Kapasite
CdTe	Kadmiyum Tellurid
CuInSe2	Bakır İndiyum Diselenid
DA	Doğru Akım
D	Diyot
D	Duty Cycle
GaAs	Galyum Arsenit
G	Işınım Şiddeti
G_i	Gerçek Çıkış
I_0	Ters Saturasyon Akımı
I_D	Diyot Akımı
$I_{Giriş}$	Işığın Oluşturduğu Akım
$I_{Çıkış}$	Maksimum güçteki Akım (Çıkış)
I_{SC}	Kısa Devre Akımı
I_L	Bobin Akımı
K	Boltzman Sabiti (8,65x10 ⁻⁵ eV/K)
K_p	Oransal Katsayı
K_i	İntegral Katsayı
L	Endüktans
M	Anahtar
N_p	Paralel Bağlı Hücre Sayısı
N_s	Seri Bağlı Hücre Sayısı
P_{PV}	Panel Gücü
q	Elektron Yüğü (1,6.10 ⁻¹⁹ C)

Simgeler (Devam)

r_i, s_i, t_i	
R_p	Soncul Parametreler
R_s	Güneş Pili Paralel Direnci
S	Seri Direnç
T	Anahtar
T_i	Jonksiyon Sıcaklığı
T_{on}	İntegral Zaman Sabiti
W	İletim Süresi
W_p	Aktif Güç Ölçü Birimi
$V_{Çıkış}$	Aktif Güç Tepe Değeri (Watt-Peak)
V_D	Çıkış Gerilimi
V_{GE}	Diyot Gerilimi
V_T	Karşılaştırma Sinyali
V_L	Taşıyıcı Sinyal
V_m	Bobin Gerilimi
V_{OC}	Modülasyon İşareti
V_i	Açık Devre Gerilimi
V_0	Giriş Gerilimi
$V_{PVhücre}$	Çıkış Gerilimi
V_{ii}	Fotovoltaik Panel çıkış gerilimi
V_T	Üçgen Dalga
σ	Terminal Gerilim
Y_i	ANFIS Standart Sapması
Y_{Toplam}	Anfis Katman Çıkışları (i=1,2,3,4,5)
	ANFIS Çıkışı

Kısaltmalar

ANFIS	Adaptive Neuro Fuzzy Inference System
D&G	Değiştir&Gözle
RMS	Ortalama Karakök (Root Mean Square)
PV	Fotovoltaik
IC	Artan İletkenlik Metodu
MPPT	Maksimum Güç Noktası Takibi
MPP	Maksimum Güç Noktası
MW	Mega Watt
P&O	Perturb&Observation
PWM	Darbe Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1	Temel maksimum güç noktası takip sistemi blok gösterimi	9
Şekil 3.2	Fotovoltaik güneş hücresi elektriki eş değer devresi (Katan <i>et al.</i> 1996)	12
Şekil 3.3	Fotovoltaik panel (Pukhrem 2013) sisteminin MATLAB/Simulink ortamında blok diyagramı	17
Şekil 3.4	Fotovoltaik pil I-V eğrisi üzerindeki çalışma bölgeleri ve MPP	19
Şekil 3.5	Fotovoltaik pil P-V eğrisi üzerindeki çalışma bölgeleri ve MPP	19
Şekil 3.6	Temel olarak maksimum güç noktası takibi sistemi blok şeması	20
Şekil 3.7	MPPT sisteminin farklı ışınım seviyelerinde çalışması	20
Şekil 3.8	MPPT bulunduran ve bulundurmayan sistem karşılaştırması (Santos <i>et al.</i> 2006)	21
Şekil 3.9	Değiştir ve Gözle metodu akış şeması (Salas <i>et al.</i> 2006).	24
Şekil 3.10	Değişen ışınım değerlerine karşılık, D&G algoritmasının MPP 'den sapması	25
Şekil 3.11	Değiştir ve Gözle metodu için uyarlanan birinci blok sistemi (Aubai 2013)	26
Şekil 3.12	Değiştir ve Gözle metodu için uyarlanan ikinci blok sistemi (Malla 2012) .	26
Şekil 3.13	Fotovoltaik panel güç eğrisi	27
Şekil 3.14	Artan iletkenlik metodu (IC) akış şeması (Salas <i>et al.</i> 2006)	29
Şekil 3.15	Yapay sinir ağ mimarisi (Dayhoff and Deleo 2001, Zhao <i>et al.</i> 2007)	32
Şekil 3.16	Sıcaklık derecelendirme sistemi (Klasik yaklaşım) (Saraç 2012)	35
Şekil 3.17	Sıcaklık derecelendirme sistemi (Bulanık Mantık) (Saraç 2012)	35

Şekil 3.18 Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık sistemi (Jang 1993, Hocaoglu 2005).....	37
Şekil 3.19 60 Watt'lık panelden eğitim verilerinin alınması	41
Şekil 3.20 Eğitilmemiş verilerin ANFIS'e yüklenmesi	42
Şekil 3.21 Veriler yüklendikten sonra oluşan bulanık mantık sistemi	43
Şekil 3.22 Üyelik fonksiyonlarının seçilmesi.....	43
Şekil 3.23 Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sisteminin MATLAB/Simulink ortamında gösterimi	44
Şekil 3.24 Maksimum güç noktası takip sistemi genel gösterimi	45
Şekil 3.25 Oluşturulan yükselten tip DA-DA çeviricinin MATLAB/Simulink ortamında genel gösterimi	47
Şekil 3.26 Yükselten tip DA-DA çevirici anahtarların iletimde olması durumu	48
Şekil 3.27 Yükselten tip DA-DA çevirici anahtarının yalıtımda olması durumu	49
Şekil 3.28 DA-DA yükselten tip çevirici anahtarlama sinyali	51
Şekil 3.29 Darbe genişlik modülasyonu MATLAB/Simulink modeli	53
Şekil 3.30 Darbe genişlik modülasyonu çıkış sinyali	53
Şekil 3.31 Yükselten tip DA-DA çevirici dalga şekilleri.....	54
Şekil 4.1 Fotovoltaik panelin sabit sıcaklık farklı ışınlam seviyelerinde simülasyonlarının gerçekleştirilmesi	58
Şekil 4.2 Fotovoltaik panelin sabit ışınlam, farklı sıcaklık seviyelerinde simülasyon sonuçlarının gösterimleri	59
Şekil 4.3 MPPT sistemi içerisinde kullanılacak olan DA-DA çevirici benzetiminin MATLAB/Simulink ortamında genel gösterimi	60
Şekil 4.4 DA/DA yükselten tip çevirici çıkış akım ve gerilimi (Duty cycle= 0.3)	61

Şekil 4.5 DA-DA yükselten tip çevirici filtre edilmiş çıkış gücü (Duty cycle= 0.3)	61
Şekil 4.6 DA-DA yükselten tip çevirici çıkış akım ve gerilimi (Duty cycle= 0.5)	62
Şekil 4.7 DA-DA yükselten tip çevirici filtre edilmiş çıkış gücü (Duty cycle= 0.5)	62
Şekil 4.8 Eğitim işlemi sonrası oluşan ışınlam giriş üyelik fonksiyonları yapısı	64
Şekil 4.9 Eğitim işlemi sonrası oluşan sıcaklık giriş üyelik fonksiyonları yapısı	64
Şekil 4.10 Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistem mimarisi	64
Şekil 4.11 Eğitim işlemi sonrası bulanık mantık sistemi hatası	65
Şekil 4.12 Eğitim işlemi sonrası oluşan ANFIS sistem değerleri	66
Şekil 4.13 ANFIS ile Tablo Yöntemi Blok Gösterimi	68
Şekil 4.14 ANFIS ile Tablo Yönteminin Karşılaştırılması	69
Şekil 4.15 Yakınlaştırılmış A bölgesi gösterimi	70
Şekil 4.16 Eğitim işlemi sonrası oluşan ANFIS yüzeysel gösterimi	71
Şekil 4.17 Sistemlere uygulanan farklı ışınlam seviyeleri	74
Şekil 4.18 D&G-1 yöntemi ile ANFIS yöntemlerinin karşılaştırılması	75
Şekil 4.19 ANFIS ve D&G-1 yöntemlerinin karşılaştırılması	75
Şekil 4.20 Yakınlaştırılmış B bölgesi gösterimi	76
Şekil 4.21 Yakınlaştırılmış C bölgesi gösterimi	77
Şekil 4.22 D&G 2 yöntemi ve ANFIS yönteminin Karşılaştırılması	78
Şekil 4.23 ANFIS ve D&G-2 yöntemlerinin karşılaştırılması	78
Şekil 4.24 Yakınlaştırılmış D bölgesi gösterimi	79
Şekil 4.25 Yakınlaştırılmış E bölgesi gösterimleri	80
Şekil 4.26 Sistemlere uygulanan farklı sıcaklık seviyeleri	81

Şekil 4.27 ANFIS ve D&G 2 yöntemlerinin karşılaştırılması	81
Şekil 4.28 Yakınlaştırılmış G bölgesi gösterimi	82
Şekil 4.29 Yakınlaştırılmış G bölgesi gösterimi	82
Şekil 4.30 Sistemlerin çıkışına eklenen yükleme devresi	83
Şekil 4.31 ANFIS, D&G-1 ve D&G-2 sistemlerinin farklı yüklerde karşılaştırılmaları	84
Şekil 4.32 Farklı yüklerde ANFIS, D&G-1 ve D&G-2 sistemlerinin karşılaştırılması .	84



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Çeşitli güneş pili yapıları için maksimum verimlilikler (Green vd. 2015) .	11
Çizelge 3.2 MSX 60 üretici katalog değerleri (İnt. Kyn.2)	11
Çizelge 3.3 Değiştir ve gözle metodu (D&G) MPP bulma süreci işlemi (Durusu 2011)	25
Çizelge 3.4 Artan iletkenlik metodu (IC) MPP bulma süreci işlemi (Hussein vd. 1995)	28
Çizelge 3.5 Melez öğrenme algoritma detayları (Jang 1993, Şentürk 2006)	40
Çizelge 3.6 Eğitilmemiş verilerin ANFIS'e yüklenmesi	41
Çizelge 3.7 Temel olarak çevirici özeti (Wuidart 1999)	54
Çizelge 4.1 Değişken ışıınım, sabit sıcaklık seviyeleri için PV panel çıkış güçleri ve ANFIS'in yapmış olduğu çıkarımlar	66
Çizelge 4.2 Değişken sıcaklık, sabit ışıınım seviyeleri için PV panel çıkış güçleri ve ANFIS 'in yapmış olduğu çıkarımlar	67
Çizelge 4.3 MPPT sisteminin bulunduğu ve bulunmadığı devrelerin karşılaştırılması .	72

1. GİRİŞ

18. yüzyılda İngiltere'de meydana gelen sanayi inkılabı beraberinde enerji ihtiyacını getirmiş, devlet politikalarının enerji üzerine yoğunlaşmasına neden olmuştur. Teknolojinin gelişimi insan hayatını kolaylaştırıcı bir çok yenilik meydana getirmiştir. Elektriğin üretimi-iletimi-dağıtımı gerçekleşmiş ve neredeyse her birime enerji ulaştırılmıştır. Bu enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla kömür, petrol, doğalgaz (vb. yeraltı kaynakları), su gibi akışkan maddelerin düşü enerjisi (Hidrolik enerji), yenilenebilir enerji kaynakları ve nükleer enerjiden yararlanılmaktadır. Yeraltı kaynakları dünya genelinde yaklaşık enerji tüketiminin %87'sini karşılamak suretiyle ana enerji kaynağı konumlarını sürdürmektedirler. Bununla birlikte rezervleri sonlu olan yeraltı kaynaklarının biteceği bir gerçektir. Ayrıca kullanımı sonrası oluşan atık maddelerin çevre ve insan sağlığına zarar vermesi bu kaynakların bir diğer dezavantajıdır. Bu sebeplerden dolayı, enerji ihtiyacının bitmeyen ve çevreye zarar vermeyen bir kaynak tarafından sağlanması için bir çok çalışma yürütülmektedir.

1839 yılında fotovoltaiik etkinin keşfedilmesi, güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilebildiğini ortaya koymuştur. Fotovoltaiik piller kullanımı sonrası zararlı atık madde oluşturmamakla beraber kaynağını da sonsuz sayılabilecek güneş enerjisinden almaktadırlar. Ancak, doğrudan alıcıya bağlanan fotovoltaiik pillerin maksimum güç noktalarında çalışmadıkları tespit edilmiştir. Bu problem sebebiyle fotovoltaiik panelleri maksimum güç noktalarında çalıştırmak için birçok yöntem geliştirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında, adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım yöntemi ile maksimum güç noktası takip sistemi modellemesi gerçekleştirilmiştir. Son yıllarda, maksimum güç noktası takibi amacı ile bulanık mantık ve yapay sinir ağları metotları kullanılmaya başlanmıştır. Yapay sinir ağlarında öğrenme yeteneği bulunmaktadır. Bulanık mantık metodunda ise matematikte bulunan bir çok karmaşık denklem ve kabullerden uzaklaşmıştır. Bu iki yöntemden yola çıkılarak ANFIS oluşturulmuştur. Dolayısıyla ANFIS, yapay sinir ağlarının öğrenme, bulanık mantık metodunun da karar verebilme özelliklerine sahip bir sistemdir.

Çalışmada matematiksel olarak modellenmiş fotovoltaiik panel (Pukhrem 2013) değerleri, farklı ışıınım ve sıcaklık seviyeleri için alınmış, ardından ANFIS yapısına aktarılmıştır. ANFIS yapısı iki adet giriş için bir adet çıkış verecek şekilde önceden kurgulanmış bir yapıdır. Sistem giriş olarak ışıınım, sıcaklık ve çıkış olarak fotovoltaiik panel gücü çıkıırım değerleri için kurgulanmıştır. Sonuçta ANFIS, girişine uygulanan değerler ve belirlenen kurallar dahilinde, fotovoltaiik panel çıkış gücü hakkında çıkıırım yapabilecek duruma getirilmiştir. Ayrıca ANFIS 'in bu değerler arasındaki mantıksal ilişkiyi minimum hata değeri ile algılaması sağlanmıştır. Algılama işlemlerinden sonra ANFIS ve fotovoltaiik panel çıkış güçleri arasındaki fark alınarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma değerleri PI kontrolör aracılığı ile bir PWM üreticiye aktarılmıştır. Bu sayede DA-DA yükselten çevirici (Malla 2012, Karthi 2013) çıkışında panele ait maksimum güç değerleri elde edilmiştir.

Literatür kısmında, daha önce yapılan çalışmaların sunulan tez konusuna katkısı ifade edilmiştir. Materyal ve metot kısmında maksimum güç noktası takibinin gerçekleştirilmesi için kullanılan sistemler ve bu sistemlerin hangi metotlar ile oluşturulduğu anlatılmıştır. Bulgular kısmında, modellenen sistemlerin simülasyon sonuçları ve çalışma sonucunda oluşan veriler sunulmuştur. Ayrıca ANFIS yapısı literatürde bulunan farklı şekilde tasarlanmış iki adet değıştir ve gözle yöntemleri ile kıyaslamalı olarak karşılaştırılmıştır. Son olarak sonuç kısmında adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkıırım sisteminde belirlenen problemler ve bu problemlere ait uygun çözüm önerileri verilmiş ve çalışma sonlandırılmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Bu kısımda güneş panellerinde ANFIS ile maksimum güç noktası takibi hakkında yapılan başlıca çalışmalar ve araştırma konusu ile ilgili temel bilgiler sunulmuştur.

Fotovoltaik güç üretim sistemlerinden maksimum güç elde edilmesi özetle iki yöntemle açıklanabilir.

- Fotovoltaik güç üretim sistemi üzerine daha çok ışık enerjisi düşürme amaçlı kurulan mekanik sistemler,
- Elektriksel olarak maksimum gücü verecek akım ve gerilim değerlerinin bulunmasını sağlayacak algoritma ve sistemler (D.G.S. 2008).

Bu çalışmada, mekaniksel yöntemlerden ziyade elektriksel yöntemler incelenmiştir. Literatürde birçok maksimum güç noktası takip metodu bulunmaktadır. (Salas vd. 2006)' ya göre MPPT yöntemlerini, dolaylı denetim metotları ve direkt denetim metotları gibi iki farklı başlık altında incelemek mümkündür. Dolaylı denetim metotlarında açık devre gerilimi, kısa devre akımı, ışıyım şiddeti, modül sıcaklığı gibi değerlere ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca matematiksel ifade ve eşitlikler ile yaklaşık maksimum güç noktası (MPP) tahmin edilmeye çalışılır. Direkt denetim metotlarında ise ölçümler esastır. Bu metotlarda panel değerleri direkt olarak ölçülür ve MPP noktası bu ölçümler sonucunda bulunur. (Salas 2006, ESRAM and Chapman 2007, Jain and Agawal 2007)' ye göre direkt denetim metotlarından en çok kullanılan yöntem değiştir ve gözle (D&G) yöntemidir. Bu yöntemde, modül geriliminin bir miktar artırılmasının ardından fotovoltaik (PV) sistemin gücü ölçülür. Eğer değişim pozitif olursa PV sistemin gerilimi aynı yönde artırılmaya devam edilir. Ancak, değişim negatif olursa sistemimizin maksimum güç noktasından uzaklaşmakta olduğunu anlarız. Böylelikle gerilimdeki bu değişimlerden hareket edilerek maksimum güç noktası bulunmuş olur. Ekonomik bir metot olup PV panel hakkında ön bir bilgi gerektirmemektedir. Ancak, ani değişken hava koşulları için pek uygun değildir. Bu durum bölüm 3.2.1. Maksimum güç noktası takip metotları konusunda açıklamalı ve kıyaslamalı olarak incelenmiştir. Literatürde kullanılan bir diğer yöntem ise artan iletkenlik yöntemidir (Wasynezuk 1983, Hussein *et al.* 1995). Yapılan deneyler sonucunda değiştir-gözle ve artan iletkenlik yöntemlerinin açık hava performanslarının yaklaşık olarak aynı olduğu

kararına varılmıştır. Ancak bulutlu havalarda değiştir-gözle yönteminin, artan iletkenlik yönteminden daha başarılı olduğu görülmüştür (Hohm and Ropp 2003). Ayrıca değiştir-gözle yönteminin algoritması, artan iletkenlik yöntemine kıyasla daha basit yapıdadır (Hohm and Ropp 2003, Efram and Chapman 2007). Bu sebeplerden dolayı çalışma içerisinde MPPT sistemlerinin karşılaştırılması amacı ile değiştir ve gözle yöntemi kullanılmıştır.

Son yıllarda, maksimum güç noktası takibi amacı ile bulanık mantık ve yapay sinir ağları metotları kullanılmaya başlanmıştır. Yapay sinir ağlarında öğrenme yeteneği bulunmaktadır. Bulanık mantık metodunda ise matematikte bir çok karmaşık denklem ve kabullerden uzaklaşılarak sayısal ifadelere sözel değerler katılmıştır. Ayrıca insan düşünce yapısına yakın olabilen modeller tasarlanmıştır (Narendra and Parthasarathy 1990, Jang 1993, Haykin 1994, Ahmad 1997, Sugeno and Kang 1998, Hocaoglu 2005). Ortaya atılan bir düşünce ile bu iki metot birleştirilmiştir. Böylelikle yapay sinir ağları gibi kendi kendine öğrenebilen, bulanık mantık metodu gibi karar verebilen bir sistem geliştirilmiştir. Bu yönteme adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım yöntemi ismi verilmiştir. Bu metotta giriş ve çıkış değerleri veya arasında mantıksal ilişki kurulmak istenen değerler ile sisteme giriş yapılır. Daha sonra bulanık mantık metodu benzeri şekilde üyelik fonksiyonları belirlenir (Jang 1993). Kurallar tayin edilir ve öğrenme algoritması seçimi yapılır. Yapılan seçimlerden sonra eğitime işlemine başlanır. Buradaki amaç sistemin giriş, çıkış arasındaki mantıksal ilişkiyi en az hata değeri ile algılamasını sağlamaktır. Kendi öğrenme algoritması bulunan adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım yöntemi eğitime işlemi sonunda giriş ve çıkış arasında ki yaklaşık mantıksal ilişkiyi tanımlamış olur. Yaklaşık denilmekte çünkü sistem bir hata değeri bulunduracaktır. Sonuç olarak oluşturulan sistem, çıkarımın ardından aynı sistemdeki başka girdiler için de uygun değerler verebilecek konuma ulaşmış olacaktır (Jang 1993). Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım yönteminin mimarisine ve çalışma mantığına bölüm 3.3. Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS) konusunda daha detaylı bir biçimde değinilmiştir.

Literatürde çoğunlukla yapılandırma ve eğitime işlemleri sonrasında oluşturulan ANFIS çıkışı, gerçek panel çıkış gücü ile karşılaştırılmıştır. Literatür çalışmalarında ANFIS,

yapılandırması gereği girişine uygulanan değerlere göre çıkışta fotovoltaiik panel gücü için çıkarımda bulunmaktadır. Karşılaştırma işlemi ise; bu çıkarım değerleri ile gerçek fotovoltaiik panel çıkış değerleri arasındaki farkların alınması ile oluşmaktadır. Daha sonra alınan değerler bir kontrolör girişine aktarılmaktadır. Sonuçta kontrolör sayesinde, DA-DA yükselten çevirici (Malla 2012, Karthi 2013) anahtar konumlarının değiştirildiği (On-Off) görülmüştür. Böylelikle DA-DA yükselten çevirici çıkışında panelden alınabilecek maksimum gücün üretildiği görülmüştür (Shanthi and Vanmukhil 2013, Kharb *et al.* 2013, Kharb *et al.* 2014, Bin-Halabi *et al.* 2014). Bu araştırmada da yukarıda açıklanan yöntem ile maksimum güç üretimi gerçekleştirilmiştir.

Maksimum güç noktası takibi hakkında kıyaslamalı karşılaştırmaların bulunduğu bir çok yayın vardır (Hohm and Ropp 2003, Salas *et al.* 2006, ESRAM and Chapman, Lui *et al.* 2008, Durusu 2011). Ayrıca, adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım yöntemi ile ilgili de birçok yayın vardır. Bu yayınlardan güncel olan birkaç tanesi irdelenmiş ve bu çalışmaya olan katkıları değerlendirilmiştir;

Kharb, R. K. ve arkadaşları (2014), yayınlamış oldukları makalede modelledikleri fotovoltaiik panelden adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım yöntemi ile maksimum güç elde etmişlerdir. Yayınlanan makalenin ANFIS giriş değişkenleri olarak ışıınım ve sıcaklık değerlerini baz alması ve sistemin böylece eğitilmesi bu çalışmaya yol gösterici nitelikte olmuştur. Eğitime işlemleri sonrasında hata değerleri olarak $(6 - 7) \times 10^{-3}$ seviyelerine ulaşmışlardır. Ulaşılan bu değerler ANFIS yapısının panel değerlerini ne kadar iyi algılayabildiğinin bir göstergesi ve ulaşılması gereken bir hatasızlık derecesidir. Sonuç olarak, yapmış oldukları simülasyon deneyine göre 60 W'lık panelin maksimum güç noktası takibini gerçekleştirmişlerdir. Farklı ışıınım değerleri için MPPT sistemi var olduğunda ve var olmadığına oluşan güç değerlerini karşılaştırmışlardır. Böylelikle ANFIS yapısının farkını ortaya koymuşlardır.

Bin-Halabi, A. ve arkadaşları (2014), Güneş panellerinde ANFIS tabanlı maksimum güç takibi üzerine bir makale yayınlamışlardır. ANFIS giriş değişkenleri olarak panel gerilimi, akımı ve sistem sıcaklığını baz almışlar, daha sonra sistemi bu şekilde eğitmişlerdir. Akademik yayında D&G metodu ve ANFIS tabanlı maksimum güç

noktası takip metotları arasında karşılaştırma da yapmışlardır. Böylelikle farklı giriş değişkenlerine bağlı olarak ANFIS metodunun güvenilir bir biçimde çalışabildiğini kanıtlamışlardır.

Muthuramalingam, M. ve arkadaşı (2014), kısmen gölgelenmiş şebeke bağlantısız fotovoltaiik sistem için yapay sinir ağları (YSA) ve adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemlerini karşılaştırmışlardır. Analiz sonuçlarında adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi algoritmasının yapay sinir ağları algoritmalarından daha iyi olduğunu açıklamışlardır. Böylelikle yapılan çalışma sayesinde, bu çalışmanın ANFIS yöntemine odaklanmasının etkenlerinden bir tanesi olmuşlardır.

Shanthi, T. ve arkadaşı (2013), ANFIS kullanılarak fotovoltaiik panelden maksimum güç elde edilmesi üzerine bir makale yayınlamışlardır. Ayrıca, ANFIS giriş değişkenleri olarak ışıınım ve sıcaklık değerlerini baz almışlar ve sistemi bu şekilde eğitmişlerdir. Işıınım değerleri olarak sistemi 50 W/m^2 - 1000 W/m^2 arasındaki değerlerde çalışabilecek şekilde tasarlamışlardır. Eğitime sonrası hata değerleri olarak yaklaşık %3 ve %4 seviyelerine ulaşmışlar ve adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sisteminin panel değerlerini iyi derecede algılamasını sağlamışlardır. Yayınlanan makalede fotovoltaiik panelin hangi direnç değerlerinde yüklenerek eğitildiği ve ek bilgilerde verilmiştir. Maksimum güç noktası değerinin elde edildiği direnç değerinin vb. değerlerin verilmesi bu çalışmanın gidişatı açısından kolaylık sağlamıştır.

Abu-Rub, H. ve arkadaşları (2013), şebeke bağlantısız fotovoltaiik sistemde adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemini önermişlerdir. Anahtarlama görev oranı (Duty Cycle) değerinin değişimi ile sistemden elde edilebilecek maksimum gücü elde ettiklerini belirtmişlerdir. Ayrıca, gerçekleştirdikleri sistem değerlerinin de simülasyon sonuçları ile uyduştüğünü ve şebeke bağlantılı sisteminde bu şekilde yapılabileceğini belirtmişlerdir.

Iqbal, A. ve arkadaşları (2010), güneş panellerinde adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi ile maksimum güç noktası takibi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sisteminin, sisteme olan cevap

karakteristiğinin çok hızlı olduğunu not etmişlerdir. Ayrıca, fotovoltaiik panelden elde edilebilecek maksimum gücü aldıklarını belirtmişlerdir. Sonuçta, ANFIS maksimum güç elde edilen başka MPPT yöntemleri ile karşılaştırılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

Yücel, A. ve arkadaşları (2010), Tedarikçi seçimi problemine adaptif ağ yapısına dayalı bulanık çıkarım sisteminin uygulanması adlı çalışmalarını yayınlamışlardır. Bu çalışmada adaptif ağ tabanlı bulanık mantık metodunun yapısından faydalanarak tedarikçi seçimi çok kriterli karar verme mekanizmasıyla gerçekleştirilmiştir. Yayın sonucunda adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım metodunun farklı sistemlere de uygulanabilir ve güvenilir sonuçlar verebildiği kanısına ulaşılmıştır.

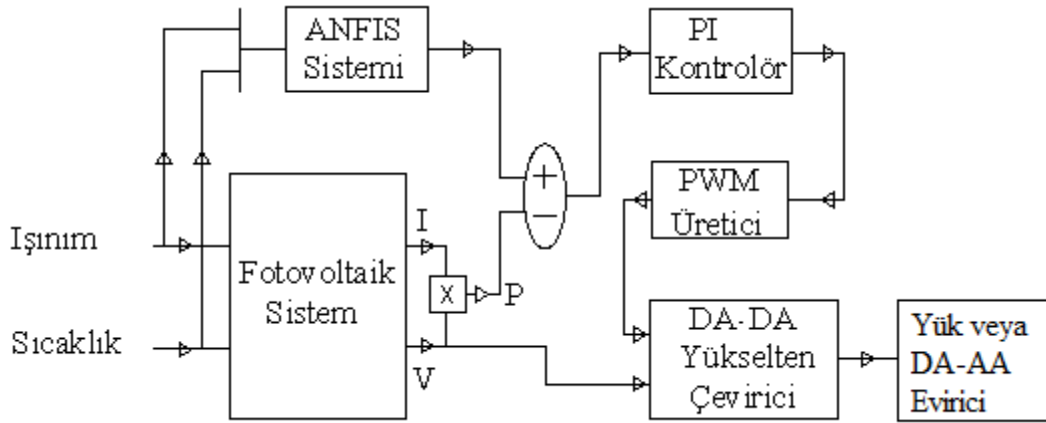
Bu çalışmada literatürde çokça kullanılan 60 Watt'lık bir fotovoltaiik panel (PV) (Pukhrem 2013) MATLAB/Simulink ortamında elde edilmiş ve kullanılmıştır. Sonrasında adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sisteminin mümkün en az hata değeri ile bu fotovoltaiik paneli algılaması sağlanmıştır. Bu çalışmanın literatüre katkısı, hata oranı çok düşük ve farklı metotlarla karşılaştırılabilen bütünsel bir sistemin oluşturulmasıdır. Sonuçta ise adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi ve başka çalışmaların, karşılaştırmalı olarak sunumları yapılmıştır.

3. MATERYAL ve METOT

Bu kısımda, güneş panellerinde adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım yöntemi ile maksimum güç noktası takibi için kullanılan materyal ve metotlar anlatılmıştır.

18. yüzyılın ikinci yarısından itibaren hızı artarak gelişen teknolojinin günümüzde akıl almaz boyutlara ulaştığı bir gerçektir. Ancak gelişen teknoloji beraberinde birçok problem meydana getirmiştir. Muhtemelen bu problemlerin başında enerji ihtiyacı gelmektedir. Milyonlarca yılda oluşan yeraltı kaynaklarının kullanılmaya başlandığı yakın gelecekte azaldığı hatta biteceği bir gerçektir. Diğer yandan bu kaynakların bilinçsizce kullanımı, dünyanın oluşumundan itibaren süregelen dengeyi kısa bir sürede bozmaktadır. Bu konuda ayrıca, çoğu bilim insanı açısından geri döndürülemez bir yola girildiği de söylenilebilir. Bu sebeplerden dolayıdır ki bilim dünyası küresel çevre kirliliği ve iklim değişikliği meydana getiren bu kaynaklardan ziyade, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir.

Bu çalışma kapsamında, güneş paneli olarak Solarex firmasının MSX 60 modeli (Pukhrem 2013, İnt.Kyn. 2) baz alınmıştır. Sonuçta elde edilen panelde, doğru bir biçimde MSX 60 grafik değerleri gözlenmiştir. Daha sonra elde edilen fotovoltaiik sistemden adaptif ağ tabanlı bulanık mantık metodu ile maksimum güç elde edilmiştir. Bu amaçla oluşturulmuş ve bu çalışmada kullanılmış olan temel sistem özetle; fotovoltaiik panel, maksimum güç noktası takip sistemi, PI kontrolör ve DA-DA yükselten çevirici (Malla 2012, Karthi 2013) birleşenlerinden oluşmaktadır.



Şekil 3.1 Temel maksimum güç noktası takip sistemi blok gösterimi.

Şekil 3.1'de bu çalışmada oluşturulan temel maksimum güç noktası takip sistemi bloklar halinde verilmiştir. Bu çalışmadaki asıl amacın adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım metodu ile maksimum güç noktası takibi olduğu unutulmamalıdır. Ancak kurulan sisteme akü veya batarya gurubu, çıkışta alternatif yükleri beslemek amaçlı DA-AA evirici gibi birleşenler eklenebilir.

Anlatımda öncelikle sistemlerin çalışma mantıkları ve yapıları ayrıntılı olarak sunulmuş daha sonra sistem bileşenlerinin benzetimleri yapılmıştır.

3.1 Güneş Pilleri

Güneş pilleri (fotovoltaik piller), üzerlerine gelen ışık enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çevirebilen yarı iletken bir diyot elemanı gibi çalışırlar. Seri ve paralel bağlanarak çıkış güçlerini birkaç Watt'an, Megawatt seviyelerine artırmak mümkündür. Oluşturulan bu bağlantılar ile sağlam toplu bir yüzey meydana getirilir. Bu yapıya fotovoltaik modül yada güneş pili modülü denir.

Güneş pilleri, çok değişken teknolojilere sahiptirler. Günümüzde farklı maddeler ve pahalı yarı iletkenlerden üretilen PV panellerin en yaygın birkaç tipi aşağıda verilmiştir.

- Tekli Kristal Silikon (Mono-Crystalline Silicon),
- Çoklu Kristal Silikon (Poly-Crystalline Silicon),

- İnce Film (Thin-Film),
- Organik Güneş Pilleri çok yaygın olarak kullanılırlar.

Kristal Silisyum, Amorf Silisyum, Kadmiyum Tellurid (CdTe), Galyum Arsenit (GaAs), Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe₂) gibi üretim maddeleri de PV panel üretiminde sıkça kullanılan maddelerdir.

Güneş pili çeşitlerinden bir kaçını özetle incelenirse;

- Tekli kristal güneş pilleri; atomik yapı bakımından eşit dağılımlıdır. Bu durum verimlilik açısından yüksek kapasiteli olmalarına neden olmaktadır. Ancak bu tip güneş pillerinin üretimi diğer çeşitlere göre daha zor ve zaman alıcı olduğundan pahalıdır. Günümüzde bir çok çalışma mevcuttur. Ancak güneş pili üretiminde silisyum maddesi kullanımının, daha uzun süreler devam edeceği görülmektedir (Partain 1995).
- Ribbon silisyum güneş pilleri; plaka halinde silisyum tabakalardan yapılırlar. Bunun sebebi malzeme kaybının azaltılması ve maliyetin düşürülmesidir. çeşitli üretim teknikleri olan bu güneş pilleri geliştirilme aşamasındadır (Partain 1995).
- Çoklu kristal güneş pilleri; içerisinde birçok tekli kristal bulundurlar ve ribbon silisyum teknolojisi ile oluşturulurlar. Atomik yapı bakımından eşit dağılımlı değildirler. Ayrıca maliyet bakımından tekli kristal güneş pillerinden daha düşüktürler (Partain 1995).
- İnce film güneş pilleri; güneşi soğurma özelliği çok iyi olan maddelerden üretilirler. Yapı bakımından tek kristalli güneş pillerinden oldukça incedirler. Örnek verilirse; Amorf silisyum güneş pillerinde, dalga boyu 0.7 mikron dolaylarındaki kısımda güneş enerjisi, 1 mikron kalınlığındaki amorf silisyum güneş pili ile soğurulurken, kristal silisyumda aynı işlev için yaklaşık 500 mikron kalınlığı gerekmektedir (Partain 1995).

Güneş pillerinin günümüzde ulaştığı maksimum verimlilikler farklı güneş pili yapıları için Çizelge 3.1'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.1 Çeşitli güneş pili yapıları için maksimum verimlilikler (Green vd. 2015).

Güneş Pili Türü	Verimliliği %	Test Merkezi ve Günü
Tek kristalli silisyum	25.6 ± 0.5	AIST (2/2014)
Çok kristalli Silisyum	20.8 ± 0.6	FhG-ISE (11/2014)
Amorf Silisyum	10.2 ± 0.3	AIST(7/2014)
Kadmiyum Tellür	21.0 ± 0.4	Newport (8/2014)
Organik ince film	11.0 ± 0.3	AIST(9/2014)

Bu çalışmada Solarex firmasının çoklu kristal silikon fotovoltaik panel değerleri baz alınmıştır. MSX 60 için üretici firma katalog değerleri Çizelge 3.2'de verilirse;

Çizelge 3.2 MSX 60 üretici katalog değerleri (İnt. Kyn.2).

Maksimum Güç (Pmax)	60W
Maksimum Güçteki Gerilim (Vmp)	17.1V
Maksimum Güçteki Akım (Imp)	3.5A
Garanti Edilen Minimum Güç	58W
Kısa Devre Akımı (Isc)	3.8A
Açık Devre Gerilimi (Voc)	21.1V
Açık Devre Geriliminin Sıcaklık ile Değişimi	$-(80 \pm 10) \text{mV}/^{\circ}\text{C}$
Kısa Devre Akımının Sıcaklık ile Değişimi	$(0.065 \pm 0.015)\% / ^{\circ}\text{C}$
Gücün Sıcaklık ile Değişimi	$-(0.5 \pm 0.05)\% / ^{\circ}\text{C}$
Panel Normal Çalışma Sıcaklığı	$47 \pm 2 ^{\circ}\text{C}$

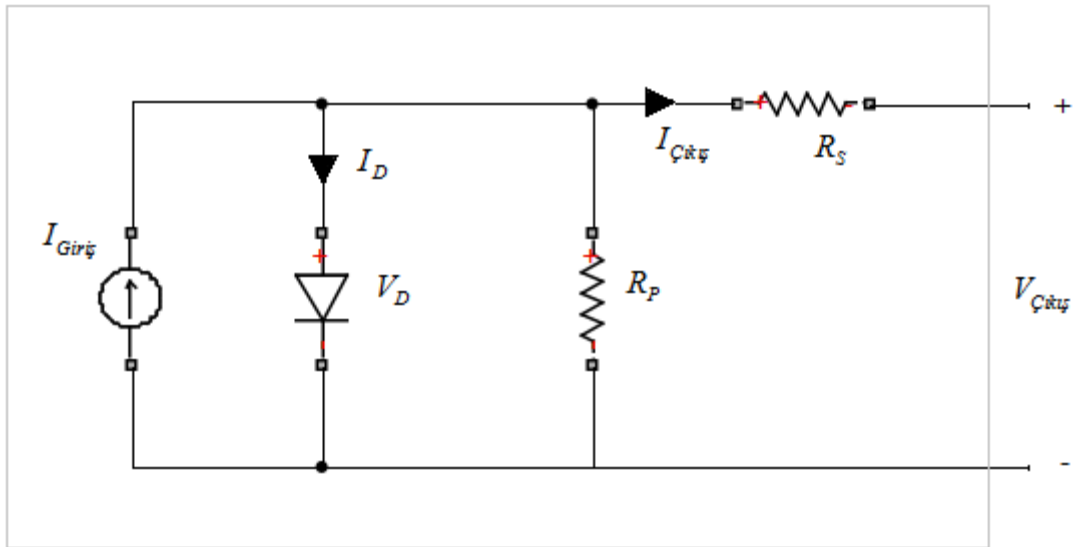
Üretim tekniklerine göre bir çok çeşidi bulunan güneş pillerinin en yaygın olarak kullanılan bir kaç tipi ve bu çalışmada kullanılmış olan güneş pili açıklamaları yukarıda verilmiştir. Güneş pilleri, günümüzde dahi geliştirilmektedir. Böylelikle gelecekte enerji üretimine olan katkılarının da artacağı açıktır.

3.1.1 Fotovoltaik Hücre Elektriksel Modeli

Güneş pilleri, p-n yarı iletkenlerin ince bir katman haline getirilerek birleştirilmesinden meydana gelmektedir. Karanlıkta PV hücre çıkış I - V karakteristiği diyot karakteristiğine çok benzerdir. Işığa maruz kaldığında fotonlar sayesinde elektron hareketi, dolayısı ile akım akışı meydana gelir. PV panel kısa devre edildiğinde bu akım harici yük üzerinden, açık devre halinde bırakıldığında ise bu akım karakteristik p-n bileşimli diyot üzerinden devresini tamamlar (Walker 2001).

Gerçek hayatta güneş pillerinin davranışlarını anlayabilmemiz için elektriksel özelliklerini çok iyi bilmemiz gerekmektedir. Bu sebeple güneş pillerini modellemek için bilinen elemanlardan meydana getirilen bir eşdeğer devre oluşturulmalıdır. Ancak dikkat edilmesi gereken husus güneş pilleri gerçekte ideal yapılar değildir. Bizler ise bu sebepten dolayı kayıpları dirençlerle ifade ederek devreyi idealize modellemiş oluruz.

Tek diyot modelinden oluşan güneş pilleri elektriksel bir devre ile gösterilmek istenirse; Şekil 3.2'de sunulan devrede olduğu üzere bir akım kaynağı, bu akım kaynağına paralel bağlı diyot ve direnç, son olarak bu yapıya seri bir direnç kullanılabilir.



Şekil 3.2 Fotovoltaik güneş hücresi elektriki eş değer devresi (Katan *et al.* 1996).

Fotovoltaik güneş hücresine ait matematiksel modelin incelenmesi;

Elektriksel devreye Kirchoff akım kanunu uygulanırsa;

$$I_{Giriş} - I_D - \frac{V_D}{R_p} - I_{Çıkış} = 0 \quad (3.1)$$

elde edilir.

Diyot karakteristiğinden hareketle diyot akımı denklemi;

$$I_D = I_0 (e^{qV_D/V_T} - 1) \quad (3.2)$$

olarak alınır.

Burada :

I_0 : Ters saturasyon akımı,

q : Elektron yükü,

V_D : Diyot gerilimi,

R_p : Paralel direnç,

R_s : Seri direnç,

V_T : Terminal gerilimdir.

Kirchoff gerilimler yasası ile hücrenin çıkış gerilimi elde edilirse;

$$V_{Çıkış} = V_D - R_s I_{Çıkış} \quad (3.3)$$

denklemini elde edilir.

Fotovoltaik panelin çıkış akımını açıklayan denklem ise;

$$I_{Çıkış} = I_{Giriş} - I_0 \left(e^{\frac{q(V_{Çıkış} + I_{Çıkış} R_S)}{A.k.T}} - 1 \right) - \frac{V_{Çıkış} + I_{Çıkış} R_S}{R_p} \quad (3.4)$$

olarak bulunur.

Burada :

A : Üretici dizayn katsayısı,

k : Boltzmann sabiti,

T : Jonksiyon sıcaklığıdır.

Denklem (3.4)'te bulunan R_p oldukça büyük olduğundan çıkışa etkisi ihmal edilebilecek kadar azdır ve ihmal edilebilir. (Duffie and Beckman 1991)

Böylelikle denklem;

$$I_{Çıkış} = I_{Giriş} - I_D = I_{Giriş} - I_0 \left[e^{\frac{q(V + I_{Çıkış} R_S)}{A.k.T}} - 1 \right] \quad (3.5)$$

olur.

Denklem (3.5) sadece tek bir hücre için geçerlidir. Bilindiği üzere N adet hücrenin seri birleşimi ile modül yapısı oluşmaktadır. Buradan hareketle modül yapısı için;

$$I_{Çıkış} = I_{Giriş} - I_D = I_{Giriş} - I_0 \left[e^{\frac{q(\frac{V_{Çıkış}}{N} + I_{Çıkış} R_S)}{A.k.T}} - 1 \right] \quad (3.6)$$

ifadesi kullanılır.

Sunulan matematiksel denklemlerde, ($I_{Giriş}$) ışık akımını, (I_0) diyot saturasyon akımını, (R_s) seri direnci, A üretici dizayn katsayısını belirtmektedir. Bu değerler bilinmemekle beraber üretici kataloglarından veya bazı deneyler ile bulunabilir. Deneyler sonucu veya üretici kataloglarından sağlanan (V_{OC}) açık devre gerilimi, (I_{SC}) kısa devre akımı I_{MAX} ve V_{MAX} değerlerinden hareketle, sunulan matematiksel denklemlerdeki değerler bulunmak istenirse aşağıda belirtilen yöntemler izlenebilir.

Eğer güneş pili uçları kısa devre edilirse diyot akımı da ihmal edilecek kadar küçük olur. Dolayısıyla ölçülen akım kısa devre akımıdır.

$$I_{Giriş} = I_{SC} \quad (3.7)$$

Eğer modül uçları açık bırakılırsa herhangi bir akım çekilmeyeceğinden çıkış akımı sıfır olur. Bu durumda ise ölçülen gerilim açık devre gerilimidir.

$$V_{Çıkış} = V_{OC} \quad (3.8)$$

Bu bilgiler ışığında diyot saturasyon akımı için, Denklem (3.6) düzenlenirse;

$$I_0 = \frac{I_{Giriş}}{\left[e^{\frac{q \cdot V_{OC}}{A \cdot K \cdot T}} - 1 \right]} \quad (3.9)$$

olarak bulunur.

Güneş paneli seri direnci R_s değerini bulmak amacıyla Denklem (3.6)'ya maksimum güç noktası gerilimi (V_{MAX}) ve akımı (I_{MAX}) değerlerini yerleştirerek denklem tekrar düzenlenirse;

$$R_s = \frac{\frac{N.A.K.T}{q} \ln \left(1 + \frac{I_{Giriş} - I_{MAX}}{I_0} \right) - V_{MAX}}{I_{MAX}} \quad (3.10)$$

ifadesi elde edilir.

Denklem (3.10)'a dikkat edilirse üretici dizayn katsayısı (A) değeri de bilinmemektedir. Bu eşitliğin çözümü için ise bir denklem daha elde edilmelidir. Bu durum için maksimum güç noktasında oluşan güç değerinin gerilime göre türevi alındığında sonucun sıfır çıkması eşitliği kullanılabilir. Ancak nedensel bir sistemde, sonucun pozitif çıkması beklenirken bu denklem sonucu negatif değerler de doğurabilmektedir (Duffie and Beckman 1991). Bu sebeplerden dolayı üretici dizayn katsayısı için bazı değerler kişisel (değer verme yöntemi) olarak seçilmiş ve R_s değeri bulunmuştur. Hazırlanan simülasyon ortamında, sonuçlardan hareketle oluşan maksimum güç noktası ve gerçek maksimum güç noktası karşılaştırılmış en doğru sonuca kolaylıkla ulaşılmıştır. (Boztepe 2002)

Modül gücü ;

$$P = I.V \quad (3.11)$$

denklemini ile bulunur.

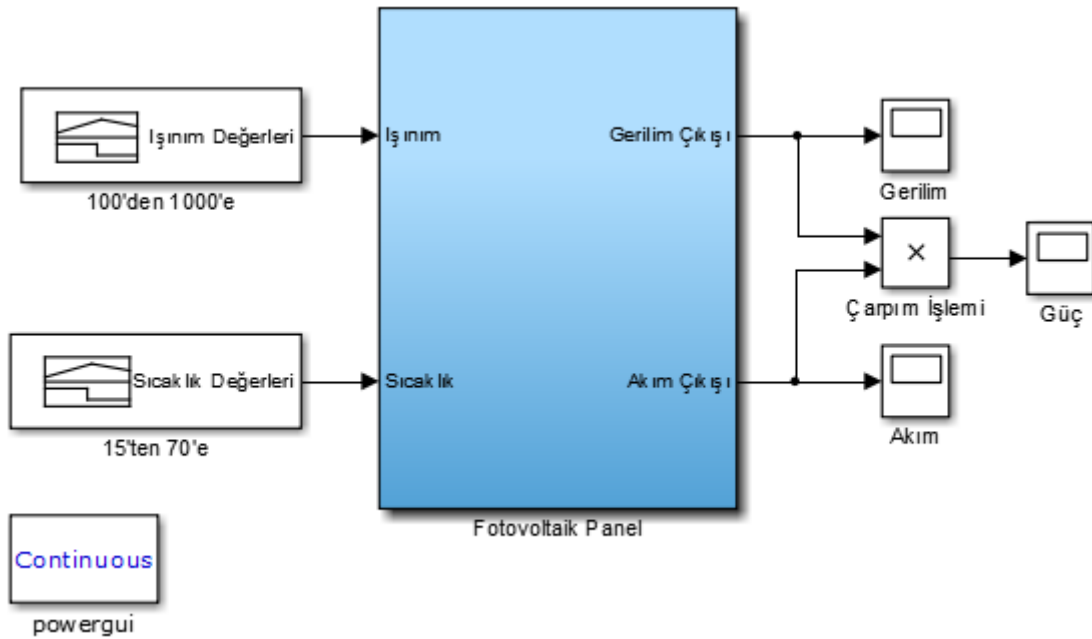
Güneş pili gücünün akıma göre türevi alınır ve denklem sıfıra eşitlenirse;

$$\frac{dP}{dI} = \frac{N.A.K.T}{q} \left[\ln \left(1 + \frac{I_{Giriş} - I_{çıkış}}{I_0} \right) - \frac{I_{çıkış}}{I_{Giriş} - I_{çıkış}} \right] - 2I_{çıkış} R = 0 \quad (3.12)$$

olarak denklem elde edilir.

Denklem (3.12)'de çözümden elde edilen sonuç ($I_{çıkış}$) güneş panelinin maksimum güç

noktasındaki akımıdır. Farklı denklemler ile de aynı akım ve gerilim değerlerine ulaşılabilir. Ancak oluşturulacak panel açısından yukarıda verilen bilgiler yeterli görülmektedir. Böylece baz alınan ışıınım ve sıcaklık değerleri için güneş pili elektriksel eşdeğeri matematiksel olarak sağlanmıştır. Fotovoltaik panellerin çıkışları; ışıınım, üretim tekniği, sıcaklık, ve çıkışında beslediği yüklerin etkisiyle değişir. Bu değerlerin değişimleri ile fotovoltaik panelin çıkış karakteristiği de tamamen değişmektedir. Baz alınan ışıınım ve sıcaklık değerlerine göre fotovoltaik panel değerleri değişeceğinden, yukarıda bahsedilen eşitlikler her bir ışıınım ve sıcaklık farkı için tekrar hesaplanmalıdır (Boztepe 2002). Bu sebepten dolayı fotovoltaik panel benzetim ortamında bir kere oluşturulmuş ve değişken ışıınım ve sıcaklık değerleri için çıkışta farklı akım ve gerilim değerleri gözlenmiştir. Sonuç olarak Şekil 3.3'te sunulan fotovoltaik panel MATLAB/Simulink ortamında elde edilmiştir (Pukhrem 2013).



Şekil 3.3 Fotovoltaik panel (Pukhrem 2013) sisteminin MATLAB/Simulink ortamında blok diyagramı.

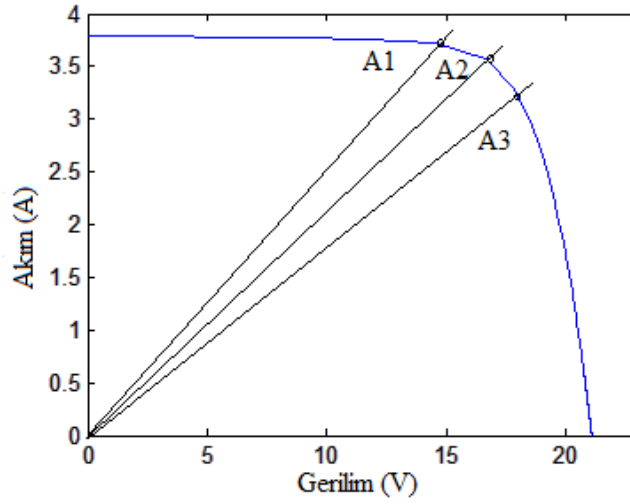
3.2 Maksimum Güç Noktası Takip Algoritmalarının İncelenmesi

Güneş, dünya açısından çok önemli ve sonsuz sayılabilecek bir kaynaktır. Petrol, doğal gaz, vb. yeraltı kaynakları ise bahsedildiği üzere hem zararlı hem de sonlu kaynaklardır. Bu sebeplerden dolayı, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artmıştır. Fotovoltaik

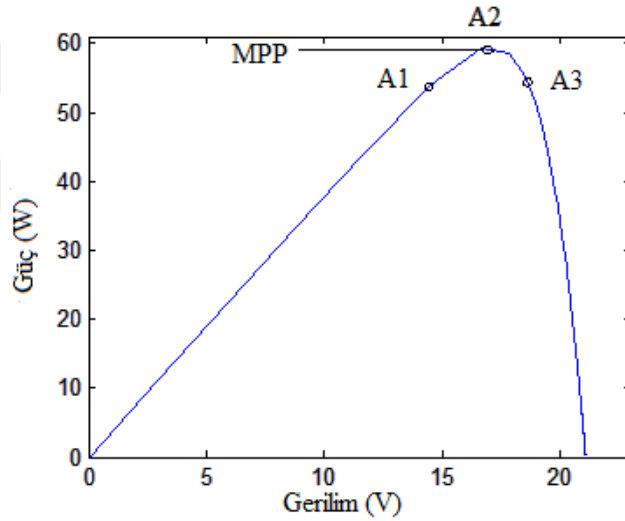
panellerden doğrudan elektrik elde etmek mümkündür. Ancak bu sistemlerin iki tane önemli sorunu vardır. Bunlardan birincisi, fotovoltaik panellerin elektrik çevirim verimlerinin düşük olması (özellikle düşük ışıyım değerleri altında %17'den daha az) diğeri ise, fotovoltaik panellerden elde edilen gücün farklı hava şartlarında sürekli değişken olmasıdır (Berrera *et al.* 2009).

Günümüzde elektrik çevrim verimleri düşük olan fotovoltaik sistemlerde, başka kayıpları en aza indirmek amacı ile değişik teknikler uygulanmaktadır. Bunlardan en önemlisi maksimum güç noktası takip sistemleridir. Maksimum güç noktası takip sistemleri, fotovoltaik panel ile alıcı veya akü gurubu arasında olan sistemlerdir. Bu sistem içerisinde kontrol yapısı, DA-DA çevirici ve yükün durumuna bağlı olarak DA-AA eviricinin bulunabildiği bütünsel ünitedir. Maksimum güç noktası takip sistemi panelin üretebileceği maksimum gücü bulur ve bu gücü sisteme aktarır.

PV sistemlerde maksimum güç sadece tek noktadan alınabilir. Şekil 3.4 'te güneş pilinin I-V eğrisi üzerinde 3 farklı çalışma noktası görülmektedir. Aynı çalışma noktaları şekil 3.5 'te güneş pili P-V eğrisinde de gösterilmektedir. Şekil 3.4 ve Şekil 3.5 'te maksimum güç noktası (MPP) A2'dir. Maksimum güç noktası takibinin amacı ise A2 noktasını bulmaktır. Maksimum güç noktası takibi üzerine birçok yöntem vardır. Tez kapsamı içerisinde bu metotlardan yaygın kullanılan iki tanesi sunulmuştur. Ayrıca çalışma içerisinde yer alan tüm fotovoltaik panel karakteristik eğrileri için, tez kapsamında kullanılan fotovoltaik panel (Pukhrem 2013) benzetim sonuçlarından anlatım yapılmıştır.

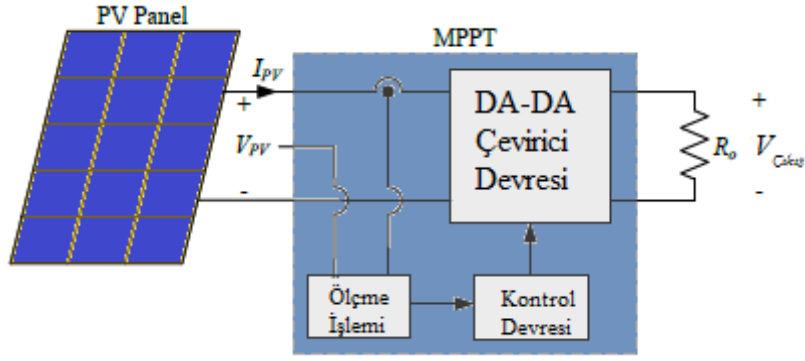


Şekil 3.4 Fotovoltaik pil I-V eğrisi üzerindeki çalışma bölgeleri ve MPP.



Şekil 3.5 Fotovoltaik pil P-V eğrisi üzerindeki çalışma bölgeleri ve MPP.

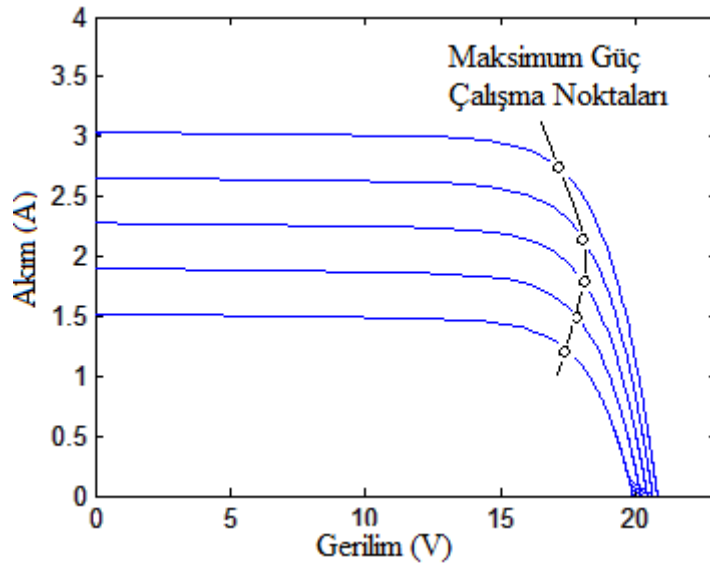
Fotovoltaik sistemlerden maksimum verim elde etmek için olmazsa olmaz olan MPPT sistemini temel olarak görselleştirirsek; temel bir MPPT sistemi DA-DA çevirici, ölçüm ünitesi ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Şekil 3.6 'da temel olarak bir MPPT blok şeması verilmiştir. Kısaca maliyetlerine de değinilirse; güneş panelleri yaklaşık toplam maliyetin %57'si, sistemde batarya bulundurulur ise yaklaşık %30'u, MPPT ve dönüştürücü ise %7 'lik kısma tekabül etmektedir.



Şekil 3.6 Temel olarak maksimum güç noktası takibi sistemi blok şeması.

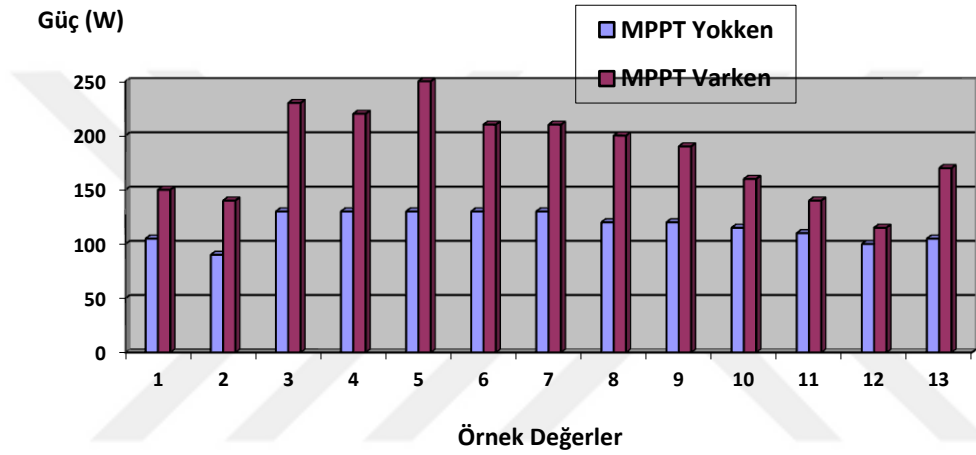
Maksimum güç noktası takip sisteminin işlevi, fotovoltaiik panelden kendi kapasitesi ve üzerine düşen ışı nım seviyesi doğrultusunda maksimum güç elde etmektir. Ardından, elde edilen bu gücü yüke veya depolama merkezlerine göndermektir.

MPPT sistemleri güneş panellerinin sürekli maksimum güç noktasında veya bu noktaya yakın bir noktada çalışmasını sağlamaktadır. Bu sistemler farklı donanım ve yazılım bileşenlerine sahip olabilirler. Maksimum güç takip ediciler birbirlerine benzer gözükme lerine rağmen, yazılımsal olarak bir hayli farklı algoritmalara sahiptirler.



Şekil 3.7 MPPT sisteminin farklı ışı nım seviyelerinde çalışması.

Şekil 3.7'de MPPT sisteminin farklı ışınlam seviyelerinde çalıştırılması ve her bir ışınlam seviyesi için oluşan maksimum güç noktaları sunulmuştur. MPPT maliyeti az olmasına rağmen PV sistemlerde çok büyük öneme sahiptir. Çünkü fotovoltaik panelin verimli kullanılmasını sağlayan en önemli yapı kuşkusuz MPPT 'dir. Güneş hücre maliyetlerinin fazla, verimlerinin düşük olmalarından dolayı PV panellerde maksimum noktada işlem yapmak son derece önemlidir. Bir maksimum güç izleyicisi, güneş panelinin çıkış gücünü %45 artırabilmektedir (Enslin *et al.* 1997). Değişik hava şartları altında gerçekleştirilen deneylerden elde edilmiş değişik 13 adet sonuç Şekil 3.8'de grafiksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.8 MPPT bulunduran ve bulundurmeyan sistem karşılaştırması (Santos *et al.* 2006).

3.2.1 Maksimum Güç Noktası Takip Metotları

Günümüzde maksimum güç noktası takip sistemleri için birçok algoritma geliştirilmiştir. Literatür incelendiğinde ise dolaylı denetim ve direkt denetim adı altında iki grupta incelendikleri görülmektedir (Santos *et al.* 2006).

3.2.1.1 Dolaylı Denetim Metotları

Dolaylı denetim metotları literatürde kısmi veya sözlü arama olarak da geçmektedir. Bu yöntemde fotovoltaik panel karakteristiğine bağlı olarak tablolar oluşturulur. Bu tablolarda birçok değer söz konusudur. Genellikle modül açık devre gerilimi, modül kısa devre akımı, ışınlam şiddeti, modül sıcaklığı gibi değerler doğrudan yada

matematiksel eşitlikler yardımı ile oluşturulur. MPPT noktasını tahmin etmeye dayalı bir yöntemdir. Ancak bu yöntemle yaklaşık olarak maksimum güç noktası bulunur.

Elde edilen veriler, belirli paneller için elde edildiğinden farklı panellerde tam olarak maksimum noktayı bulmayacaktır. Dahası belirli hava koşullarında yapılan deneyler değişken hava koşullarına adapte olmayacaktır. Sonuçta maksimum nokta tam olarak yakalanmamış olacaktır.

Dolaylı denetim metotları sınıflara ayrılırsa;

1. Eğri uydurma metodu,
2. Taramalı tablo metodu,
3. PV açık devre gerilim metodu,
4. PV kısa devre metodu,
5. PV test hücreli açık devre gerilim metodu (Salas *et al.* 2006).

3.2.1.2 Direkt Denetim Metotları

Direkt denetim metotlarında ölçümler esastır. Yani sistem maksimum noktası tahmin edilmez, bunun yerine ölçülerek bulunur. Bu metotta panel hakkında herhangi bir ön bilgiye gerek yoktur. Farklı ışınım ve sıcaklık değerlerine de adapte olacak yapıdadırlar.

Direkt denetim metotları sınıflara ayrılırsa;

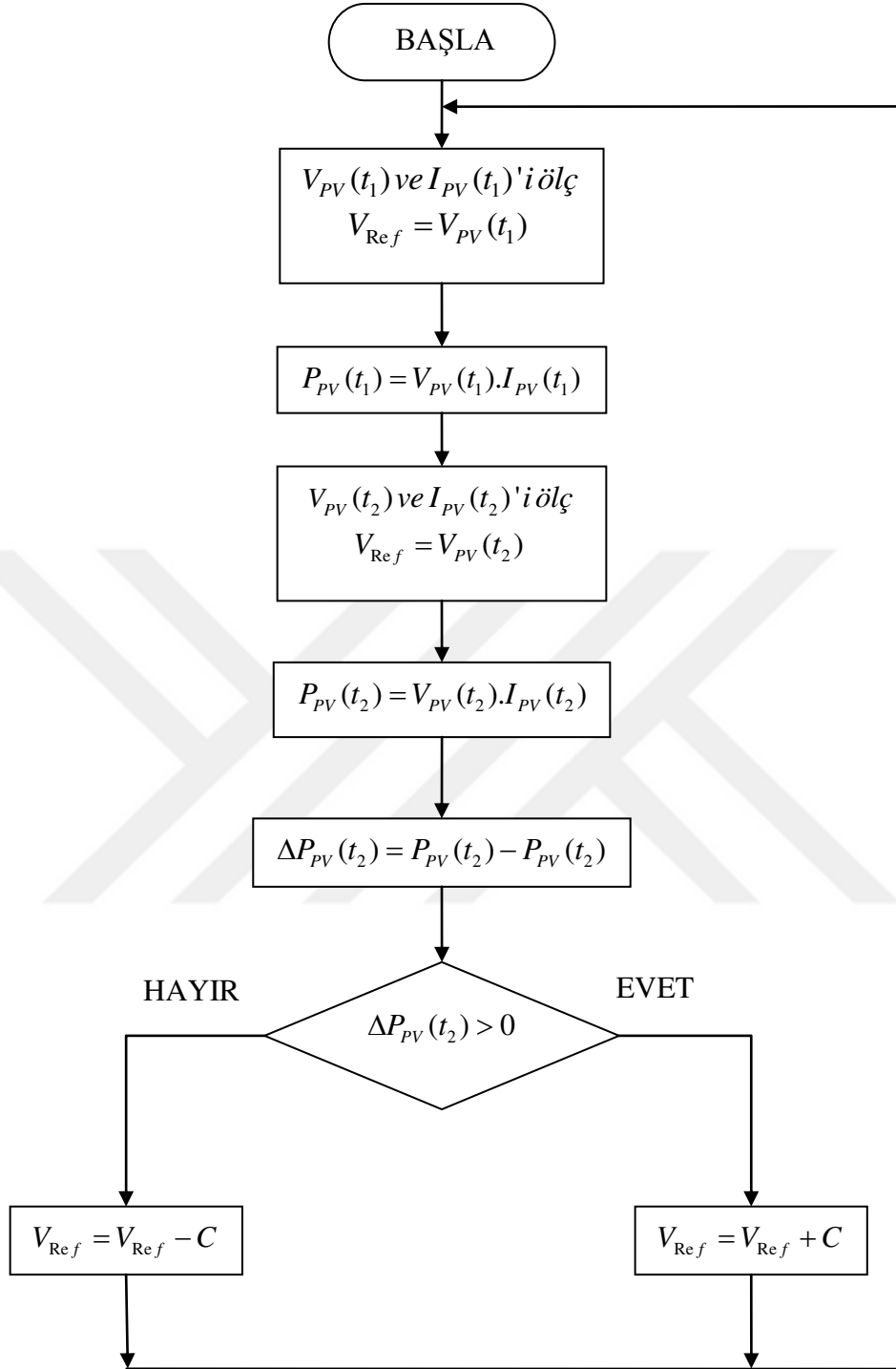
1. Ayırt etme metodu,
2. Gerilim geri besleme metodu,
3. Değiştir ve gözlemle metodu (P&G),
4. Artan iletkenlik metodu (Incremental Conductance (IC) Method),
5. Parazitik kapasite metodu,

6. Sadece akım fotovoltaiik metodu,
7. Bulanık mantık metodu,
8. Zorlamalı salınım metodu,
9. Sinirsel ağlar metodu (Salas *et al.* 2006).

3.2.1.3 Değiştir ve Gözle Metodu (D&G)

Bu kısımda değiştir ve gözle metodu çalışma mantığı, algoritma yapısı, avantaj ve dezavantajları ile anlatılmıştır. Daha sonra ANFIS yapısı ile karşılaştırmak üzere değiştir ve gözle metodu ile oluşturulan iki ayrı sistem MATLAB/Simulink ortamında MPPT sistemine uyarlanmıştır.

Özetle metodun çalışmasına değinilirse; değiştir ve gözle metodu sitem gerilim ve akım değerlerini ölçer. Öltüğü bu değerleri kendi algoritmasında bir dizi işleme tabi tutar. Daha açık bir şekilde anlatılırsa; metotta fotovoltaiik sistemin karakteristiği ölçülür. Maksimum güç noktasını yakalamak amaçlı sistem belirlenen bir değer doğrultusunda değiştirilir. Maksimum güce ulaşınca $\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = 0$ olacaktır (Liu *et al.* 2004, ESRAM and Chapman 2007). Bu yöntemle ait basit veya karmaşık birçok algoritma ve akış şeması bulunmaktadır. Örnek olarak basit bir algoritma akış şeması Şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9 Değiştir ve Gözle metodu akış şeması (Salas *et al.* 2006).

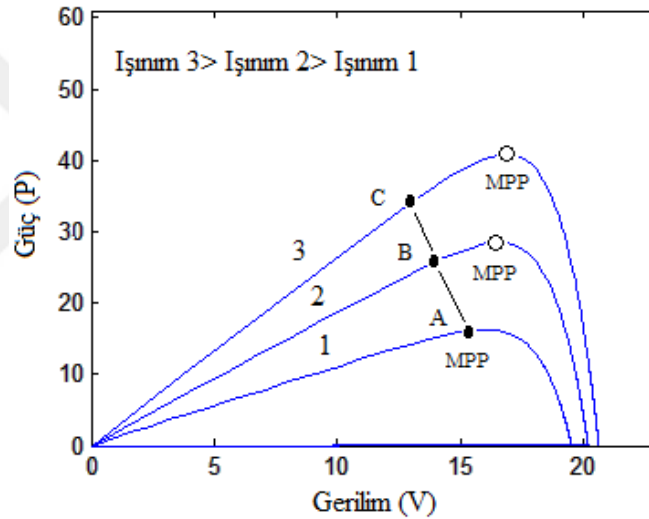
Değiştir ve gözle metodunda PV modül geriliminin bir miktar artırılmasının ardından PV sistemin gücü ölçülür. Önceki güç ölçümü ile karşılaştırması yapılır. Şayet değişim pozitif olursa PV sistemin gerilimi aynı yönde artırılmaya devam edilir. Ancak değişim negatif olursa sistemimizin maksimum güç noktasından uzaklaşmakta olduğunu anlarız.

Böylelikle gerilimdeki bu değişmelerin yönleri farklılaştırılır ve maksimum güç noktası bulunmuş olur. Bu olay Çizelge 3,3'te özet şekilde verilmiştir.

Çizelge 3.3 Değiştir ve gözle metodu (D&G) MPP bulma süreci işlemi (Durusu 2011).

$\Delta P_{PANEL} < 0$	$V_{PV} > V_{MPP}$	V_{PV} 'yi azalt
$\Delta P_{PANEL} > 0$	$V_{PV} < V_{MPP}$	V_{PV} 'yi artır

Bu metodun problemlerinden biri çok hızlı artan ışınlam değerleridir. Hızlı artan ışınlam değerlerinde gerçek maksimum nokta tam olarak bulunmamaktadır (Hussein *et al.* 1995). Bu olay şekil 3.10'da sunulmuştur.



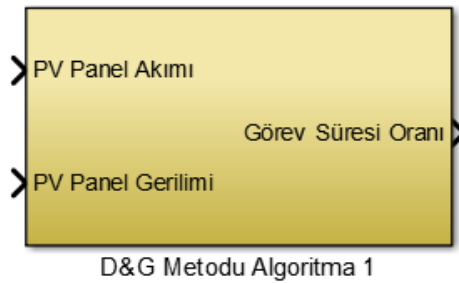
Şekil 3.10 Değişen ışınlam değerlerine karşılık, D&G algoritmasının MPP 'den sapması.

Şekil 3.10'da bu çalışmada kullanılan güneş paneli 300 W/m² (Işınım 1), 500 W/m² (Işınım 2) ve 700 W/m² (Işınım 3) değerlerinde çalıştırılmıştır. Işınım 1 seviyesinde sistem yaklaşık A noktasındadır. Yaklaşık denilmekte çünkü, değiştir ve gözle metodu algoritması gereği sürekli salınımlıdır. Sistem aniden ışınlam 2 seviyesine getirilirse, güçteki artma D&G algoritmasında olumlu olarak algılanır. Bu olay sonrasında işlem aralığını B noktasına taşır. B noktasına dikkat edilirse maksimum güç noktasında değildir. Eğer 2 noktasından 3 noktasına olacak şekilde ışınlam tekrar artırılırsa, pozitif olan güçte tekrar pozitif yönde artış olur. Bu olay sonucu ise sistem yeni işlem aralığını

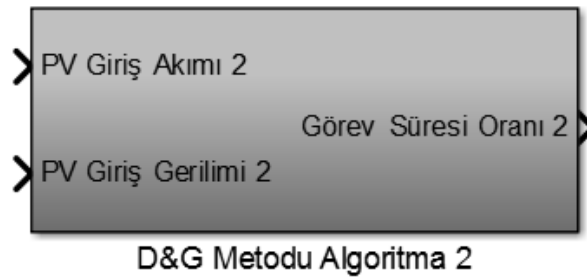
C noktasına taşır. Sonuçta, ışıınımdaki artışla birlikte güçteki artışın çalışma noktasında yapılan küçük değişimlerden (sarsma) kaynaklandığı algısıyla, çalışma noktası maksimum noktadan uzaklaşmıştır. Bu süreç, ışıınımdaki artış azalana ya da durana kadar devam eden bir süreçtir (Hussein *et al.* 1995).

Bu metot özetle incelenirse; PV panel hakkında bir ön bilgi ihtiyacı yoktur. Ekonomik bir metottur. Algoritması geliştirilebilir gibi avantajları mevcuttur. Ancak sistem algoritması gereği sürekli salınımlı olması azda olsa güç kaybı meydana getirmektedir. Ani değişen hava koşulları için ise pek uygun değildir (Liu *at al.* 2004, Femia *et al.* 2005).

Değiştir ve gözle metodu birçok farklı şekillerde oluşturulabilir. Yukarıda verilen bilgiler ve algoritma benzeri 2 adet değiştir ve gözle metodu sistemi MATLAB/Mathworks'ten sağlanmış ve bu çalışma için uyarlanmış. Sonuçta oluşturulan farklı algoritmalarındaki sistemler, bulgular bölümünde bu çalışmada oluşturulan ANFIS metodu ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.11 Değiştir ve Gözle metodu için uyarlanan birinci blok sistemi (Aubai 2013).

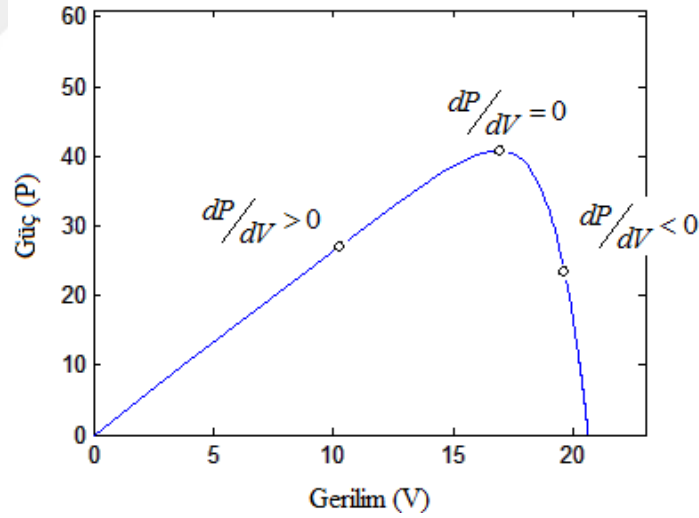


Şekil 3.12 Değiştir ve Gözle metodu için uyarlanan ikinci blok sistemi (Malla 2012).

Şekil 3.11 ve Şekil 3.12 'de verilen blok sistemleri bulgular kısmında bu çalışmada oluşturulan sisteme uyarlanmıştır. Uyarlanan MPPT sistemleri ise bu çalışmada meydana getirilen MPPT sistemi ile kıyaslama amaçlı kullanılmıştır. Ayrıca (İnt.Kyn.1) den hazır olarak elde edildiğinden bu tez çalışması içinde alt sistemleri detaylandırılmamıştır.

3.2.1.4 Artan İletkenlik Metodu (Incremental Conductance (IC) Method)

Artan iletkenlik metodu (IC) fotovoltaiik panel gücünün, fotovoltaiik gerilimine göre türevinin sıfır olduğu olgusundan yola çıkarak maksimum güç noktası takibi yapan bir yöntemdir. Şekil 3.13'te panel gücünün panel gerilimine göre değişimi görülmektedir. Grafiğe göre PV panelin güç eğrisi eğiminin sıfır olduğu kısım maksimum güç noktasıdır. Pozitif olduğu kısım maksimum güç noktasının solu ve negatif olduğu kısım maksimum güç noktasının sağı olarak belirlenir (Hussein *et al.* 1995, ESRAM and Chapman 2007).



Şekil 3.13 Fotovoltaiik panel güç eğrisi.

Çizelge 3.4 Artan iletkenlik metodu (IC) MPP bulma süreci işlemi (Hussein vd. 1995).

$\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} > 0$	$V_{pv} < V_{MGN}$	V_{pv} 'yi artır
$\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} = 0$	$V_{pv} = V_{MGN}$	V_{pv} aynı değerinde kalsın
$\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} < 0$	$V_{pv} > V_{MGN}$	V_{pv} 'yi azalt

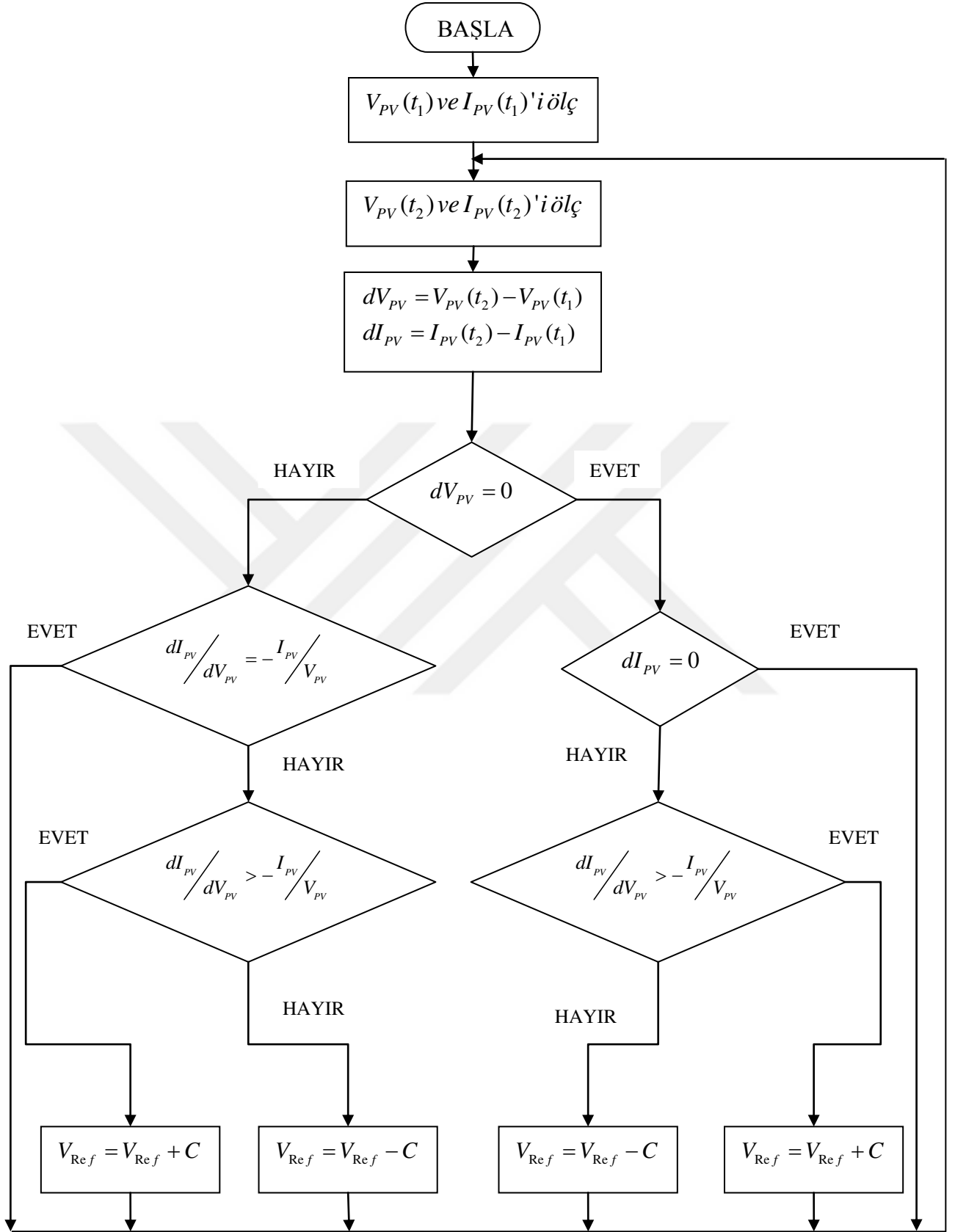
Çizelge 3.4'te artan iletkenlik metodunda MPP bulma süreci özet şekilde sunulmuştur. Ölçüm sonucunda $V_{pv} < V_{MGN}$ olursa; sistem, gerilimin maksimum güç noktasının solunda olduğuna kanaat getirir ve V_{pv} 'yi artırma eğilimine gider. Ölçüm sonucu $V_{pv} > V_{MGN}$ olursa; sistem, gerilimin maksimum güç noktasının sağında olduğuna kanaat getirir ve V_{pv} 'yi azaltma eğilimine gider. $V_{pv} = V_{MGN}$ olduğu durumda ise; V_{pv} 'nin maksimum güç noktasında olduğu kanaatine varılır.

Fotovoltaik gücün, gerilime göre türevi alınır ve sonuç sıfıra eşitlenirse iletkenlik denklemi elde edilmiş olur.

$$\frac{dP_{pv}}{dV_{pv}} = I_{pv} \frac{dV_{pv}}{dV_{pv}} + V_{pv} \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} = I_{pv} + V_{pv} \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} = 0 \quad (3.13)$$

$$-\frac{I_{pv}}{V_{pv}} = \frac{dI_{pv}}{dV_{pv}} \quad (3.14)$$

Şekil 3.14'te artan iletkenlik metodunda maksimum güç noktası bulma sürecine yönelik örnek bir akış şeması verilirse;



Şekil 3.14 Artan iletkenlik metodu (IC) akış şeması (Salas at al. 2006).

Bu metodun değişken hava koşulları altında verimliliği yüksektir. Ayrıca maksimum güç noktası bulunduktan sonra oluşan osilasyonlar değiştir ve gözle sisteminden daha azdır. Ancak artan iletkenlik metodu, değiştir ve gözle metodundan biraz daha pahalı ve karmaşık yapılıdır. Verimleri ise açık havada yaklaşık olarak aynıdır. (Hohm and Ropp 2002)

3.3 Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (ANFIS)

Bu kısımda ANFIS yapısı incelenmiştir. Ayrıca sistemin mimarisi, hangi teknikler ile çıkış ürettiği, çalışma içerisinde nasıl modellendiği ve çalışma mantığı tartışılmıştır.

Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi İngilizceden dilimize çevrilmiş ve adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS), kelimelerinin birleşimlerinden oluşmaktadır. İlk olarak 1993 yılında Jang tarafından bulunmuştur (Jang 1993) . ANFIS bir problem karşısında oluşturulan model için, muhtemel kuralları meydana getirebilen bir sistemdir. Bu sistemin oluşturulma amacı yapay sinir ağları ve bulanık mantık sistemlerinin birleştirilmesi fikridir. Yapay sinir ağ mimarisi tüm kullanıcıların algılayacağı kadar basit olmamak ile birlikte kişisel değerler içermez. Ancak birden çok hesap işlemi yapabilme ve öğrenebilme yetilerine sahiptir (Hocaoğlu 2005). Bulanık mantık mimarisi ise öğrenme yetisinden yoksundur. Ancak bir problem karşısında katı ve karmaşık sayısal eşitlikler yerine insan beyninin muhakeme becerisini kullanabilmektedir. Ayrıca sistem içerisinde bulunan sayısal ifadelerin de öznel olarak sözel değerler ile işletilebilmesini sağlamaktadır.

Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi adeta bulanık mantık ve yapay sinir ağları sistemlerinin birleşimlerinden meydana gelmektedir. ANFIS'in çalışma yapısı ve katman işlevlerinin tam olarak algılanabilmesi için birleştirilen mimariler özetle anlatılmıştır. Ardından ANFIS mimarisi katmanlar şeklinde açıklamalı olarak incelenmiştir (Jang 1993, Hocaoğlu 2005). Böylelikle mimari içinde geçen terimlerin anlamlandırılması ve sistem mimarisinin daha iyi anlaşılacağı düşünülmektedir.

3.3.1 Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları 1949 yılında Donald Hebb tarafından meydana getirilmiştir. Nörolog olan Hebb beynin nasıl öğrendiğini ve mimarisini incelemekteydi. Daha sonra iki sinir hücresinin birbiri ile ilişkisini değerlendiren Hebb, sinir ağı teorisini oluşturmuştur. Ancak bu oluşturulan düşünce günümüzde dahi teoride olup tek gerçek olarak kabul edilememektedir. Çünkü teori tam olarak sırları çözülememiş işleyişi bulunan beynin tamamıyla kanıtlanmış bir olgusu değildir. Ancak belirtmekte fayda var ki günümüzde %99 seviyelerinde sinirsel davranışları gösterebilen yapay sinir ağı modelleri bulunmaktadır.

Yapay sinir ağları; insan beyninin katmanlı ve paralel sinir hücrelerinden meydana gelen yapısının, tüm fonksiyonlarını içeren ve bu fonksiyonları sayısal ortamda sağlamaya çalışan bir modelidir (Elmas 2003). Bu konuda derin bilgi sahibi olmak için biyolojik sinir hücre mimarisi incelenebilir. Ancak konu bütünlüğü açısından yapay sinir ağlarında bu çalışmayı ilgilendiren öğrenme kısımları özetle irdelenmiştir. Bu bağlamda ihtiyaç olan ek bilgiler için literatür incelenebilir (Demir 1997, Civelek 1999, Fırat ve Güngör 2004, Tepecik 2008).

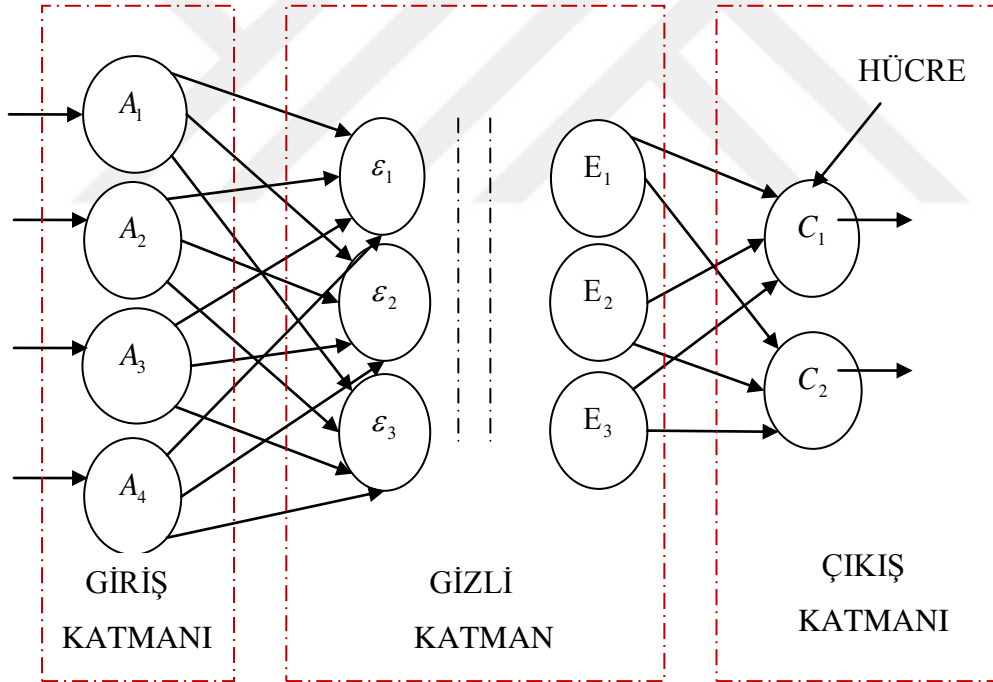
Özetle, biyolojik hücre yapısında dendrit, soma, akson, ve sinapsis bileşenleri bulunmaktadır. Yapılan çalışmalar neticesinde öğrenmenin sinapsislerde gerçekleştiği teorisi ortaya atılmıştır. Bu sebeple günümüz yapay sinir ağlarında öğrenme sinapsislerde gerçekleşmektedir. Yapay sinir hücre mimarisi ise; Sistem girdiler, ağırlıklar, birleştirme fonksiyonu (Toplama fonksiyonu), aktivasyon fonksiyonu ve çıktılardan oluşmaktadır. Yapay sinir hücrelerinin birbirlerine bağlanmaları ile oluşturdukları yapıya ise yapay sinir ağları denilmektedir. Yapay sinir ağlarında farklı öğrenme algoritmaları bulunmaktadır. Bunlar danışmalı, danışmasız ve destekleyici öğrenme modelleridir. (Bressloff and Weir 1991, Arslan ve İnce 1996)

Yapılarına göre yapay sinir ağları farklı şekilde isimlendirilirler (Arslan ve İnce 1996, Efe ve Kaynak 2000). Açıklanırsa;

İleri beslemeli ağ yapıları; Bu ağ yapılarında nöronlar (beyni oluşturan biyolojik üniteler) girişten çıkışa dizilimli olarak bulundurulurlar. Sisteme gelen giriş verileri sırası ile giriş katmanı, ara (gizli) katmanlar ve çıkış katmanlarına ulaşarak gerçek dünyaya aktarılırlar.

Geri beslemeli ağ yapıları; Bu ağ yapısında ise bir hücrenin çıktısı sadece kendinden sonraki katmana aktarılmaz. Bir önceki veya kendi katmanlarına çıkış verebilen ağ yapılarıdır. Dolayısı ile geri beslemeli ağ yapıları doğrusal olmayan dinamik bir karakteristik sergilemektedir.

Temel olarak yapay sinir ağları 3 ana katmandan meydana gelmektedirler. Giriş katmanı, ara (gizli) katmanlar ve çıkış katmanı.



Şekil 3.15 Yapay sinir ağ mimarisi (Dayhoff and Deleo 2001, Zhao *et al.* 2007).

Şekil 3.15'te temel olarak yapay sinir ağları mimarisi sunulmuştur. Yapay sinir ağlarının öğrenme konusu irdelenirse; insan doğumundan sonra birçok öğrenme gerçekleştirmektedir. Bu öğrenmeler ile beyinde şablonlar, durum şemaları

oluşturmakta ve tecrübeler edinmektedir. Böylelikle oluşan bir etki karşısında mümkün en doğru tepki, geçmiş tecrübeler ve gözlem sonuçları ile verilmektedir. Yapay sinir ağlarında da bir öğrenme gerçekleşmesi için, gerçek sisteme ait çıkış örneklerinin bilinmesi gerekmektedir. Böylelikle verilen örnekler ayrı ayrı gösterilerek ağın öğrenmesi sağlanır. Yapay sinir ağları öğrenmeyi gerçekleştirdikten sonra ise test için toplanmış gerçek veriler ile ağ performansı değerlendirilir. Ağ çıktısı ve gerçek çıktı arasında bulunan fark değeri ise hata olarak değerlendirilir.

Yapay sinir ağlarının öğrenme süreci;

İlk olarak örnek ve test verileri gerçek sistemden toplanır. Örnek değerler yapay sinir ağ sistemine giriş yapılabilmesi için hazır konuma getirilir. Daha sonra ağın topolojik yapısı belirlenir. Yani kaç tane girdi birimi, ara katman işlem süreç elemanı, ara katman çıkışı olduğu belirlenerek ağın topolojik yapısı belirlenir. Ağın öğrenme katsayısı, işlem süreç elemanlarının aktivasyon ve toplama fonksiyonları, momentum katsayısı öğrenme parametrelerinin belirlenmesi için kullanılır. Momentum katsayısı ileri beslemeli yapay sinir ağlarında ağ yerel sonuçlarının takılıp kalmaması için oluşturulan katsayıdır. Ardından ağırlıklar ve katsayılar belirlenir. Bu kısım işlem süreç birimlerini birbirine bağlayan ağırlık değerleri ve eşik değerlerinin belirlendiği kısımdır. Daha sonra ilk adımda toplanmış örnek veriler ağ sistemine aktarılır. Ağ, öğrenme kuralına göre ve örnekler sayesinde ağırlıkların değiştirilmesi sürecine girer. Bu süreç sonunda yapay sinir ağlarının, sunulan girdiler için çıktı değerlerini belirlemesi beklenmektedir. İlk adımda gerçek sistemden toplanan test verileri ile de ağın oluşturduğu çıktılar karşılaştırılır. Böylelikle belirli bir hata değerine ulaşılır. Bu kısımdan sonra hatanın istenilen değerde minimize edilebilmesi için çalışmalar yapılır. Yapılan çalışmalarda ağırlıkların değiştirilmesi sureti ile ağ çıkışı ve gerçek sistem çıkışı arasındaki hata azaltılmaya çalışılır. Hata kabul edilebilir bir değere ulaşınca kadar öğrenme işlemi devam ettirilir. Eğer elde edilen ağ çıktısı kabul edilemez seviyede ise ağ yerel bir çözüme takılmış demektir. Böylesi bir durumda oluşturulan sistem değerleri tekrar gözden geçirilmelidir.

Böylelikle yapay sinir ağıları tasarlanabilir ve girişlerde oluşacak sistem etkilerine karşı tepki çıkışlar verebilecek konuma getirilebilir. Her sistemde olduğu gibi yapay sinir ağlarının da avantaj ve dezavantajları vardır. Literatürde bu avantaj ve dezavantajlar üzerine bir çok yayın ve makale bulunmaktadır. (Arslan ve İnce 1996, Jang *et al.* 1996-1997, Çayıroğlu 2013).

3.3.2 Bulanık Mantık

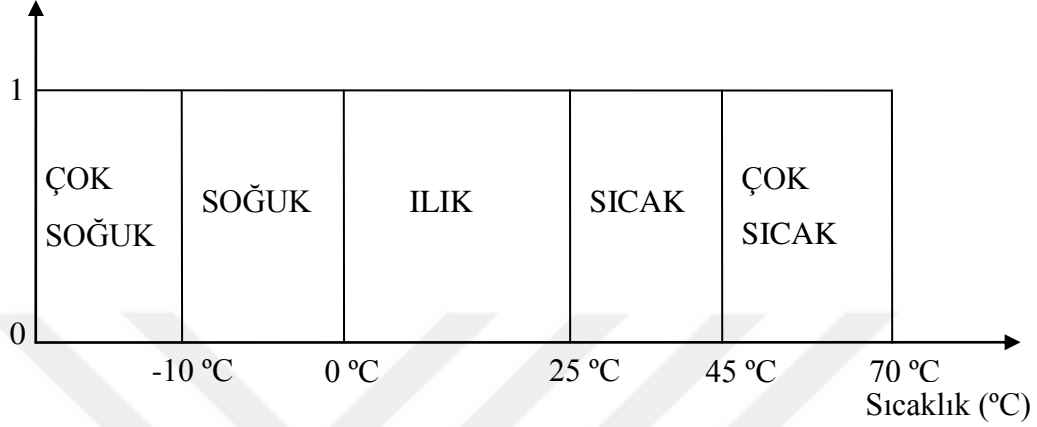
Bulanık mantık kavramı ilk olarak 1965 yılında Prof. Lofti A. Zadeh tarafından "The Theory of Fuzzy Logic and Fuzzy Sets (Bulanık Mantık ve Bulanık Kümeler)" adlı yayın ile ortaya çıkarılmıştır (Zadeh 1965). Mühendislikte belirsizlikler incelenirken çoğu zaman bazı kabuller yapılarak sistem modeli oluşturulmaktadır. Ancak bazı durumlar için istatistiksel yada matematiksel yöntemler kullanılması birçok kabul yapılmasına ve karmaşık denklemlerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu şekilde rastlantısal olmayan belirsizlik durumlarına fuzzy (bulanık) denilmektedir.

Bulanık mantık sistemi ile literatürde yer bulan bulanık sistem, bulanık mantık, bulanık küme kavramlarının ortaya atılmasının sebebine değinirse; Prof. Lofti A. Zadeh uzun yıllar boyunca kontrol sistemleri ile uğraşmıştır. İstediği kontrolü sağlamak için ise doğrusal olmayan birçok denklem kullanması gerekmektedir. Bu durum ise problemlerin çözümünü zorlaştırmaktaydı. Zadeh bu karmaşıklıklardan kurtulmak amacı ile bir sistem geliştirdi. Bu sistemde her küme bir aidiyet derecesi ile temsil edildi. Böylelikle Zadeh bulanık sistem, bulanık mantık, bulanık küme kavramlarının ortaya çıkmasına ve karmaşık sayısal denklemlerden uzak, sistemlerin oluşabilmesine sebep olmuştur.

1965 yılına kadar matematiksel algıda kesinlik kavramı vardır. Bu kavram gereğince aidiyet derecesi 0 ile 1 'dir. Sıfır kümeye ait olmadığını, bir ise kesinlikle kümeye ait olduğunu anlatmaktadır. Ancak bulanık mantıkta ise kümelerin aidiyetlik dereceleri Üçgen, Trapezoidal, Sigmoidal, Gaussian, Generalized Bell gibi yaygın kullanılan üyelik fonksiyonları olabileceği gibi farklı fonksiyonlarda olabilir. (Klir and Folger 2005)

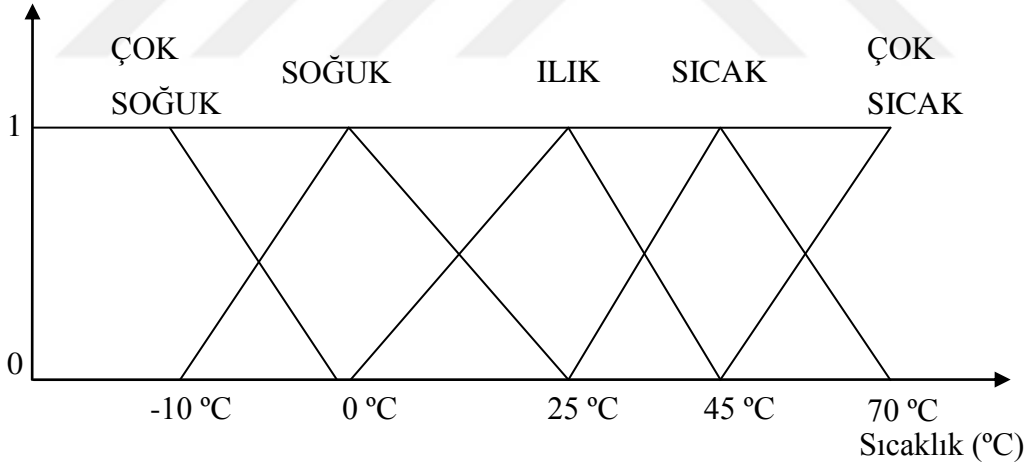
Bir örnek ile açıklanırsa; Şekil 3.16'da sayılar ile ayrılmış klasik küme teorisine dayalı bir sıcaklık derecelendirme sistemi verilmiştir.

Genlik Değerleri



Şekil 3.16 Sıcaklık derecelendirme sistemi (Klasik yaklaşım) (Saraç 2012).

Genlik Değerleri



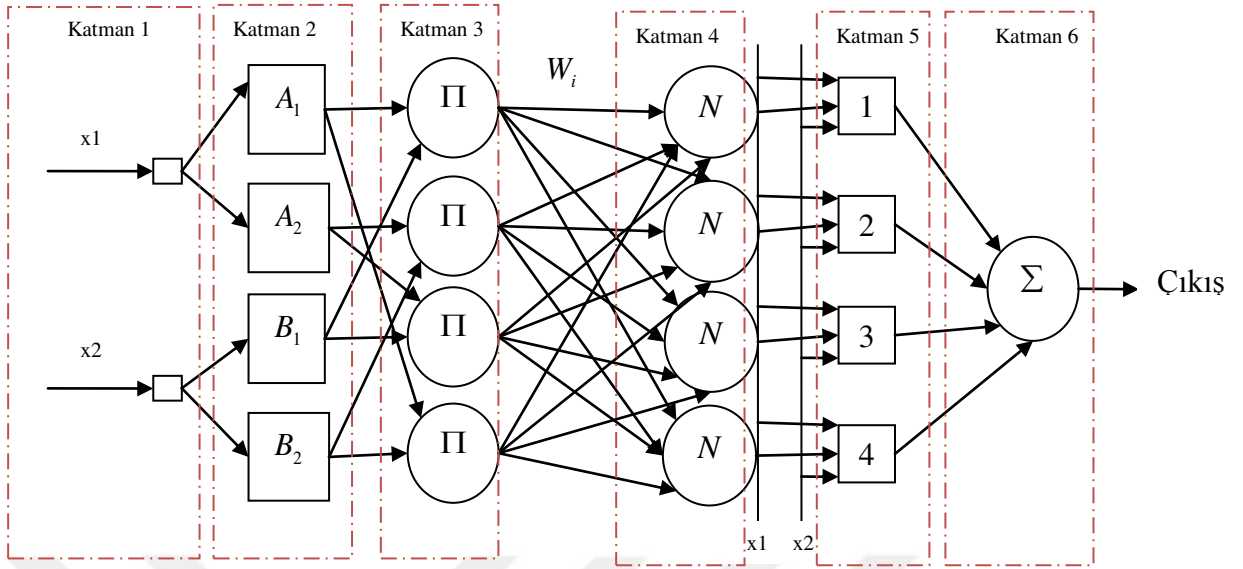
Şekil 3.17 Sıcaklık derecelendirme sistemi (Bulanık Mantık) (Saraç 2012).

Şekil 3.16'da sıcaklık -3°C olduğu zaman kesin olarak soğuktur yargısına varılır. Çünkü -3°C , 0°C ve -10°C arasında kalan soğuk bölgesinin içindedir. Ancak Şekil 3.17'de soğuk veya çok soğuk yargısına kesin olarak varılmaz, insan düşünce yapısı gibi aidiyet derecesine göre değerlendirmesi yapılır.

Literatürde bulanık mantığın, avantaj ve dezavantajlarının tartışıldığı birçok makale ve yayın bulunmaktadır (Baldwin and Pilsworth 1980, Fukami *et al.* 1980, Stachowicz and Kochanska 1987). Ayrıca maksimum güç noktasını belirlemek için, literatürde birçok teknik bulunmaktadır. Ancak belirtmek gerekir ki günümüzde basit tasarımı ve matematiksel modellere en az seviyede ihtiyaç duyması nedeniyle bulanık mantık algoritması MPPT sistemlerinde çokça kullanılmaktadır (Subiyanto *et al.* 2012).

3.3.3 Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistem Mimarisi

Jang'ın 1993'te meydana getirdiği adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi karar verme aşamasında sugeno tipi bulanık mantık çıkarım sistemini baz almaktadır. Ayrıca, öğrenme işlevi için yapay sinir ağlarının geri yayılmalı öğrenme algoritmasını kullanmaktadır (Jang 1993). Adaptif ağ yapısı içerisinde çeşitli işlem birimleri (Düğüm) bulundurmaktadır. Bu işlem birimleri birbirlerine nedensel olarak bağlı ve adaptiftirler. Adaptif olmaları bağlı oldukları nedensel değerlerin değişebilmesi manasına gelmektedir. Adaptif ağ mimarisi içinde öğrenme kuramı, mimarinin uygulandığı sistemin işleyişini en az hata ile algılamaya yaramaktadır. Sistemde hata değeri gerçek çıkış ile adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi arasındaki farktan ibarettir. Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım mimarisi 6 katmandan meydana gelmektedir.



Şekil 3.18 Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık sistemi (Jang 1993, Hocaoğlu 2005).

Şekil 3.18'de oluşturulan ANFIS yapısında bulunan bu katmanların işleyişi ve sistem içerisindeki görevleri sırası ile açıklanırsa (Jang 1993, Hocaoğlu 2005);

Katman 1 : Bu katmanda sisteme veri girişi yapılmaktadır. Sistemin girişine uygulanan tüm sinyallerin bir sonraki düğüme geçişi sağlanır.

Katman 2: Bu katman bulanıklaştırma katmanı olarak adlandırılır ve giriş büyüklüklerinin bulanık kümeler ayrılması işlemlerini içerir. Bulanık kümeler ayrılma işleminde Jang kurmuş olduğu ANFIS için genelleştirilmiş Bell yapısını kullanmaktadır. Bu kısımda her bir düğüm çıkışı üyelik derecelerinden oluşmaktadır. Bu üyelik dereceleri ise giriş büyüklüklerine ve kullanılan üyelik fonksiyonlarına göre değişmektedir. Genellikle üyelik fonksiyonları matematiksel olarak $\mu_{A_i}(x)$ ve $\mu_{B_i}(y)$ şeklinde ifade edilmektedir. Ayrıca düğüm fonksiyonları ile de ilişki kurulması işlemi için kullanılmaktadırlar.

$$Y_i^2 = \mu_{A_j}(x) \quad (3.15)$$

X , i düğümü ile ilişkili girdi olmak üzere; A_i düğüm fonksiyonuna kişisel olarak

verilen sözel ifadeleri içermektedir (Soğuk, ılık, sıcak vb.). Başka bir ifade ile Y_i^2 , A_i 'nin üyelik fonksiyonu değeridir. İçerisinde X 'in A 'yı sayısal olarak hangi değer aralığında karşıladığının ifadesini barındırmaktadır. Çoğunlukla $\mu_{A_i}(x)$ en yüksek 1, en az 0 değerlerini almaktadır. Sistemin bu fonksiyonu hangi şekilde işlediğine değinilirse;

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x - c_i}{a_i} \right)^2 \right]^{b_i}} \quad (3.16)$$

Denklem (3.16)'da bilinmeyen değerler a_i, b_i, c_i değerlerinin olduğu görülmektedir. Bu değerler sistemde öncül parametrelerdir. Ayrıca bu katmanda çeşitli üyelik fonksiyonları kullanılabilmektedir. (Jang 1993)

Katman 3: Bu katmanda kurallar işletilir, bu sebep ile kural katmanı olarak da isimlendirilir. Bu katmanda bulunan her bir düğüm sugeno tipi modelleme sonucu oluşmaktadır. Ayrıca bu kısım incelendiğinde sistemde oluşturulan kuralların sayısı da anlaşılabilmektedir. İşlev olarak ise, bu katman bir önceki katmandan gelen üyelik derecelerinin çarpımını çıkışa μ_i olarak yansıtmaktadır.

(j= 1,2) ve (i=1 ... n) olmak üzere μ_i değerleri ;

$$Y_i^3 = \mu_{A_j}(x) \cdot \mu_{B_i}(y) = \mu_i = \omega_i \quad (3.17)$$

eşitliği ile bulunur.

Yukarıdaki eşitlikte Y_i^3 bu katmanın çıkış değerlerini ifade ederken, n ise katmandaki düğüm sayısını ifade etmektedir. Ayrıca her bir düğüm çıktısı bir kuralın ateşleme seviyesini (firing strength) gösterir.

Katman 4 : Bir önceki katmandan gelen tüm sinyaller, giriş olarak belirlenmektedir. Bu

katmanda normalizasyon işlemi gerçekleşmekte olup, her kuralın ateşleme seviyesi normalize biçimde hesaplanır. Matematiksel olarak hesap sonucu i . düğümdeki i . kuralın ateşleme seviyesinin tüm kuralların toplam ateşleme seviyesine oranı olarak bulunmaktadır.

$$Y_i^4 = \varpi_i = \frac{\omega_i}{\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4} \quad (i= 1, 2, 3, 4) \quad (3.18)$$

ile bulunur. (Jang 1993)

Katman 5 : Bu katman, arındırma işleminin yapıldığı katmandır. Bu katmanda her bir düğüme verilen kuralın ağırlıklandırılmış değerleri hesaplanmaktadır.

$$Y_i^5 = \varpi_i [r_i x_1 + s_i x_2 + t_i], \quad (i=1..n) \quad (3.19)$$

Eşitlikte r_i, s_i, t_i ifadeleri i . kuralın sonuç parametrelerinin kümesidir. (Jang 1993)

Katman 6 : Bu katmanda ANFIS çıkışı elde edilmekte olup toplam katmanı olarak da isimlendirilmektedir. Sistemin çıktı değeri Y_{Toplam} olmak üzere;

$$Y_{Toplam} = \sum_{i=1}^n \varpi_i [r_i x_1 + s_i x_2 + t_i] \quad (3.20)$$

Denklemleri ile ANFIS yapısının gerçek çıkışı bulunmuş olur. (Jang 1993)

Oluşturulan ANFIS yapısında, giriş değişkenleri x_1 ve x_2 'dir. Ayrıca sonuç değerleri r_i, s_i, t_i değerlerinin bilinmesi önem teşkil etmektedir. Bu çalışmada x_1 ve x_2 değerleri sırasıyla ışıınım ve sıcaklık değişkenleri olarak belirlenmiştir. Çıkış değerleri ise fotovoltaik panele ait çıkış güç değerleri çıkarımlarıdır.

ANFIS melez bir algoritma yapısına sahiptir. Bu melez algoritma ileri besleme ve geri

besleme olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Ayrıca içerisinde geri yayımlı öğrenme ve en küçük kareler yöntemini barındırmaktadır. Çizelge 3.5'te de belirtildiği üzere ileri beslemede giriş parametreleri sabit alınarak sonuç parametrelerinin değerleri en küçük kareler yöntemi ile hesaplanmaktadır. Geri beslemede ise sonuç parametreleri sabit alınarak giriş parametreleri geri yayımlı öğrenme algoritması ile hesaplanmaktadır (Jang 1993).

Çizelge 3.5 Melez öğrenme algoritma detayları (Jang 1993, Şentürk 2006).

Melez Öğrenme Algoritması	İleri Besleme	Geri Besleme
Giriş Parametreleri	Sabit	Geri Yayımlı Öğrenme
Sonuç Parametreleri	En küçük Kareler Yöntemi	Sabit

İleri ve geri besleme döngüleri sistem hataları belirlenen değere kadar minimize edilmedikçe veya sistem değişim göstermeyinceye kadar devam etmektedir. Sonuçta hesaplanacak hata değeri, hata kare ortalamasının karekök değerine bir başka söylem ile sistem standart sapma değerine eşit olacaktır.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (G_i - Y_i)^2}{n}} \quad (3.21)$$

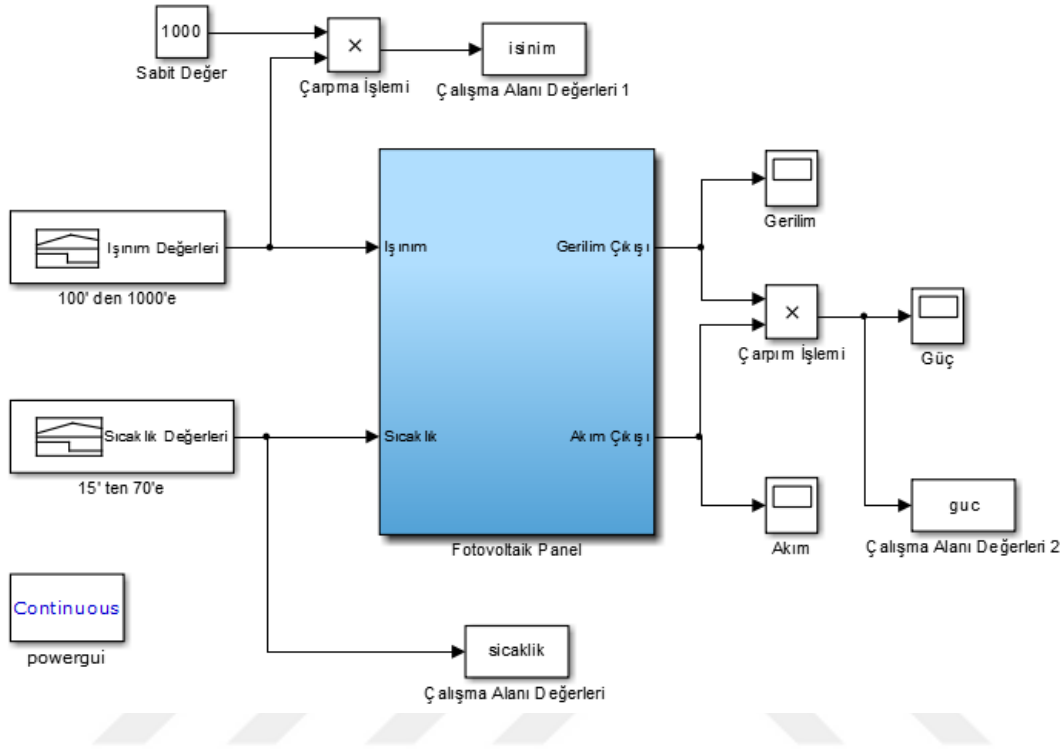
Denklem (3.21)'de G_i sistemin gerçek çıkış değerini, Y_i ise ANFIS çıkışını ifade etmektedir. Böylelikle hata değeri hesaplanmış olur. (Jang *et al.* 1997)

3.3.4 Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sisteminin Modellenmesi

Bu kısımda ANFIS yapısının MATLAB/Simulink ortamında modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Benzetim sonuçları ise bulgular bölümünde sunulmuştur.

ANFIS için eğitim veri setlerinin toplanması; bu çalışmada kullanılan 60 Watt'lık fotovoltaik panele (Pukhrem 2013) farklı ışınlam ve sıcaklık değerleri uygulanmıştır. Daha sonra uygulanan ışınlam ve sıcaklıklar neticesinde fotovoltaik panelde meydana

gelen çıkış güçleri gözlenmiştir. Fotovoltaik sistem $100 \frac{W}{m^2}$ ve $1000 \frac{W}{m^2}$ arası ışınım değerleri, $15^\circ C$ ve $70^\circ C$ dereceye kadar değişen sıcaklık değerleri ile çalıştırılmıştır.



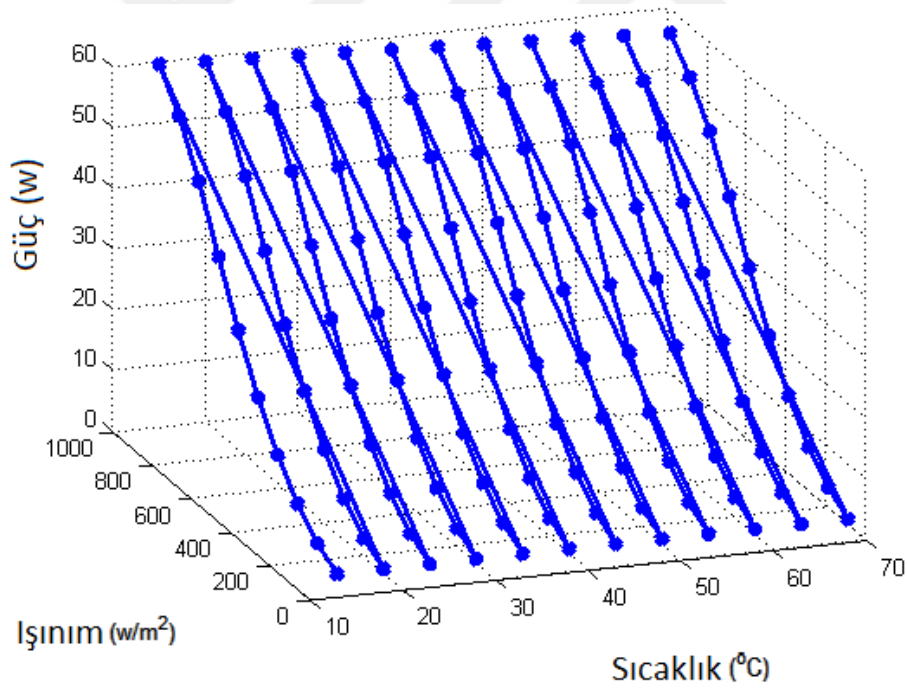
Şekil 3.19 60 Watt'lık panelden eğitim verilerinin alınması.

Şekil 3.19'da çalışma alanına aktarılan değerler "İsinim", "Sıcaklık", ve "güc" olarak belirlenmiştir. Fotovoltaik sistem 12 saniye süresince çalıştırılmıştır. Çalışma alanına aktarılan veriler ise 0,01 saniye aralıklarla toplanmış ve kayıt edilmiştir. Kayıtlar sonucunda zaman serisi olarak her bir değişkenden 1201 veri alınmıştır. Alınan veriler ANFIS modellemesi için kullanılacak şekilde düzenlenmiş ve Çizelge 3.6 'da görüldüğü üzere 1201x3'lük bir matris haline getirilmiştir.

Çizelge 3.6 Eğitilmemiş verilerin ANFIS'e yüklenmesi.

İsim	Değer	Minimum	Maksimum
OnurARDIC	1201x3	0.7474	1000
Guc	1201x1	0.7474	59.4348
İsinim	1201x1	100	1000
Sıcaklık	1201x1	15	70

Ayrıca Çizelge 3.6'da oluşan sisteme ait minimum ve maksimum değerler sunulmuştur. Benzetim sonucu fotovoltaik panelde oluşan güç değerlerinin 0.7474W ve 59.4348W arasında olduğu gözlenmiştir. Daha sonra Çizelge 3.6'da sunulan ışınım, sıcaklık ve güç değerleri MATLAB çalışma alanına aktarılmıştır. Ardından aktarılan değerler aynı çizelgede birleştirilerek 1201x3'lük bir matris oluşturulmuştur. Oluşturulan bu matris MATLAB, ANFIS kısmına aktarılmıştır. Aktarım sonrası ANFIS yapısı sistem tarafından otomatik olarak kurgulanmıştır. Kurgulanan ANFIS yapısında giriş değişkenleri ışınım ve sıcaklık, çıkış değişkeni ise fotovoltaik panel çıkış gücü çıkarım değerleri olarak belirlenmiştir. Bu belirleme girilen matris doğrultusunda sistem tarafından otomatik şekilde yapılmaktadır. Böylelikle ANFIS giriş ve çıkışları, sisteme aktarılan matris doğrultusunda belirlemiştir. Aktarılan eğitilmemiş veri gösterimi ise Şekil 3.20'de sunulmuştur.

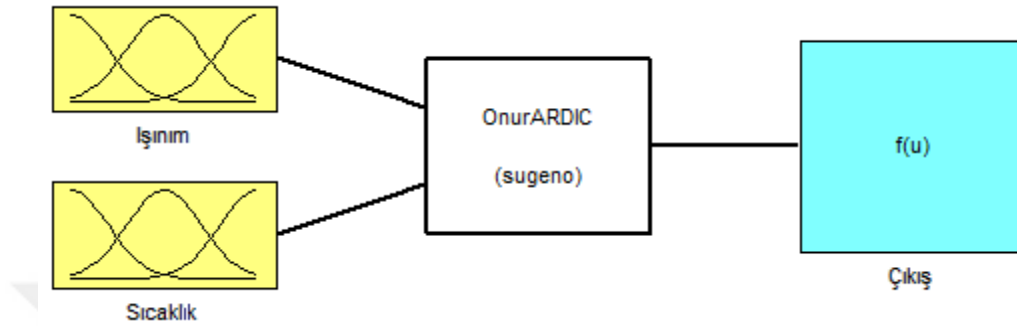


Şekil 3.20 Eğitilmemiş verilerin ANFIS'e yüklenmesi.

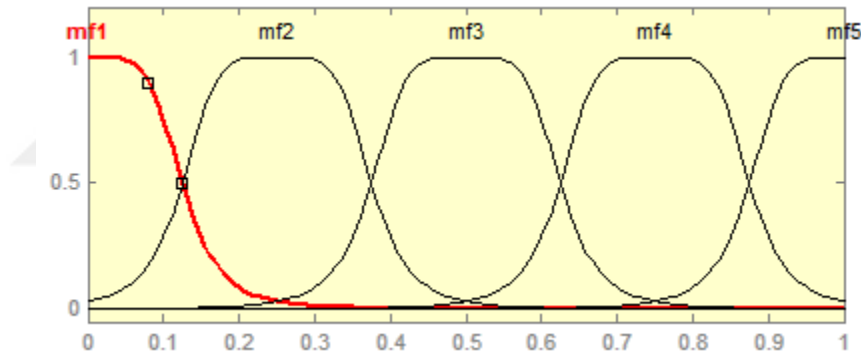
Şekil 3.20'ye dikkat edilirse sistem giriş verileri genel literatürden farklı bir yol izlenerek oluşturulmuştur. Açıklamak gerekirse her bir sıcaklık değeri için 10 farklı ışınım seviyesi oluşturulmuştur. Daha sonra oluşturulan bu veri setleri ile ANFIS

sistemine giriş yapılmıştır.

Giriş değişkenlerinin aktarıldığı ve daha sonra girilen değerlere karşı oluşan adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi Şekil 3.21'de verilmiştir. Ayrıca oluşturulan sistemin belirlenen üyelik fonksiyonları Şekil 3.22'de verilmiştir.

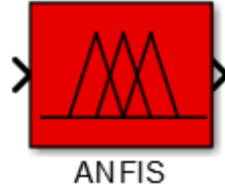


Şekil 3.21 Veriler yüklendikten sonra oluşan bulanık mantık sistemi.



Şekil 3.22 Üyelik fonksiyonlarının seçilmesi.

Sistem için yaygın olarak kullanılan Generalized Bell tipi üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Her bir giriş değişkeni için beş adet üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur. Üyelik fonksiyon sayılarının fazlalaştırılması ile sistem giriş değişkenleri duyarlılıklarının artırılması amaçlanmıştır. Böylelikle adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi modellenmiştir. Modelleme işlemi bitirilmiş ve oluşturulan blok sistemi Şekil 3.23'te verilmiştir. Eğitime işlemine bölüm 4.3. Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi benzetimi konusunda değinilmiştir. Belirtmek gerekirse; eğitime ve deneylerin amacı, sistem içerisinde yer alan ANFIS mimarisinin en az hata ile sistemi algılayabilmesi ve gerçek çıkışa çok yakın değerler üretebilmesidir.



Şekil 3.23 Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sisteminin MATLAB/Simulink ortamında gösterimi.

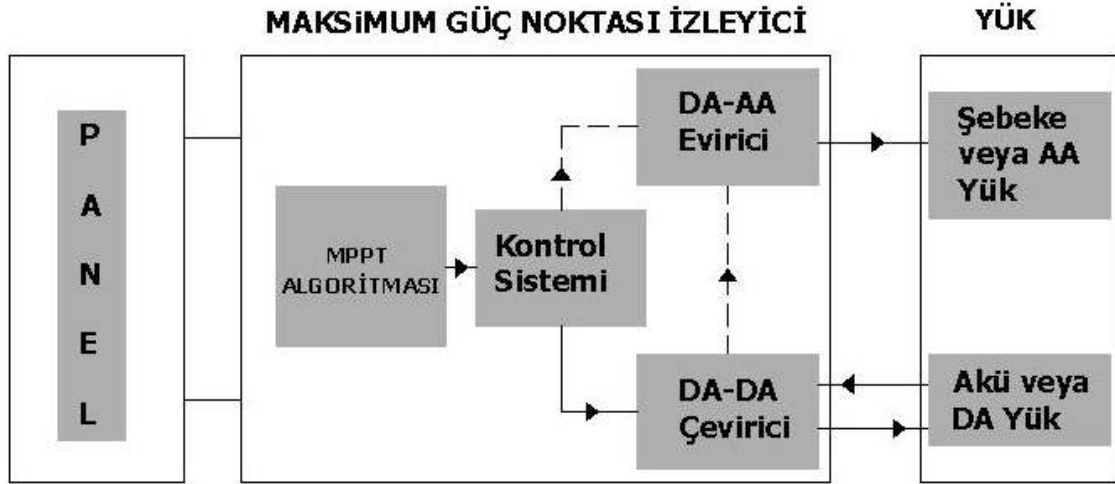
3.4 Maksimum Güç Noktası Takip Sisteminin Modellenmesi

Günümüzde farklı mimarilere sahip bir çok maksimum güç noktası takip sistemi bulunmaktadır. Maksimum güç noktası takip sistemi Şekil 3.24'te sunulduğu üzere, güneş paneli ile alıcı veya akü gurubu arasındaki bütünsel bir sistemdir. Bu kısımda ise tez çalışması içerisinde bulunan DA-DA çevirici, PI kontrolör sistemleri modellenmiştir.

Maksimum güç noktası takip sistemleri basitçe iki ana guruptan meydana gelmektedir.

- Maksimum güç noktasını bulan ve yazılımsal oluşturulan algoritma.
- Maksimum güç noktası bulunduktan sonra, gücü alıcıya aktaran donanımsal parçalar (DA-DA çevirici, DA-AA evirici vb.).

Bir önceki kısımda ANFIS mimarisi yazılımsal olarak tasarlanmıştır. Bu kısımda daha çok maksimum güç noktası takip sisteminin geriye kalan donanımsal bileşenleri tasarlanmıştır.



Şekil 3.24 Maksimum güç noktası takip sistemi genel gösterimi.

Şekil 3.24'te maksimum güç noktası takip sistemleri için genel bir gösterim sunulmuştur. Bu çalışmada sadece fotovoltaiik pilden maksimum doğru gerilim ANFIS ile elde edilmiştir. Ancak daha önce açıklandığı üzere oluşturulan sisteme yükün cinsine göre ek birleşenler eklenebilir. Ayrıca bu çalışmada oluşturulan sistemin çıkışı şebeke bağlantılı veya şebeke bağlantısız bir sisteme ilave edilebilir. Günümüzde güneş panelleri ile oluşturulan şebeke bağlantılı veya şebeke bağlantısız sistemler oldukça yaygınlaşmıştır. Şebeke bağlantılı sistemler sayesinde, enerjiye ihtiyaç olan zamanlarda elektrik tüketiminin karşılanması, ihtiyaç olmayan zamanlarda ise elektrik enerjisinin şebekeye aktarımı sağlanmaktadır. Şebeke bağlantısız sistemler ise yerleşim yerlerinden uzak olan ve elektrik enerjisi sağlanamayan bölgelerde oldukça yaygın olarak kullanılır.

3.4.1 Çeviriciler

Bu kısımda anahtarlama DA-DA yükselten tip çevirici ele alınmıştır. Temel çalışma prensipleri hakkında özetsel bilgiler verilmiştir. Ardından sistemde kullanılmış olan yükselten DA-DA çevirici matematiksel olarak incelenmiş ve MATLAB/Simulink ortamında benzetimi gerçekleştirilmiştir.

Anahtarlama DA-DA çeviriciler, girişindeki DA gerilimi bir dizi olay sonrasında farklı DA seviyelerine çeviren ve çoğunlukla regüleli çıkış amacıyla kullanılan devrelerdir

(Hart 2011). Teorik olarak enerji dönüşümü kayıpsız olarak düşünülse de gerçekte verimleri %70 ile %95 arasında değişir (Erickson 1999). Çevirici kaynak girişi regüleli veya regülesiz gerilim olabileceği gibi genellikle bir batarya veya doğrultulmuş hat gerilimidir. Bu çeviricileri DA kıyıcı, DA gerilim ayarlayıcı ve DA transformatör olarak da isimlendirmek mümkündür (Kazimierczuk 2008).

3.4.1.1 Anahtarlamalı DA-DA Çeviricilerin Sınıflandırılması

Temel olarak izoleli ve izolesiz olarak iki tipte anahtarlamalı DA gerilim ayarlayıcı vardır. Bunlardan bazıları incelenirse; (Altıntaş 2007, Özdemir 2007)

1. kısım izolesiz gerilim ayarlayıcılar;

- a) Azaltan (buck) çeviriciler,
- b) Yükselten (boost) çeviriciler,
- c) Azaltan-Yükselten (buck-boost) çeviriciler,
- d) Cuk çeviriciler,
- e) Sepic çeviriciler,
- f) Zeta çeviricilerdir.

2.kısım izoleli gerilim ayarlayıcılar;

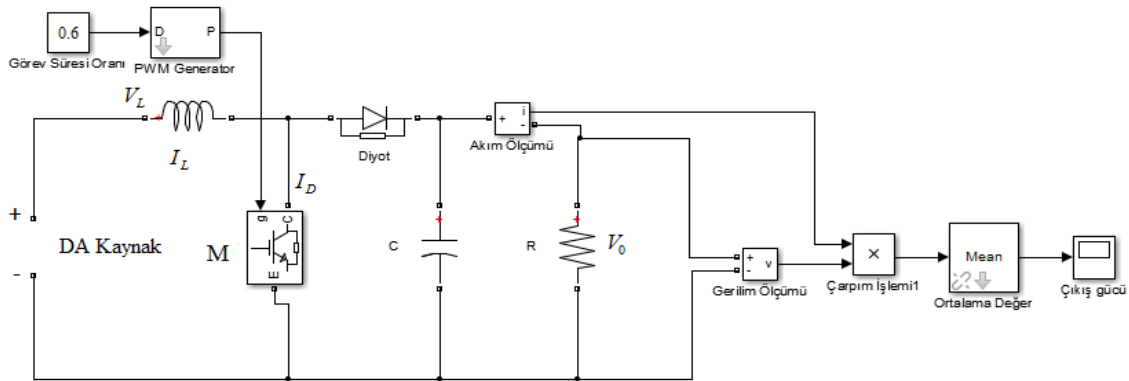
- g) İleri yönlü (forward) çeviriciler,
- h) Çapraz (flyback) çeviriciler,
- ı) Push-Pull çeviriciler,
- i) Yarım köprü (half bridge) çeviriciler,
- j) Tam köprü (full bridge) çeviricilerdir.

Bu çalışmada fotovoltaik panelden üretilen doğru gerilimin yükseltilmesi ve regüleli

çıkış elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu sebeple birinci kısım izolesiz gerilim ayarlayıcılar içerisinde yükselten tip çevirici tercih edilerek sunulmuştur. (Shanthi and Vanmukhil 2013, Kharb *et al.* 2013, Bin-Halabi *et al.* 2014)

3.4.1.2 Yükselten (Boost) Çeviriciler

Bu kısımda MATLAB/Mathworks'te yayınlanmış çeşitli yükselten tip DA-DA çeviriciler incelenmiş ve değerlendirilmiştir (İnt.Kyn.1). Sonuçta yükselten tip çevirici MATLAB 2013a paket programında elde edilmiştir (Malla 2012, Karthi 2013). Şekil 3.25'te verilen yükselten tip DA-DA çevirici devre şemasında, L_i giriş bobini, M yarı iletken güç anahtarı, D_1 diyot ve C çıkış kondansatörüdür. Özetle devrede güç anahtarının periyodik olarak açılıp kapatılmasıyla (anahtarlanmasıyla), giriş gerilimi çıkışta yükselttilerek DA-DA güç dönüşümü gerçekleştirilmektedir (Hasaneen and Mohammed 2008, Hart 2011).



Şekil 3.25 Oluşturulan yükselten tip DA-DA çeviricinin MATLAB/Simulink ortamında genel gösterimi.

Yükselten tip DA-DA çeviricinin incelemesi çeşitli kaynaklardan yararlanılarak, anahtarların iletimde veya yalıtımda olmasına göre yapılmıştır (Erickson 1999, Demirtaş *et al.* 2008, Çakır 2011, Hart 2011, Nacar 2014).

Şekil 3.25'te modellenen sistem çalıştırılmıştır. Böylelikle sistem anahtarlama sinyali, çıkış gerilimi, bobin akımı, diyot akımı değerleri gözlenmiş sonuçta sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan sistem, bazı kabuller yapılarak modellenmekte ve

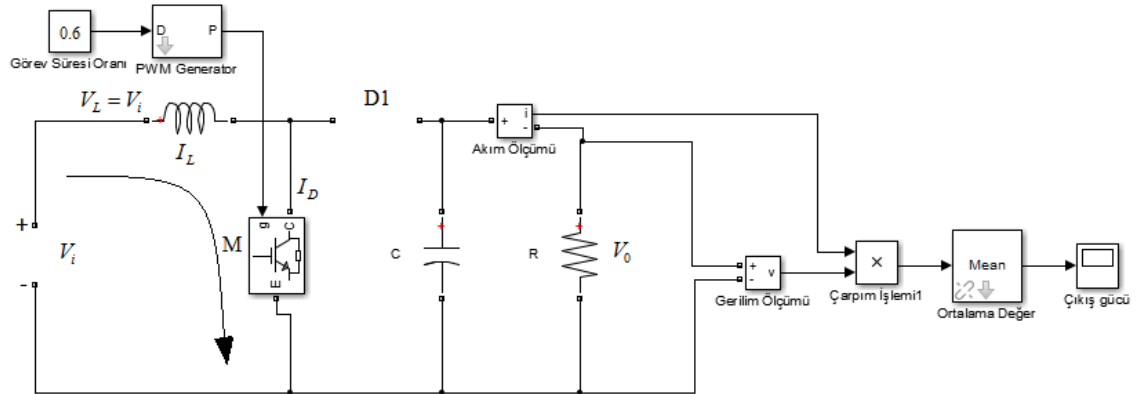
analiz edilmektedir.

Bu kabuller özetle;

- a) Devre kararlı durum koşullarında çalışmaktadır.
- b) Anahtar $0 < t \leq DTs$ zaman aralığında iletimde, $DTs < t \leq Ts$ süresince yalıttımdadır.
- c) Bobin ve kondansatör değerleri sabit akım ve gerilim için yeterince büyük değerdedir.
- d) Tüm devre elemanları idealdir.

Kabullerinin yapılmasının ardından yükselten tip DA-DA çevirici mantığı matematiksel ifadeler ile birlikte sunulmuştur.

Öncelikle, anahtarın iletimde olma durumu incelenirse;



Şekil 3.26 Yükselten tip DA-DA çevirici anahtarların iletimde olması durumu.

Şekil 3.26'da M anahtarı iletimdeyken, yük C kondansatörü tarafından beslenir. Aynı zamanda iletim zamanı (t_{on}) süresince kaynak bobine enerji uygulamaktadır.

$$V_i = L_t \frac{di_L}{dt} \quad (3.22)$$

Denklem (3.22)'ye göre bobin akımının zamana göre değişimi V_i / L_i olarak bulunabilir. Başka şekilde açıklanırsa; bobin akımı pozitif eğim ile doğrusal artmaktadır. Anahtarın iletimde kalma süresi cinsinden bobin akımı matematiksel olarak ifade edilirse;

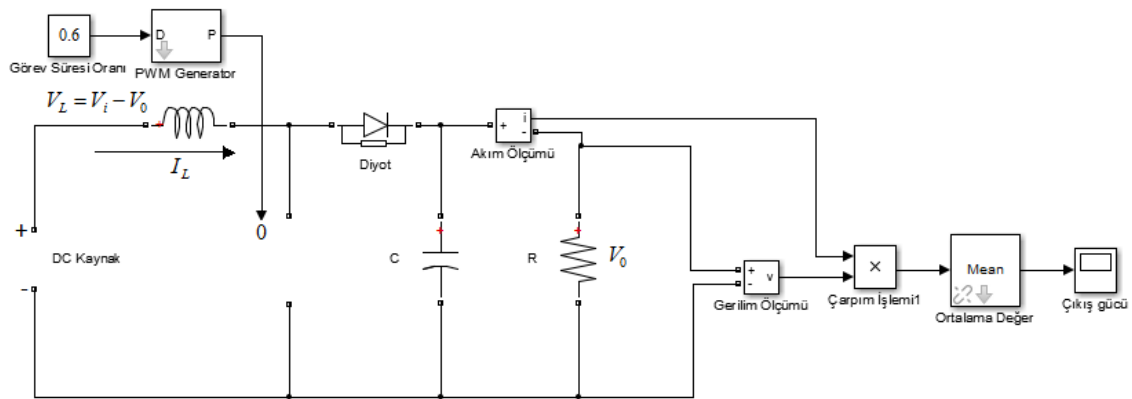
$$\frac{V_i}{L_i} = \frac{\Delta i_L}{DT_s} \quad (3.23)$$

Denklem (3.23)'ten yola çıkılarak iletimdeki bobin akımı

$$\Delta i_L = \frac{V_i DT_s}{L_i} \quad (3.24)$$

olarak bulunur. *Anahtarın yalıtımda olması durumu incelenirse;*

Anahtarın iletimde olduğu durumda incelendiği üzere belirli bir t_{on} süresince iletimde olan anahtar bobin üzerinde enerji depolanmasına neden olmuştur. Şekilde 3.27'de anahtar yalıtımda iken (T_{off}), D_1 diyotu iletime geçer böylelikle yük hem bobinde depo edilen enerji ile hem de kaynak tarafından beslenir. Süreklilik arz eden bu durum sonucu yükselten DA-DA çevirici temel olarak oluşturulmuş olur. ($T_{off} = T - T_{on}$)



Şekil 3.27 Yükselten tip DA-DA çevirici anahtarının yalıtımda olması durumu.

Çıkış gerilimi kullanılarak bobin akımı matematiksel olarak ifade edilirse;

$$V_L = V_i - V_0 = L_i \frac{di_L}{dt} \quad (3.25)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_i - V_0}{L_i} \quad (3.26)$$

Ayrıca farklı bir şekilde ifadesi ise;

$$I_L = -\frac{1-D}{L} V_0 + \frac{1}{L} V_i \quad (3.27)$$

olarak elde edilir.

Burada;

I_L : Bobin akımı,

D : Anahtarlama oranı (Duty Cycle)

V_i : Giriş gerilimi,

V_0 : Çıkış gerilimidir.

Anahtar yalıtımdayken akım doğrusal olarak değişmektedir. Bunun sebebi bobin akım değişim oranının sabit olmasıdır. Akımdaki bu değişim matematiksel denklemler ile ifade edilirse;

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T_s} = \frac{V_i - V_0}{L_i} \quad (3.28)$$

Denklem (3.28)'den Δi_L çekilirse yalıtım durumundaki bobin akımı;

$$\Delta i_L = \frac{T_s(1-D)(V_i - V_0)}{L_i} \quad (3.29)$$

olarak bulunur.

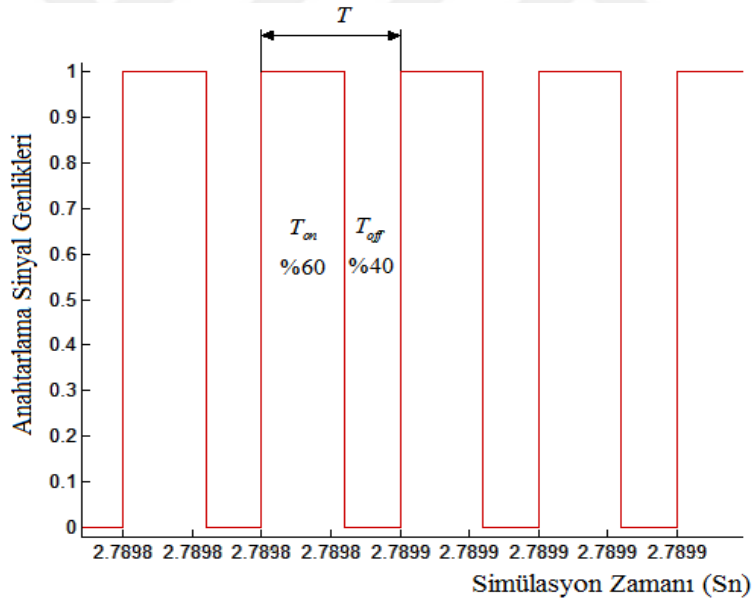
Çıkış gerilimi matematiksel ifadeler ile bulunursa;

$$V_0 = \frac{1-D}{C} I_L - \frac{1}{RC} V_0 \quad (3.30)$$

bulunur.

Matematiksel eşitlikleri elde edilen sistem çalıştırılırsa;

Şekil 3.28'de bu çalışmada elde edilmiş yükselten tip DA-DA çevirici çalıştırılmış ve M anahtarı sinyali gözlenmiştir.



Şekil 3.28 DA-DA yükselten tip çevirici anahtarlama sinyali.

Devre üzerinde M anahtarı T_{on} süresince kapalı, T_{off} süresince de açık olursa ($T_{off} = T - T_{on}$) Şekil 3.28'de görülen çıkış sinyali elde edilmiş olur. Burada V_0 'ın

denklem olarak ifadesi ise $V_0 = \frac{T_{on}}{T} V_i$ olacaktır. Dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise $T_{on} < T$ durumudur.

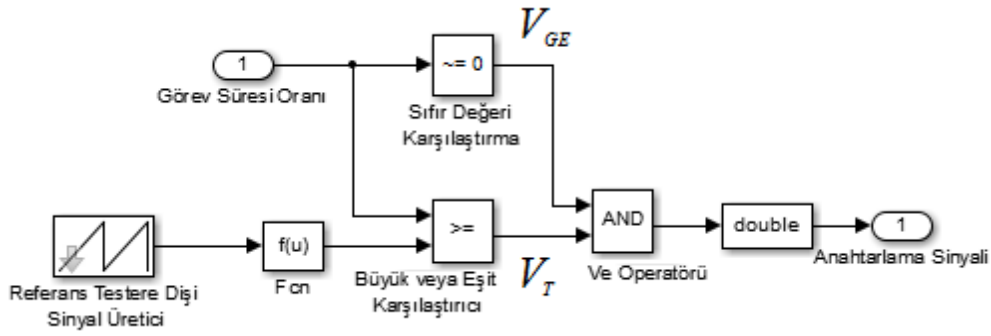
Oluşturulan sistemde anahtarlanan sabit değerdeki DA, beraberinde istenmeyen AA bileşenleri de bulundurur. AA bileşenlerini yok etmek ve saf bir DA çıkışı elde edebilmek için ise filtreler kullanılır. Bu işlem devreye paralel kondansatör ve seri bobin ilavesi şeklinde yapılır. Devreye bağlanan kondansatör ve bobinin işlevleri sırasıyla; kondansatör çıkıştaki gerilim salınımını, bobin ise yük akımındaki salınımı azaltmaya yarar. Bu elemanlar yükün özelliğine göre ihtiyaç olan düzeltmeyi sağlama görevini üstlenirler.

3.4.1.3 DA Gerilim Ayarlayıcıların Kontrolü

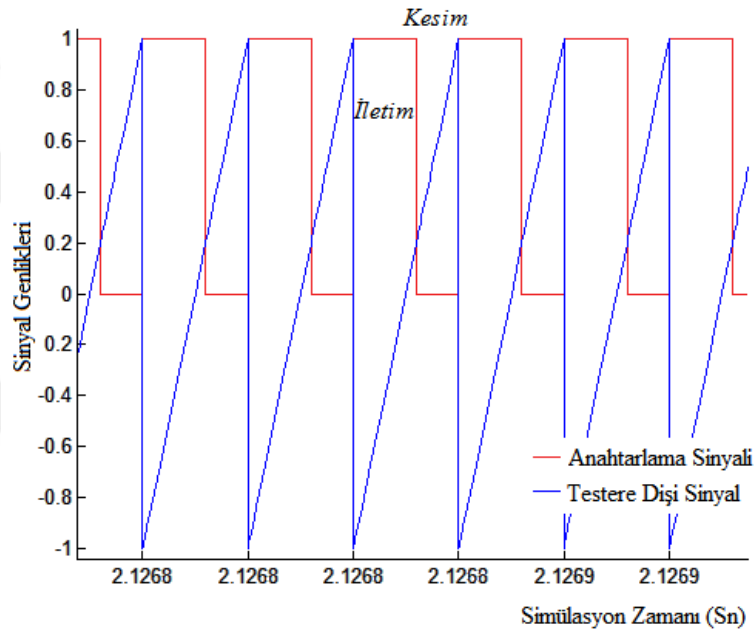
Bölüm 3.4.1.2. Yükselten çeviriciler konusunda temel bir anahtarlamalı DA-DA çevirici devresi ve çıkış dalga şeklinden bahsedilmiştir. Sabit çalışma frekansında T_{on} iletimde kalma süresi, farklı zamanlarda değiştirilerek çıkış gerilimi kontrol edilebilir. PWM olarak adlandırılan bu yöntemde sistemde kullanılan anahtarların görev süresi oranı (D) değiştirilebilir. Görev süresi oranı anahtarların iletimde olduğu zamanın, anahtarlamamanın periyoduna oranıdır.

$$D = \frac{T_{on}}{T} \quad (3.31)$$

PWM sinyali üretmek amacıyla MATLAB/Simulink PWM üretici hazır paket modeli kullanılmıştır. PWM yöntemiyle anahtarlamada anahtarların elektriksel kapalı yada açık olduğu süreyi belirleyen sinyalin (Anahtarlama Sinyali) nasıl elde edildiği Şekil 3.29 ve Şekil 3.30'da sunulmaktadır. Anahtarın kontrol sinyali, taşıyıcı sinyal (V_T) ile karşılaştırma sinyalinin (V_{Ge}) kıyaslanmasıyla elde edilir. Karşılaştırma sinyali ise çıkış gerilimi ile referans gerilimi arasındaki farkın (hata) kuvvetlendirilmesiyle elde edilir. Testere dişi şekli ile sembolize edilen ve tepe değeri sabit olan periyodik taşıyıcı sinyalin frekansı, anahtarlama frekansını oluşturur.



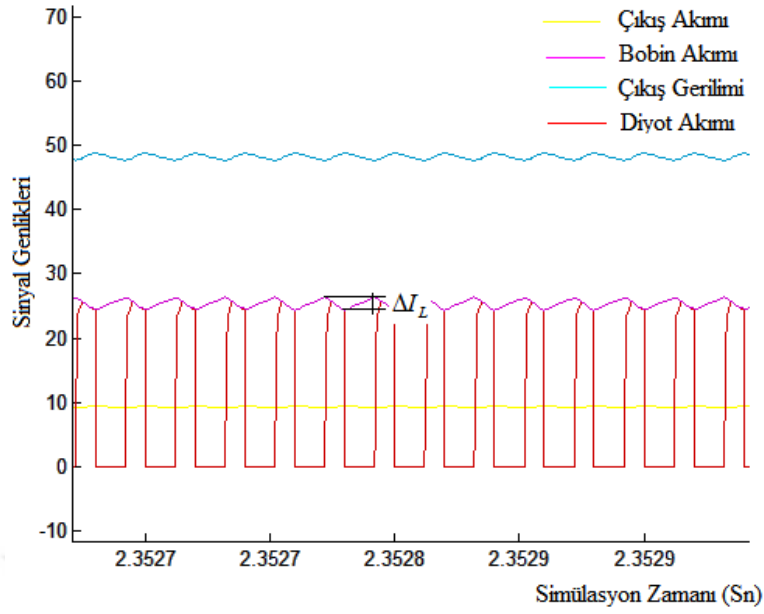
Şekil 3.29 Darbe genişlik modülasyonu MATLAB/Simulink modeli.



Şekil 3.30 Darbe genişlik modülasyonu çıkış sinyali.

Şekil 3.29'a görev süresi oranı 0.6 olarak verilmiştir. Üretilecek olan anahtar sinyali için 0.6 değeri, testere dişi sinyal ile karşılaştırılmaktadır. Böylelikle Şekil 3.30'da sunulduğu üzere çıkışta bir periyodun %60'ı iletimde olacak şekilde bir anahtarlama sinyali oluşturulmuştur.

Oluşturulan sistemde çıkış akımı, bobin akımı, çıkış gerilimi ve diyot akım dalga şekilleri gözlenirse;



Şekil 3.31 Yükselten tip DA-DA çevirici dalga şekilleri.

Şekil 3.31'de çıkış akımı, bobin akımı, çıkış gerilimi ve diyot akım dalga şekilleri sunulmuştur. Sürekli ve kararlı durumda bir periyottaki bobin akım değişimi sıfırdır. Yükselten tip çeviriciler için değinilmesi gereken bir diğer husus ise görev süresi oranıdır (D). Denklem (3.32)'de görev süresi oranı "1" değerinden küçük olduğundan elde edilen çıkış gerilimi V_0 , giriş gerilimi V_i 'den her zaman daha büyüktür.

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{1}{(1-D)} \quad (3.32)$$

Çizelge 3.7 Temel olarak çevirici özeti (Wuidart 1999).

	Yükselten (Artıran)	Azaltan-Artıran
V_0	$V_{IN} / (1 - D)$	$(-V_{IN} \cdot D) / (1 - D)$
$I_{C(\text{çıkış})} (RMS)$	Yüksek	Yüksek
Giriş Akımı	Sürekli	Süreksiz
Sürücü	Topraklanmış	Bağımsız

Çizelge 3.7'de temel olarak yükselten (Artıran), Azaltan-Artıran çevirici özetleri verilmiştir. Bu çalışmada yükselten tip DA-DA çevirici sistemi bir kontrol mekanizması ile değişken ışınlam ve sıcaklık değerlerine göre kontrol edilmiştir. Sonuçta maksimum güç değerine ulaşılmıştır.

Elde edilen DA-DA yükselten çeviricide, DA kaynak olarak fotovoltaiik pil kullanılmıştır. Özetle çalışması açıklanırsa; görev süresi oranı PWM sinyal üreticisine aktarılmaktadır (Bu çalışmada ANFIS çıkışı ve fotovoltaiik panel çıkışı karşılaştırılmak suretiyle PI kontrolör tarafından PWM sinyal üreticiye giriş sağlanmaktadır.). PWM sinyal üretici tarafından anahtarlama elemanı (IGBT) bir periyot zamanı içerisinde on-off yapılmaktadır. Anahtar "on" konumunda iken bobin enerjiyi üstünde toplamaktadır. Anahtar "off" konumuna getirildiğinde ise çıkışa hem kaynak hem de enerjilenmiş bobin enerjisi aktarılmaktadır. Bu olay tekrarlanan bir durum haline getirildiği zaman gerilim artma eğiliminde olacaktır. Çıkışta filtre amaçlı kondansatör kullanılmıştır. Bu sistemde yüksek frekansta anahtarlama yapılması sebebiyle ileri gerilim düşümü az olan özel bir diyot seçilmiştir. Bu seçimin bazı kayıpları azalttığı da düşünülmektedir. Böylelikle tasarımı yapılan DA-DA yükselten çevirici sisteme eklenmiştir.

3.4.2 PI Kontrolör Tasarımı

Tez çalışmasında adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi gerekli veriler ile eğitildikten sonra oluşan çıkış değerleri, panel çıkış gücü ile karşılaştırılmaktadır. Bu fark sinyali PI kontrolöre girilmekte ve DA-DA yükselten çevirici anahtarı için PWM generatörün sinyal üretmesi sağlanmaktadır. PI kontrolör için MATLAB/Simulink hazır paketi kullanılmıştır. Bu kısımda PI kontrolör karakteristiği irdelenmiş ve tasarımlarının hangi metotlar ile yapıldığı açıklanmıştır.

Oransal (P) Kontrolör

Oransal (proportional) kontrolör, sistem çıkışının bir referans sinyal ile karşılaştırılmasının ardından oluşan, hata sinyalini belirli bir oran ile kuvvetlendiren ve sisteme tekrar giriş sağlayan kontrol tekniğidir. Sonuçta sistem K_p katsayısı ile

değişebilir böylelikle istenen değerlere ulaşılabilir. Oransal kontrol genellikle baskın kutbu ikinci dereceden özellik gösteren sistemlerin iyileştirilmesinde çok kullanılmaktadır.

Eğer sistem hatası çok büyük değerlerde ise oransal kontrolör çıkışı On/Off kontrolör karakteristiğine benzerdir. Bu durumda sistem referans gerilim çevresinde dolaşacak olup uzun zaman salınım yaptıktan sonra referans değerine oturacaktır. Oransal kontrolör değeri (K_p) çok küçük değerlerde seçilir ise sistemin dominant kutupları açık çevrim kutuplarına çok yakın olup sistem cevabı oldukça yavaş ve durgun olacaktır. Bu durum bir tercih meselesidir. Yapılacak olan sistemin tepki hızının yüksek olması istenen çalışmalarda, oransal kontrolör arzu edilen sistem cevabına göre büyük veya küçük seçilebilir (Ziegler *et al.* 1942).

İntegral (İ) Kontrolör

İntegral kontrolün amacı sürekli durumda sistemin çıkış işaretiyle, referans işareti arasındaki hatayı minimuma indirmek veya ortadan kaldırmaktır. Hatanın sıfırdan büyük olduğu durumlarda kontrolör sistem çıkışına müdahale eder ve sonuçta hatayı azaltır. Böylelikle hata sıfıra yaklaşırken artık bir noktada kontrolör çıkışı sabit kalır. Yani hata %100 yok edilmemiş ve belli sınırlar içerisinde kalmıştır. Bir başka deyişle, integral kontrolcünün çıkışı hata sinyalinin bir fonksiyonudur. Reset kontrolör olarak da adlandırılan integral kontrol, hız hatası veya gecikmesini engellemek amacı ile çoğunlukla oransal (P) kontrolör ile kullanılır (Ziegler *et al.* 1942, Cebeci 2012).

3.4.2.1 PI parametrelerinin deneysel olarak ayarlanması

Günümüzdeki çoğu uygulamada PI kontrolör deneysel olarak ayarlanır. PI kontrolörde ayarlanabilir parametreler ise oransal kazanç K_p , integral zaman sabiti T_i 'dir. Oransal kazancın artırılması sistem yanıt duyarlılığını artırmaktadır. Ancak oransal kontrolör konusunda değindiğimiz üzere, cevaptaki osilasyonları da artırmaktadır. Bu durum integral zaman sabiti içinde aynen geçerlidir. Bu bilgiler dahilinde matematiksel modelleri bilinmeyen sistemlerde deneme yanılma yöntemi uygulanabilmektedir. Ancak

bu seferde sistem kullanıcı başarısı ve tecrübesi doğrultusunda bir performansa sahip olmaktadır. Bu konu günümüzde dahi kesin olarak çözülememiş bir problem olarak devam etmektedir (Özdemir 2012). John G. Ziegler ve Nathaniel B. Nichols gibi bilim insanları bu durumun çözümü amaçlı bazı metotlar geliştirmişlerdir (Ziegler *et al.* 1942). Bu metotlar ise bazı hesap ve simülasyon sonuçları ile K_p , K_i değerleri için kabaca, başlangıç sayılabilen değerler vermektedir (Özdemir 2012). Bu çalışmada ise PI parametreleri deneysel olarak deneme yanılma yöntemleri ile oluşturulmuştur.

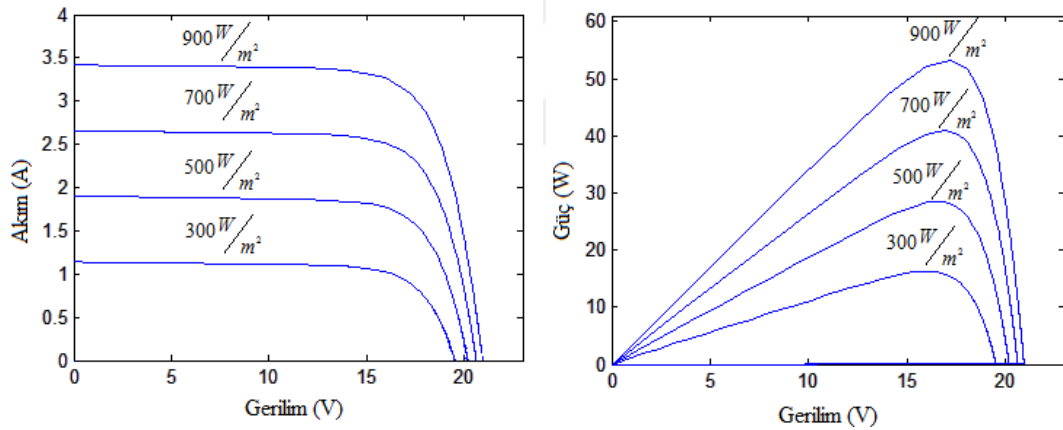


4. BULGULAR

Bu kısımda modellenen sistemlerin simülasyon sonuçları ve çalışma sonucunda oluşan veriler sunulmuştur. Ayrıca konu olarak simülasyon sonuçları ve tartışma kısmı oluşturulmuş ardından ANFIS ile maksimum güç noktası takip sistemi başka çalışmalar ile karşılaştırılmıştır.

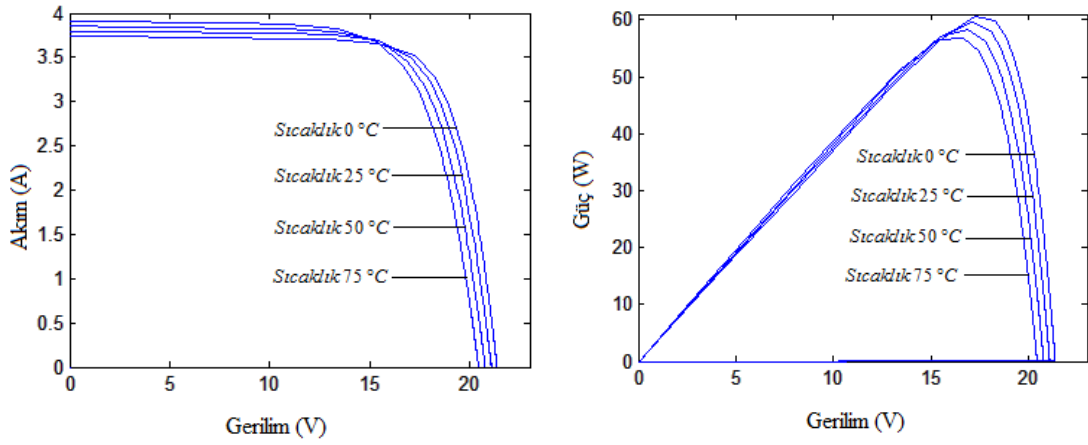
4.1 Fotovoltaik Panelin MATLAB/Simulink Ortamında Simülasyonu

Materyal ve metot kısmında fotovoltaik panel MATLAB/Simulink ortamında elde edilmiştir. Bu kısımda ise elde edilen panele farklı ışınım ve sabit sıcaklık değeri uygulanarak gerilim-akım ve gerilim-güç grafikleri oluşturulmuştur. Daha sonra sabit ışınım ve değişken sıcaklık değerleri uygulanarak fotovoltaik panelin grafikleri elde edilmiştir.



Şekil 4.1 Fotovoltaik panelin sabit sıcaklık farklı ışınım seviyelerinde simülasyonlarının gerçekleştirilmesi.

Uygulanan ışınım değerleri $\frac{W}{m^2}$ cinsindendir. Şekil 4.1'de sabit sıcaklık değeri $25^{\circ}C$ 'dir. Sonuçta fotovoltaik panele gelen ışınım miktarı arttıkça panel akım değerlerinin fazlaca değiştiği ancak gerilim değerlerinin çok değişmediği görülmektedir. Kullanılan fotovoltaik panel ise maksimum 60W gücündedir.



Şekil 4.2 Fotovoltaik panelin sabit ışınım, farklı sıcaklık seviyelerinde simülasyon sonuçlarının gösterimleri.

Şekil 4.2'de sabit ışınım değeri $1000 \frac{W}{m^2}$ 'dir. Sıcaklık azaldıkça gerilim artmakta ve akım da düşmektedir.

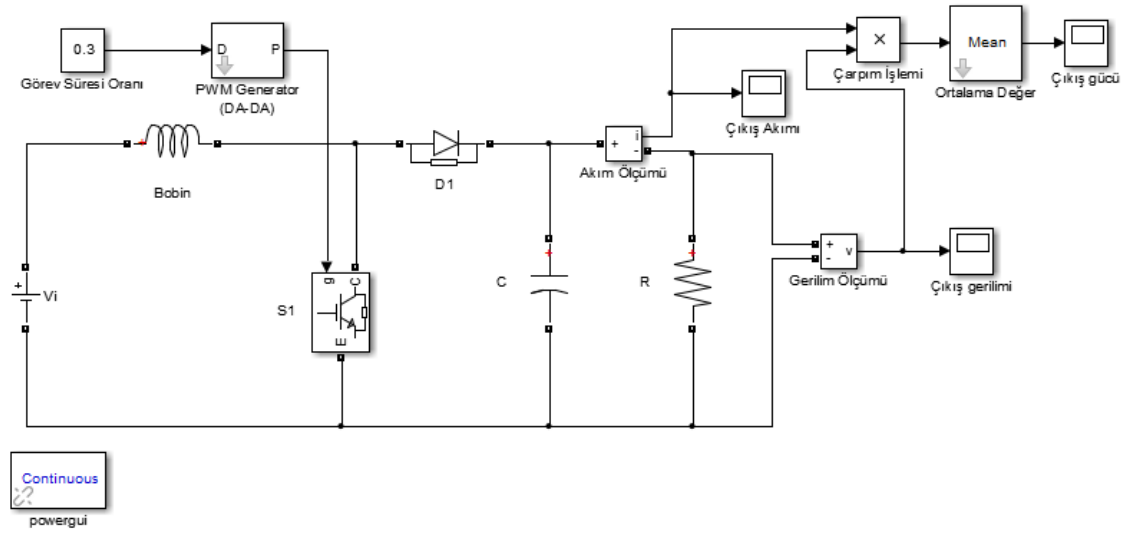
Sonuç olarak tez çalışması içerisinde MATLAB/Simulink ortamında elde edilen 60 Watt'lık fotovoltaik panelin (Pukhrem 2013) benzetim çalışmaları tamamlanmış olup diğer sistem bileşenlerinin benzetimlerine geçilmiştir.

4.2 DA-DA Yükselten Tip Çevirici Simülasyonu

Materyal ve metot kısmında DA-DA yükselten çeviricinin modeli oluşturulmuştur. Bu kısımda simülasyon aşamasına geçilmiştir.

4.2.1 Anahtarlamalı DA-DA Çeviriciler

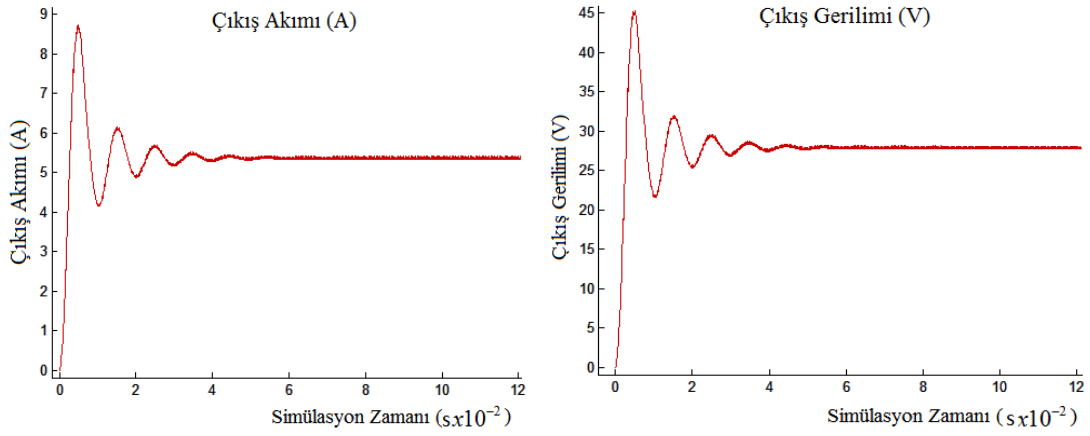
Bu kısımda anahtarlamalı DA-DA çevirici için benzetim çalışmaları yapılmıştır. Benzetim amaçlı materyal ve metot kısmında elde edilmiş ve bu çalışmada işletilmiş olan sistem kullanılmıştır.



Şekil 4.3 MPPT sistemi içerisinde kullanılacak olan DA-DA çevirici benzetiminin MATLAB/Simulink ortamında genel gösterimi.

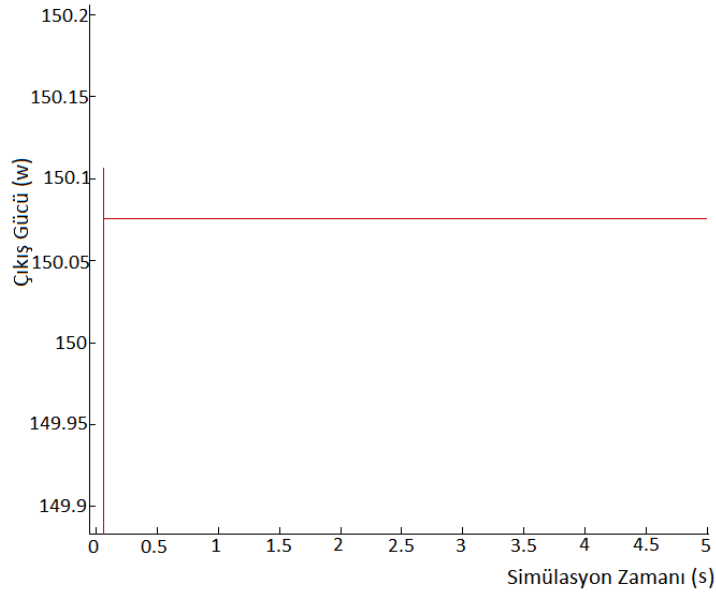
Şekil 4.3'te verilen DA-DA yükselten çeviricide simülasyon amaçlı 20 V 'luk ideal bir DA kaynak kullanılmıştır. Devrede bulunan bobin, kapasite ve yük değerleri önceden belirlenmiştir. Simülasyonda gücün yaklaşık 0.065 saniyede nominal değerlerine ulaştığı görülmüştür. Sonuçta sistem değişik anahtar görev süresi oranlarında (Duty cycle) simüle edilerek doğruluğu test edilmiş ve maksimum güç noktası takibi sistemine eklenmiştir.

Kurulan sistem farklı görev süresi oranlarında simüle edilirse;



Şekil 4.4 DA/DA yükselten tip çevirici çıkış akım ve gerilimi (Duty cycle= 0.3).

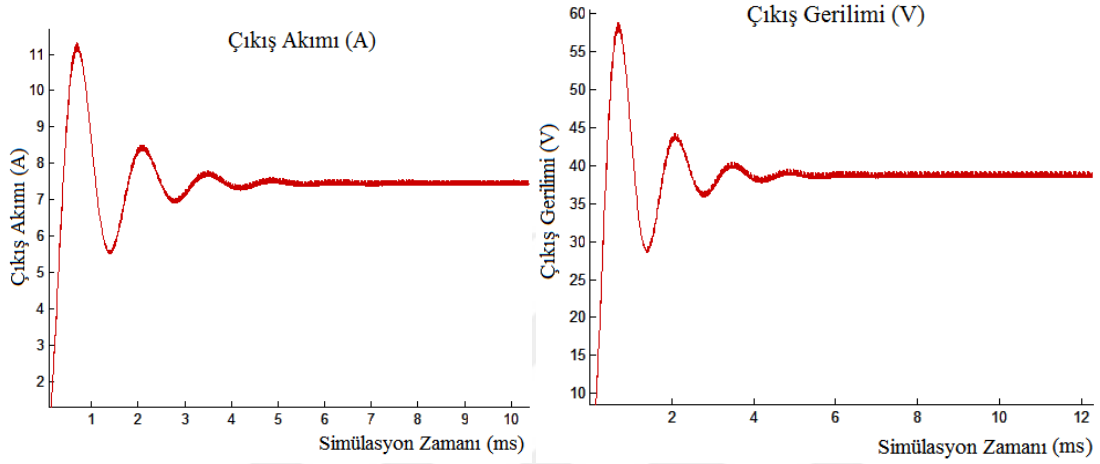
Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'e dikkat edilirse; sistem akım - gerilim - güç salınım değerlerinin nominal değerlerine kısmen yaklaşması yaklaşık 0.1 saniye sürmektedir. Geçici rejimde (milisaniye mertebesinde) böylesi salınımlarının olması muhtemel olup salınım değerleri kabul edilebilir seviyededir.



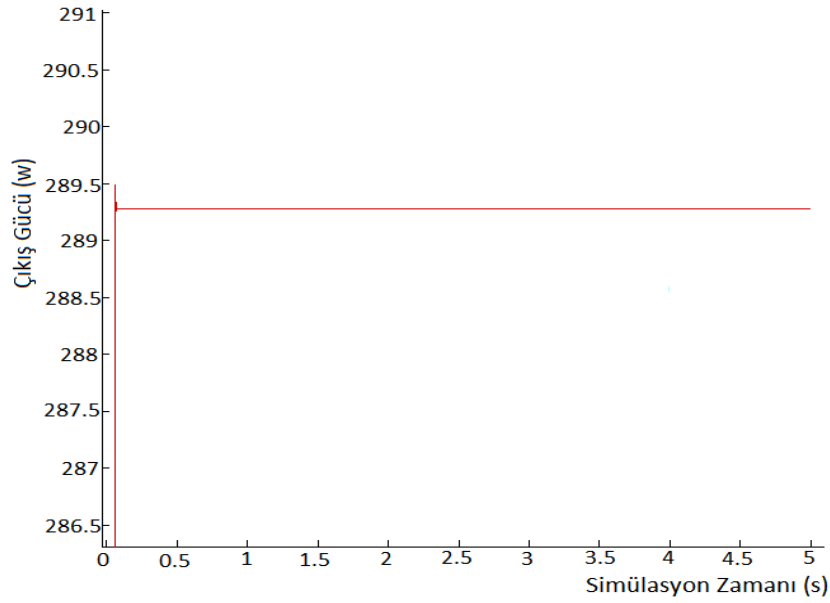
Şekil 4.5 DA-DA yükselten tip çevirici filtre edilmiş çıkış gücü (Duty cycle= 0.3).

Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te sunulan çıkış akım-gerilim-güç değerleri, çalışmada oluşturulan DA-DA yükselten tip çevirici anahtarlama görev süresi oranı için 0.3 değeri seçilerek elde edilmiştir.

DA-DA yükselten tip çeviricide görev süresi oranı 0.5 olarak değiştirilirse;



Şekil 4.6 DA-DA yükselten tip çevirici çıkış akım ve gerilimi (Duty cycle= 0.5).



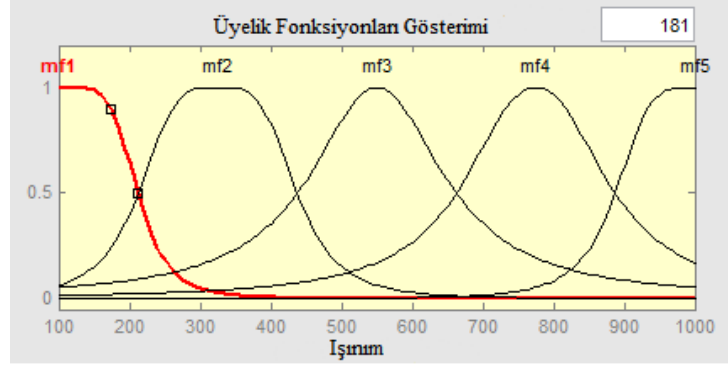
Şekil 4.7 DA-DA yükselten tip çevirici filtre edilmiş çıkış gücü (Duty cycle= 0.5).

Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de sunulan çıkış akım-gerilim-güç değerleri, çalışmada oluşturulan DA-DA yükselten tip çevirici anahtarlama görev süresi oranı için 0.5 değeri seçilerek elde edilmiştir. Sonuçta verilen anahtar görev süresi değerine bağlı olarak gerilim, yükselten tip DA-DA çevirici ile yükseltilmektedir. Bu değer (Görev süresi oranı) yükselten tip çevirici yapısı gereği "1" değerine yaklaştırılabilir ancak birden büyük olamaz. Bu durumun açıklaması materyal ve metot kısmı, 3.4.1.2. Yükselten çeviriciler konusunda verilmiştir. Son olarak Şekil 4.5 ve Şekil 4.7 incelenirse; çıkış gücünün 0.065 saniyeden sonra belirli bir değerde yaklaşık sabit olduğu görülecektir. Böylelikle DA-DA yükselten çevirici için benzetimler gerçekleştirilmiş ve çevirici maksimum güç noktası takip sistemine eklenmiştir.

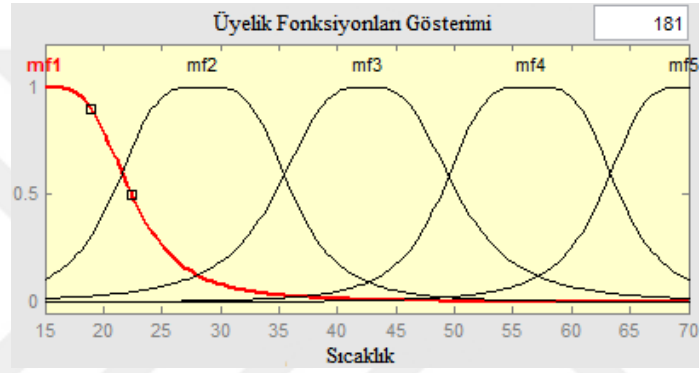
4.3 Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi Benzetimi

Materyal ve metot bölümünde ANFIS modellenmiştir. Bu kısımda öncelikle sistem kuralları ve yapısı sunulmuştur. Daha sonra oluşturulan ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi verileri eğitilmiş ve sistem hatasının çok küçük değerde olması sağlanmıştır. Son olarak ANFIS tabanlı sistem test edilmiştir.

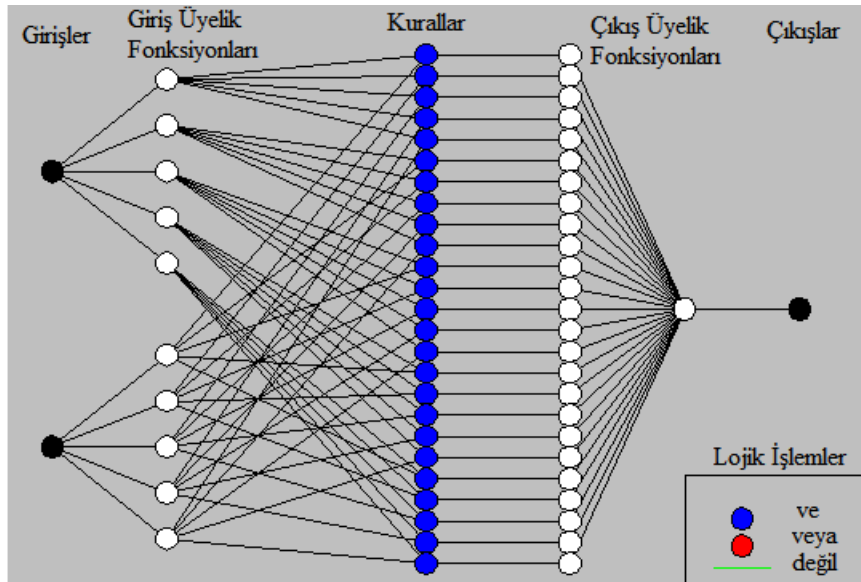
Bölüm 3.3.4. Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sisteminin modellemesi konusunda açıklandığı üzere eğitilmemiş veriler toplanmıştır. Daha sonra 1201x3'lük matris halinde ANFIS sistemine aktarılmıştır. Sıcaklık ve ışıınım giriş değişkenleri için beşer adet üyelik fonksiyonları seçilmiştir. Sistem oluşturulduktan sonra giriş fonksiyonları için 25 adet kural belirlenmiş ve bu kurallar doğrultusunda ANFIS eğitilmiştir. Eğitim işlemine bulanık mantık çıkarım sistemi optimum eğitim metotlarından hibrit eğitim metodu seçilerek başlanmıştır. Bir dizi işlem ve 3000 iterasyon sonucunda sistem hatası olarak 0.00041296 değerine ulaşılmıştır. Bu hata değeri ise literatürdeki çalışmalarda görülen hata değerlerinden oldukça düşüktür. Sistem eğitim işlemi sonrasında belirlenen genelleştirilmiş bell yapısında oluşturduğu mantıksal ilişki doğrultusunda değişiklikler meydana getirmiş ve en optimum üyelik fonksiyon yapısını belirlemiştir. Eğitim işlemi sonrasında ANFIS sistemi tarafından oluşturulan ışıınım ve sıcaklık üyelik fonksiyonları Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.8 Eğitime işlemi sonrası oluşan ışınım giriş üyelik fonksiyonları yapısı.



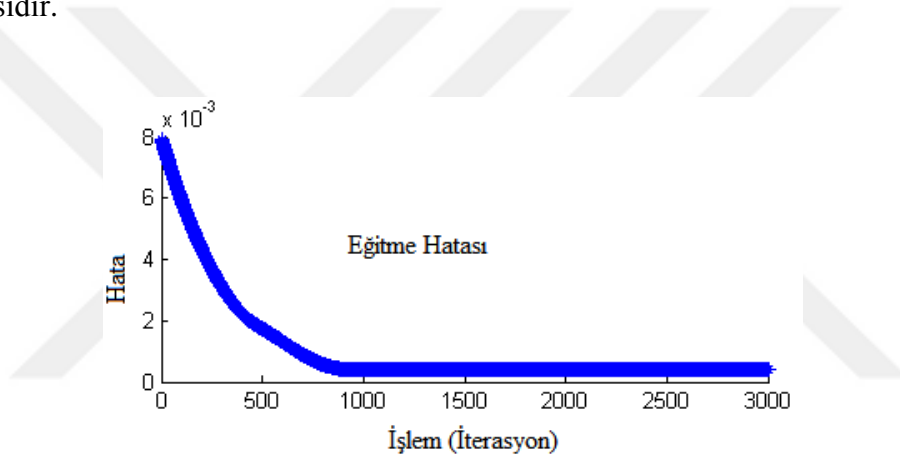
Şekil 4.9 Eğitime işlemi sonrası oluşan sıcaklık giriş üyelik fonksiyonları yapısı.



Şekil 4.10 Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistem mimarisi.

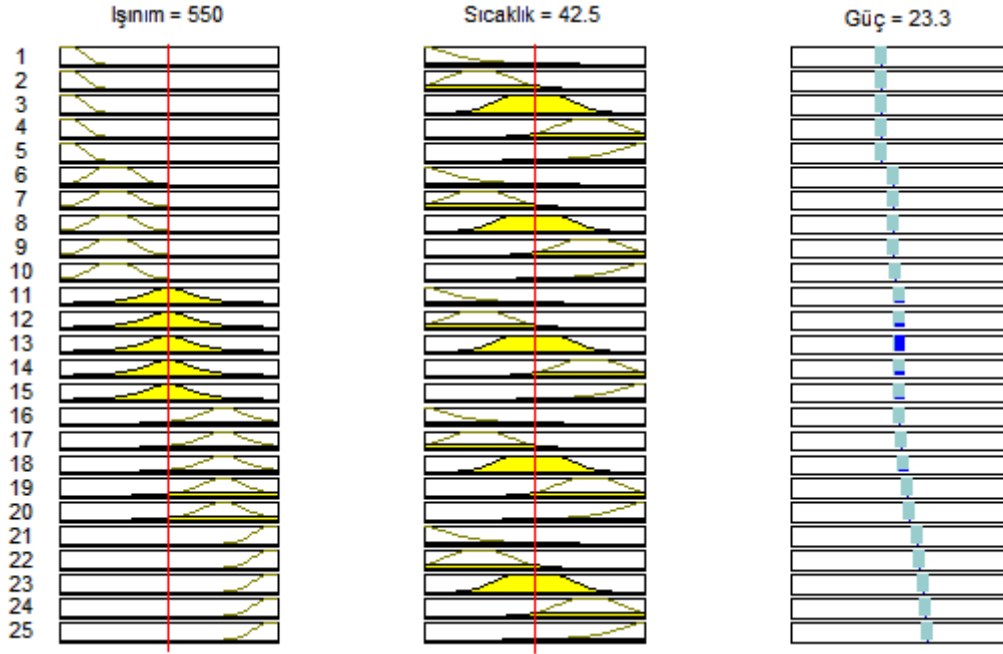
Şekil 4.10'da oluşturulan ANFIS mimarisi sunulmuştur. Görüldüğü üzere sistem girişleri (ışınım ve sıcaklık) giriş üyelik fonksiyonları bölümünde beşer adet üyelik fonksiyonları ile temsil edilmektedir. Daha sonra bu fonksiyonlar ile kurallar belirlenmiştir. 25 adet kural oluşturulduktan sonra ANFIS eğitim sürecine girmiştir. Böylelikle ANFIS ışınım ve sıcaklık giriş değişkenlerine karşı çıkışında fotovoltaik panel çıkış gücü hakkında çıkarım yapabilir duruma getirilmiştir.

Şekil 4.11'de sunulduğu üzere bir dizi işlem ve 3000 iterasyon sonrasında bulanık mantık sistem hatası 0.00041296 değerine kadar düşmüştür. Oluşan hata oranı, çalışma kapsamında 60W fotovoltaik panel değerlerinin oldukça iyi derecede algılandığının göstergesidir.



Şekil 4.11 Eğitim işlemi sonrası bulanık mantık sistemi hatası.

Eğitme işlemi sonrası ANFIS kural tablosu verilirse;



Şekil 4.12 Eğitim işlemi sonrası oluşan ANFIS sistem değerleri.

Şekil 4.12'de ANFIS 'in eğitildikten sonraki çıkarım değerleri sunulmuştur. Değişken ışınlım, sabit sıcaklık ve sabit ışınlım, değişken sıcaklık seviyeleri için ANFIS 'in yapmış olduğu çıkarımlardan birkaçı tablo halinde verilirse;

Çizelge 4.1 Değişken ışınlım, sabit sıcaklık seviyeleri için PV panel çıkış güçleri ve ANFIS'in yapmış olduğu çıkarımlar.

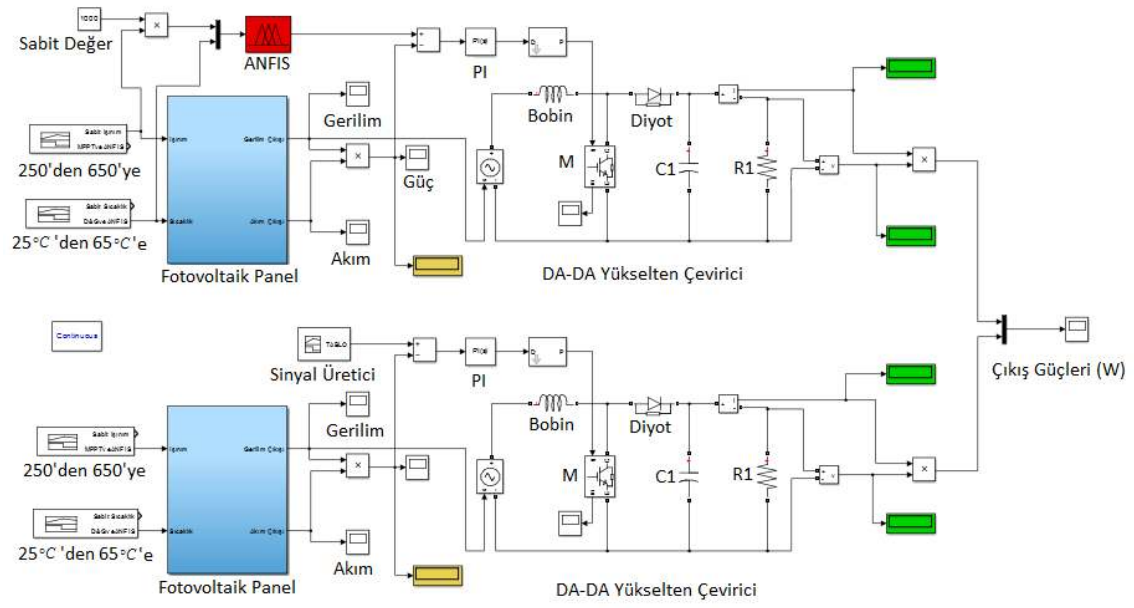
Işınım $\frac{w}{m^2}$	Sıcaklık $^{\circ}C$	PV Panel Çıkış Gücü	ANFIS Çıkarımı
$500 \frac{w}{m^2}$	$25^{\circ}C$	18.88	18.9
$600 \frac{w}{m^2}$	$25^{\circ}C$	27.12	27.1
$700 \frac{w}{m^2}$	$25^{\circ}C$	36.49	36.5
$800 \frac{w}{m^2}$	$25^{\circ}C$	45.84	45.8
$900 \frac{w}{m^2}$	$25^{\circ}C$	53.40	53.4
$1000 \frac{w}{m^2}$	$25^{\circ}C$	58.79	58.8

Çizelge 4.2 Değişken sıcaklık, sabit ışınlm seviyeleri için PV panel çıkış güçleri ve ANFIS 'in yapmış olduğu çıkarımlar.

Sıcaklık °C	İşınım $\frac{W}{m^2}$	PV Panel Çıkış Gücü (W)	ANFIS Çıkarımı
20°C	500 $\frac{W}{m^2}$	18.78	18.8
30°C	500 $\frac{W}{m^2}$	18.99	19
40°C	500 $\frac{W}{m^2}$	19.20	19.2
50°C	500 $\frac{W}{m^2}$	19.41	19.4
60°C	500 $\frac{W}{m^2}$	19.61	19.6
70°C	500 $\frac{W}{m^2}$	19.81	19.8

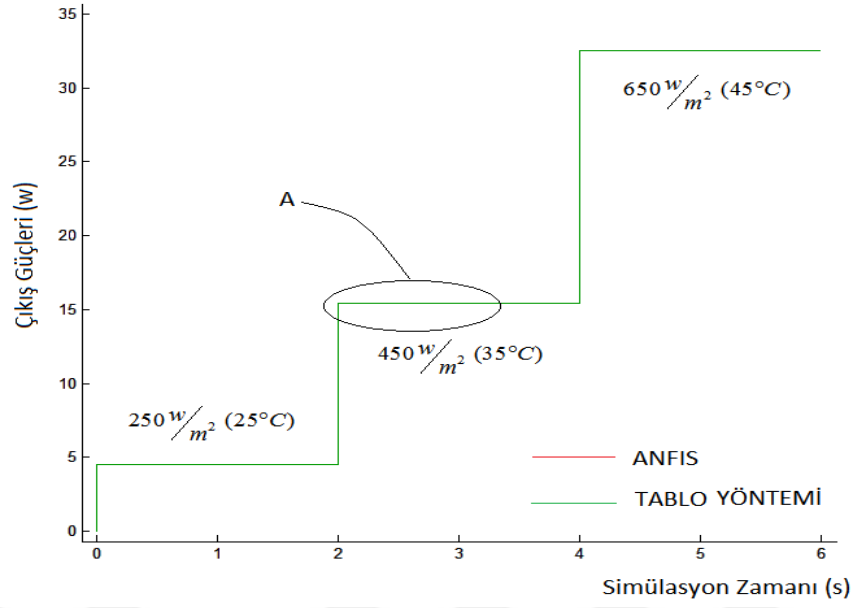
Çizelge 4.1'de değişken ışınlm, sabit sıcaklık, Çizelge 4.2'de değişken sıcaklık, sabit ışınlm seviyeleri için PV panel çıkış güçleri ve ANFIS 'in yapmış olduğu çıkarımlar verilmiştir. Işınlm değişimlerine karşı sabit sıcaklık, sıcaklık değişimlerine karşı sabit ışınlm değerlerinde ANFIS küçük hatalar ile sistem değerleri için çıkarımlarını gerçekleştirmiştir.

Yapılan çalışmada ANFIS, sistemi belirli bir hata değeri ile algılamıştır. Bu durum akıllara ANFIS 'in sistemi tamamen hatasız algıladığında ki sistem çıkışının, şu anki sistem çıkışından farklı olup olmayacağı sorusunu getirmiştir. Bu sorunun cevabı için belirlenmiş bazı değerler ile tablo yöntemi kullanılabilir. Bu sebeple ANFIS sistemi yerine Şekil 4.13'te gösterildiği üzere MATLAB/Simulink ortamında bir sinyal üretici gerçek panel çıkışını 3 değeri için birebir üretecek şekilde tasarlanmış ve aynı sistem bu şekilde çalıştırılmıştır. Deney amaçlı sisteme sırasıyla 250 $\frac{W}{m^2}$ (25°C), 450 $\frac{W}{m^2}$ (35°C) ve 650 $\frac{W}{m^2}$ (45°C) ışınlm ve sıcaklık değerleri uygulanmıştır. Benzetim sonuçları ise Şekil 4.14'te verilmiştir.



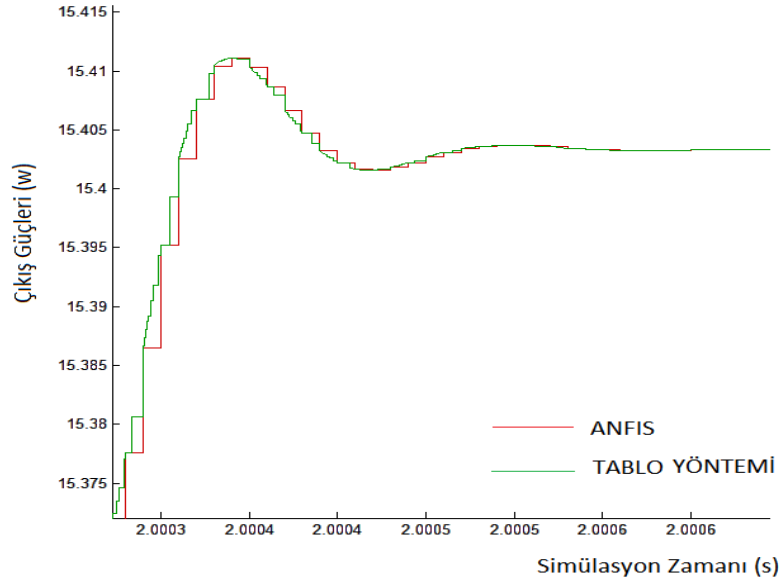
Şekil 4.13 ANFIS ile tablo yöntemi blok gösterimi.

Şekil 4.13'te görüldüğü üzere iki devre arasındaki fark birinci devrede bulunan ANFIS sisteminin ikinci devrede kaldırılması ve yerine sinyal üreticinin eklenmesidir. Sinyal üreticinin oluşturulması için fotovoltaiik panel ikişer saniye aralıklar ile değişen ve daha önceden belirlenen üç değer için çalıştırılmıştır. Simülasyon süresi boyunca fotovoltaiik panelin değişen ışıınım ve sıcaklık seviyelerine karşı çıkışında oluşturduğu güç değerleri kayıt edilmiştir. Bu değerler birebir alınarak MATLAB/Simulink ortamında oluşturulan sinyal üreticiye giriş yapılmıştır. Böylelikle belirlenen ışıınım ve sıcaklık seviyeleri için çıkış değerleri aynen elde edilmiştir. Yapılan deneyin sonucu ise Şekil 4.14'te sunulmuştur.



Şekil 4.14 ANFIS ile tablo yönteminin karşılaştırılması.

Şekil 4.14'te sunulduğu üzere maksimum güç noktası takip sistemi belirlenen ısıtım ve sıcaklık değerleri için öncelikle ANFIS ile çalıştırılmıştır. Daha sonra aynı sistem belirlenen 3 farklı değer için oluşturulan tablo ile çalıştırılmıştır. Oluşan sistem çıktıları ise Şekil 4.14'te aynı şekil üzerinde verilmiştir. Sistem çıktıları birebir aynı gözükmemektedir. Ancak sistem çıktıları birebir aynı değil ve küçükte olsa içerisinde farklar barındırmaktadır. Örneğin A bölgesi yakın bir şekilde incelenirse var olan farklardan birkaçı anlaşılabacaktır.

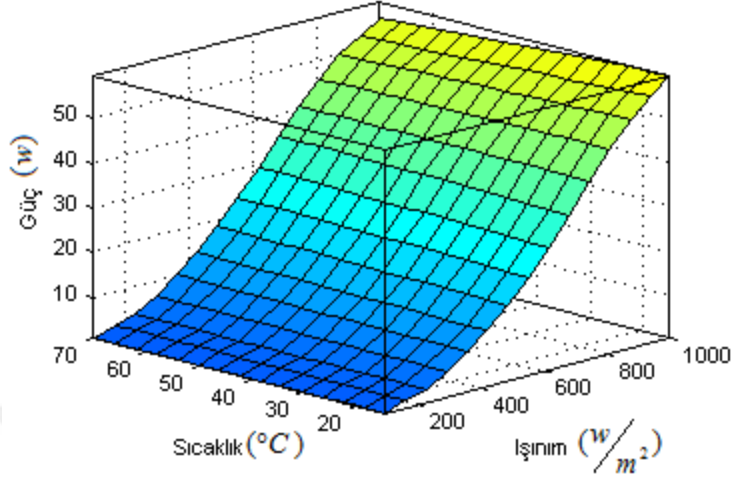


Şekil 4.15 Yakınlaştırılmış A bölgesi gösterimi.

Şekil 4.15'te görüldüğü üzere tablo yöntemi ile yapılan maksimum güç noktası takibi sisteminde çıkış sinyali ANFIS 'e göre daha düzgün bir yol izlemiştir. Zaman açısından ise herhangi bir kayıta değer farklılık görülmemiştir. Böylelikle deney amaçlı tablo yönteminin de belirli değerler için bu sisteme uygulanabilir olduğu görülmüştür.

Maksimum güç noktası takibi için tablo yöntemi ve ANFIS karşılaştırılırsa; bilindiği üzere matematikte herhangi iki tamsayı arasında sonsuz sayının var olduğu kabul edilir. ANFIS tanımlandığı aralıkta (Işınım, sıcaklık ve bu değerlere bağlı oluşan güç çıkarımları) tüm sayılar için hata derecesi nispetinde uygun yakınsak çıkışlar verebilmektedir. Bu kısımda açıklanan tablo yönteminde ise bu aralıktaki tüm ışınlım, sıcaklık ve bu değişkenlere bağlı oluşan çıkış güçlerinin tanımlanması mümkün değildir. Bu sebeple çıkışın tanımlanmadığı değerlerde tablo yöntemi ile maksimum güç noktası takibi çıkış hatası büyük olacaktır. Belirtmek gerekir ki oluşturulacak bazı yöntemler ile ara değerlerin algılanması da sağlanabilir (interpolasyon veya curve fitting). Böylelikle sistem belirlenen aralıkta yaklaşık olarak hatasız şekilde işletilebilir. Ancak bu çalışmada yöntemlerden ANFIS tercih edilmiş ve başka sistemler ile karşılaştırılmıştır.

Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sisteminin eğitime işleminde sonra meydana gelen yapısı incelenirse;



Şekil 4.16 Eğitime işlemi sonrası oluşan ANFIS yüzeysel gösterimi.

Şekil 4.16'da sunulan gösterimde ışınlm değerlerinin 100 W/m^2 - 1000 W/m^2 , sıcaklık değerlerinin 15°C - 70°C ve oluşan gúc değerlerinin de 0W - 60W aralığında olduğu görölmektedir. Ayrıca ANFIS 'in giriş değişkenlerine karşı oluşturduğu çıkış karakteristiği de Şekil 4.16'dan anlaşılmaktadır.

Üretici katalogu incelendiğinde 1000 W/m^2 ışınlm değerinde ve 25°C 'de 60W 'lık bir panelden garanti edilen minimum gúc üretiminin 58W olduğu belirtilmiştir. Fotovoltaik sistemden üretilen maksimum gúcün ise yaklaşık 59.8W olabileceği belirtilmiştir. ANFIS ile fotovoltaik panelden üretilebilecek yaklaşık maksimum gúc değeri sağlanmıştır. Yapılan bir deneyde fotovoltaik sisteme 25°C sabit sıcaklık ve farklı ışınlm değerleri verilmiştir. Ayrıca sistemlere ortak yük değeri ilave edilmiştir. Daha sonra Çizelge 4.3'te verildiği üzere ANFIS sisteminin bulunduğu ve bulunmadığı durumlarda oluşan gúc değerleri gözlenmiştir.

Çizelge 4.3 MPPT sisteminin bulunduğu ve bulunmadığı devrelerin karşılaştırılması.

Işınım Değeri (w/m^2)	Çıkış Gücü (W) (MPPT Yokken)	Çıkış Gücü (W) (MPPT Varken)	Yüzdelik Artış
250	4.726	4.842	%2.45
350	9.262	10.21	%10.23
450	15.31	15.84	%3.46
550	22.83	25.05	%9.72
650	31.71	33.27	%4.14
750	41.29	43.49	%5.33

Çizelge 4.3'te sisteme farklı ışınlım ve sabit sıcaklık değerleri uygulanmıştır. Fotovoltaik sistemin direkt olarak yüke bağlandığı durumdaki çıkış gücü (MPPT yokken) ve sisteme ANFIS 'in bağlandığı durumdaki çıkış güçleri (MPPT varken) verilmiştir. Daha sonra verilen çıkış güçlerindeki yüzdelik farklılıklar belirtilmiştir.

Böylelikle güneş panellerinde adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım yöntemi ile maksimum güç noktası takip sistemi için gerekli tüm birimler modellenmiş ve simülasyonları gerçekleştirilmiştir.

4.4 Simülasyon Sonuçları ve Tartışma

Bu kısımda çalışma içerisinde oluşturulan ANFIS tasarımı, farklı tasarımlara sahip değiştir ve gözle metotları ile kıyaslanarak karşılaştırılmıştır.

Günümüzde en çok kullanılan maksimum güç noktası takip sistemlerinden bir tanesi değiştir ve gözle yöntemidir. Bu yöntemin çalışma mantığı bölüm 3.2.1. maksimum güç noktası takip metotları kısmında açıklanmıştır. Ayrıca bu yöntemin algoritması geliştirilebilir olmakla beraber birçok farklı şekilde gerçekleştirilebilir. Literatürde bulunarak (Malla 2012, Aubai 2013) bu tez çalışması için uyarlanan 2 adet farklı D&G yöntemi ile MPP bulanık ayrı sistemler oluşturulmuştur. Oluşturulan sistemler aynı çalışma şartları, sistem bileşenleri ile birlikte simüle edilmiş ve sonuçları bu çalışmada oluşturulan ANFIS tasarımı ile kıyaslamalı şekilde sunulmuştur.

Tartışma kısmında, materyal ve metot bölümünde sisteme uyarlamaları gerçekleştirilen değiştir ve gözle algoritmasına sahip sistemler kullanılmıştır. Ayrıca bu sistemlerin maksimum güç noktası takip amaçlı içinde bulundurduğu algoritma yapısına ve sayısal değerlerine hiçbir şekilde müdahale edilmemiştir.

Uyarlanan D&G metotlarından ikincisi (D&G-2), birinci algoritmadan (D&G-1) daha iyi kurgulanmıştır. Bu sebeple D&G-1 sistemi ve ANFIS karşılaştırılması özetle incelenerek geçilmiştir. Daha sonra D&G-2 sistemi ile ANFIS detaylı bir biçimde karşılaştırılmıştır.

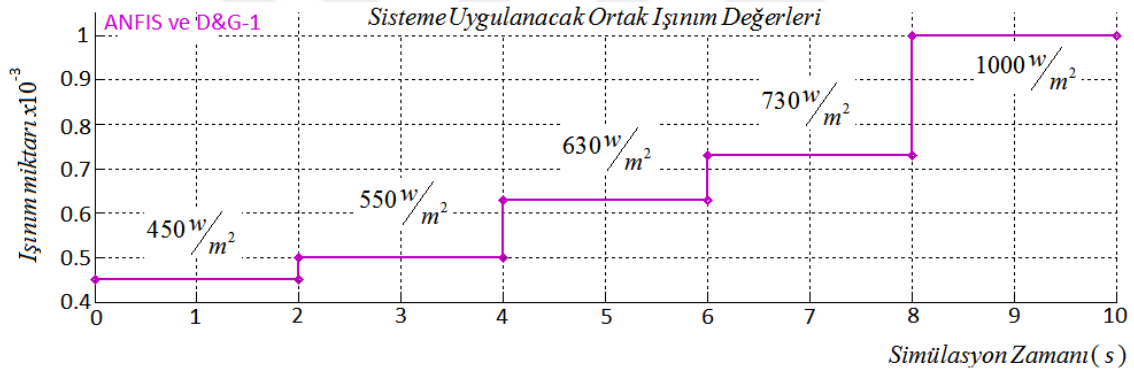
Sistemlerin çalıştırılmadan önceki oluşturma süreçleri değerlendirilirse;

Bölüm 3.3.4. adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sisteminin modellenmesi konusunda ANFIS 'in modellenmesi açıklanmıştır. Daha sonra sistemin eğitilmesi ve benzetim çalışmaları bölüm 4.3. Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi benzetimi konusunda verilmiştir. ANFIS ilk aşamada fotovoltaik panel örnek değerlerine ihtiyaç duymaktadır. Modelleme güçlükleri var olmakla birlikte, tasarlayan kişinin tecrübe ve bilgisi dahilinde hata derecesi düşük bir sistem elde edilebilir. Ayrıca modellendikten sonra sadece uyarlandığı panel için en doğru sonuçları verebilir. Gerçek hayatta doğası gereği cisimler deformasyona uğrayabilir. Böylelikle ilk performanslarından düşme eğilimi gösterebilirler. Bu sebeple ANFIS eğitildikten sonra belirli zaman aralıkları ile güncellenemez ise maksimum güç noktasından uzaklaşabilir. D&G metodu ise başlangıçta tasarlanmak için fotovoltaik panel değerlerine ihtiyaç duymamaktadır. Ayrıca tasarlandıktan sonra tüm fotovoltaik sistemlerde kullanılabilir. Ekonomik bir modeldir. Bu sebeplerden dolayı iyi bir tasarımcı olmadıkça ANFIS sistem tasarımı D&G metodu tasarımından daha uzun ve zor bir tasarımdır. Ancak şartlar sağlandığında ANFIS yöntemi, D&G yönteminden çalışma performansı olarak oldukça iyi olabilmektedir.

4.4.1 Sisteme Uyarlaması Gerçekleştirilen D&G-1 ve ANFIS Yöntemlerinin İncelenmesi

İnceleme amaçlı aynı değerlere sahip 2 maksimum güç noktası takip sistemi oluşturulmuştur. Birinci devrede maksimum güç noktası ANFIS metodu ile bulunurken, ikinci devrede ise değiştir ve gözle metodu (D&G-1) kullanılmıştır. Devrelerde maksimum güç noktası takip sistemleri (ANFIS ve D&G yöntemleri) hariç her bileşen aynıdır.

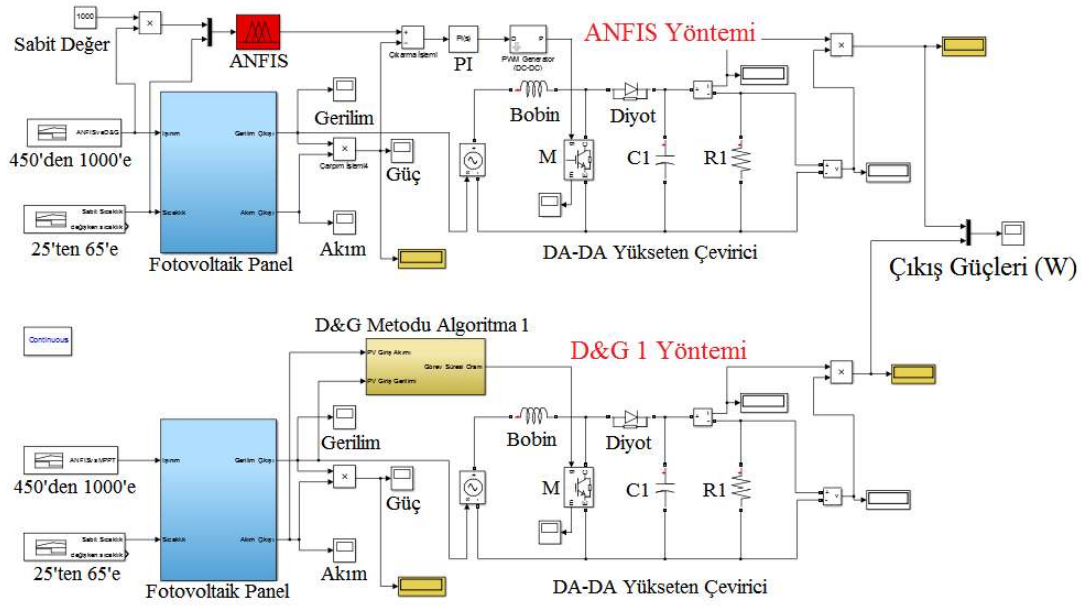
Bu iki sisteme de 450 W/m^2 , 500 W/m^2 , 630 W/m^2 , 730 W/m^2 ve 1000 W/m^2 değerlerinde rastgele seçilmiş ısıtım değerleri uygulanmıştır. Ayrıca sistemde sıcaklık 25°C 'de sabit tutulmuştur.



Şekil 4.17 Sistemlere uygulanan farklı ısıtım seviyeleri.

Şekil 4.17'de sunulduğu üzere oluşturulan sistem benzetim süresi 10 saniye olarak belirlenmiştir. Uygulanan ısıtım değerleri ise 2 saniye aralıklar ile değiştirilmektedir.

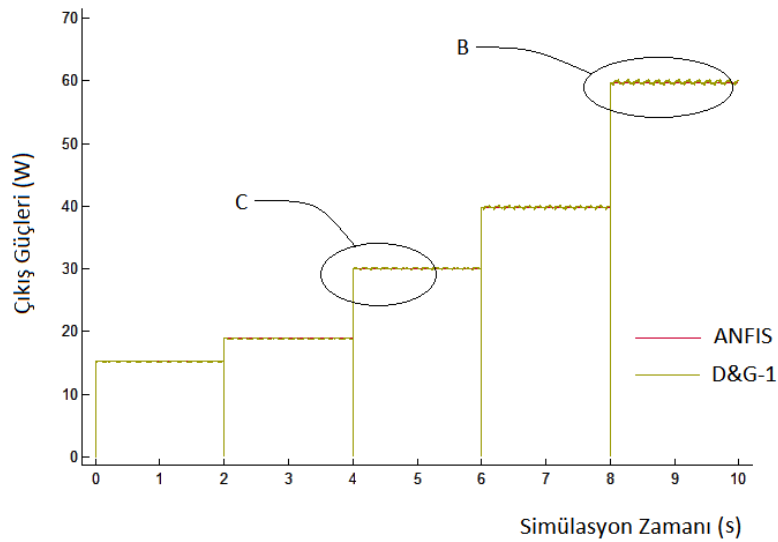
Oluşturulan genel sistem sunulursa;



Şekil 4.18 D&G-1 yöntemi ile ANFIS yöntemlerinin karşılaştırılması.

Sistemlerin çalıştırıldıktan sonraki performansları değerlendirilirse;

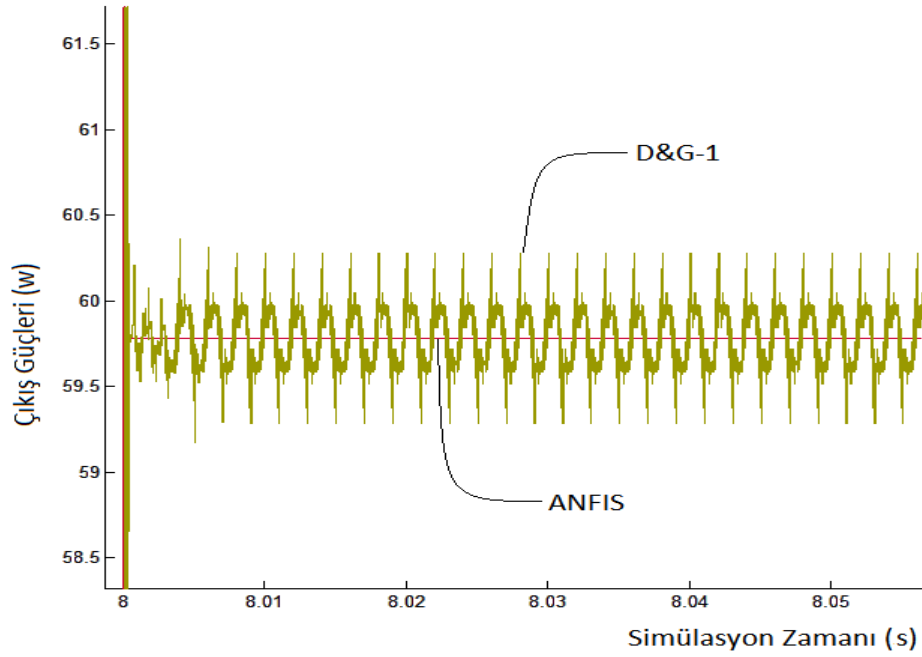
Şekil 4.18'de ANFIS ve D&G-1 metodlarının karşılaştırılması için oluşturulan sistemler sunulmuştur. Sistemler çalıştırılır ve simülasyon sonuçları aynı ekranda karşılaştırmalı bir biçimde sunulursa;



Şekil 4.19 ANFIS ve D&G-1 yöntemlerinin karşılaştırılması.

Şekil 4.19'a dikkat edilirse, D&G-1 algoritması her ışıınım değışiminde yeni maksimum güç değeri bulmak amacı ile bir hayli salınımlı yapmaktadır. Bu çalışmada oluşturulan ANFIS yöntemi ise salınımlı konusunda D&G-1 algoritmasından oldukça iyi durumdadır.

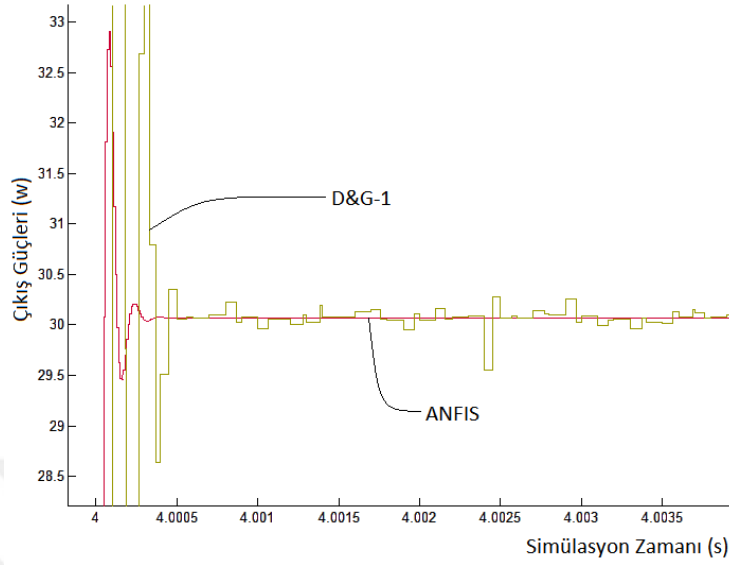
B bölgesini yakın bir şekilde inceleyecek olursak;



Şekil 4.20 Yakınlaştırılmış B bölgesi gösterimi.

Şekil 4.20'de verilen yakınlaştırılmış B bölgesi incelendiğinde, D&G yönteminin gerçek güç değeri etrafında sürekli salınımlı olduğu gözlenmiştir. Bu durum D&G yönteminin maksimum güç noktası bulma algoritması ile alakalı bir durumdur. Ancak ANFIS metodu güç değerlerini önceden çıkarım yaptığından sisteme girilen ışıınım ve sıcaklık değerlerine göre olması gereken güç değerlerini yaklaşık osilasyonsuz olarak bulmuştur.

C bölgesi yakın bir şekilde incelenirse;

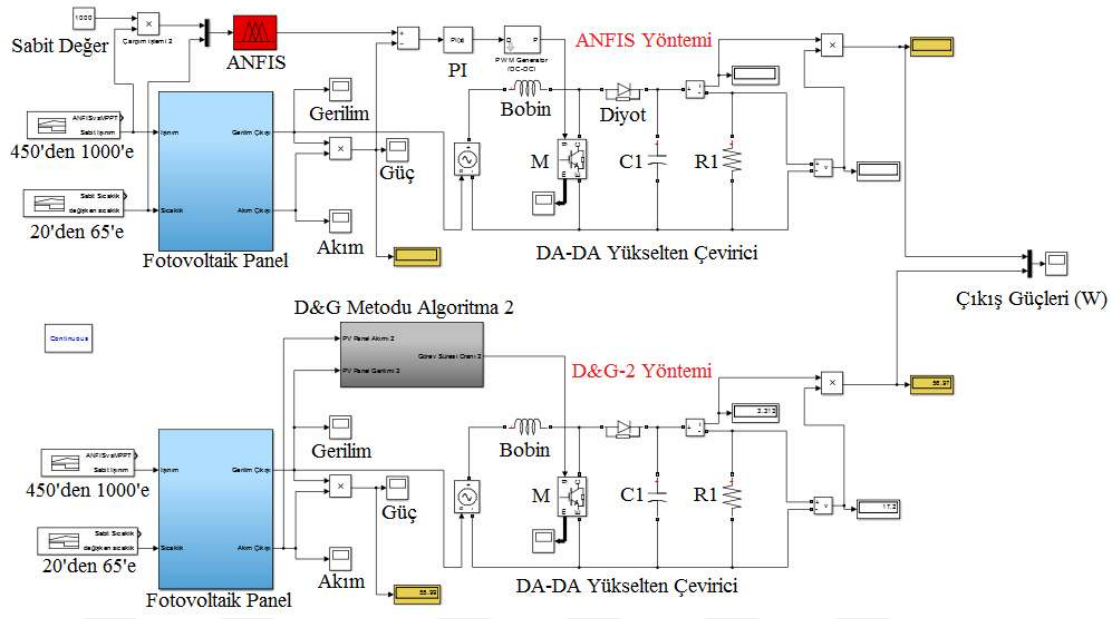


Şekil 4.21 Yakınlaştırılmış C bölgesi gösterimi.

Şekil 4.21'de verilen yakınlaştırılmış C bölgesinde, ANFIS 'in değişen ısıtım değerine hızlıca adapte olduğu görülmüştür. Ancak D&G-1 değişen ısıtım değerine ANFIS kadar hızlı adapte olamamıştır. Böylece D&G-1 ve ANFIS yapılarının karşılaştırma işlemleri sona ermiştir. Detaylı karşılaştırma için, daha iyi kurgulanmış olan D&G-2 sistemine geçilmiştir.

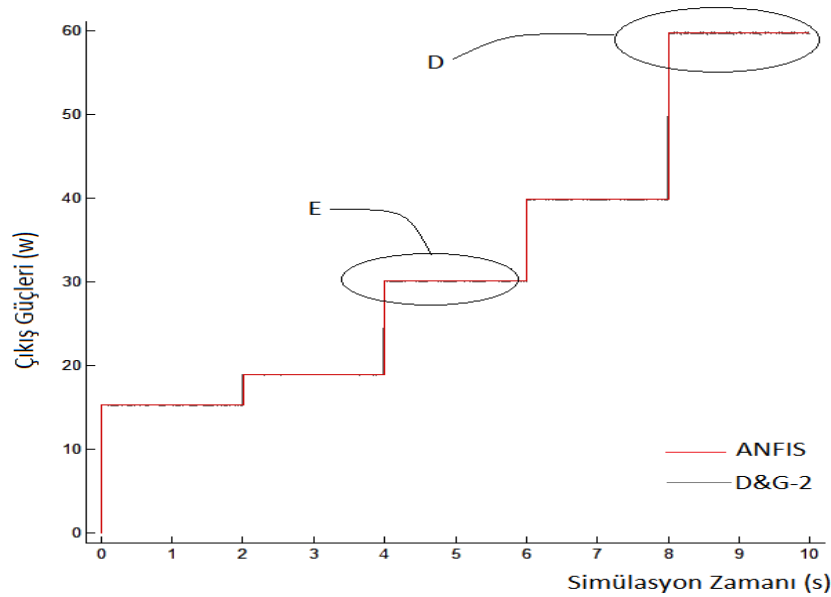
4.4.2 Sisteme Uyarlaması Gerçekleştirilen D&G- 2 ve ANFIS Yöntemlerinin İncelenmesi

D&G-1 algoritması için uygulanan adımlar bu kısımda da uygulanmış, aynı değerlere sahip 2 maksimum güç noktası takip sistemi tekrar oluşturulmuştur. Birinci devrede maksimum güç noktası takibi ANFIS metodu ile yapılırken, ikinci devrede ise değiştir ve gözle metodu (D&G-2) kullanılmıştır. Devrelerde maksimum güç noktası takip sistemleri (ANFIS ve D&G yöntemleri) hariç her bileşen aynıdır. Bu kısımda tekrar ilk adımlar uygulanmıştır. Daha sonra sistemin sabit ısıtım, değişken sıcaklık ve değişken yük deneylerine geçilmiştir.



Şekil 4.22 D&G 2 yöntemi ve ANFIS yönteminin karşılaştırılması.

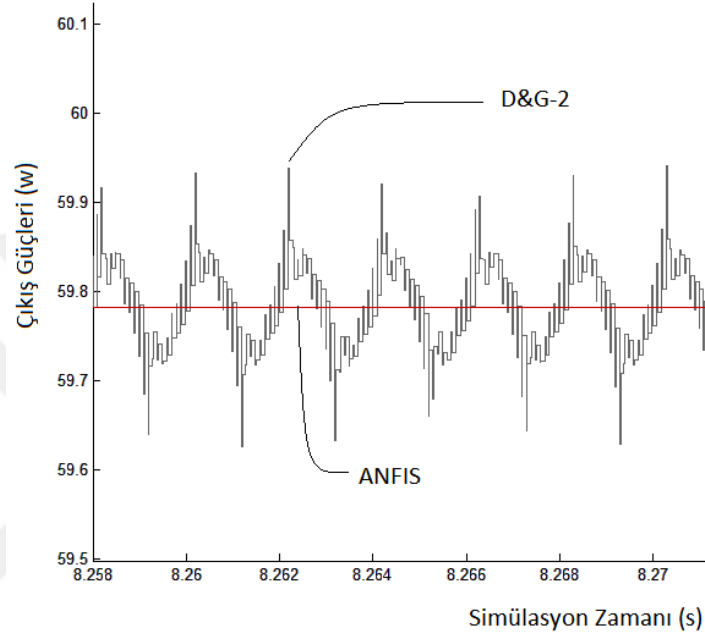
Şekil 4.22'de ANFIS ve D&G-2 metotlarının karşılaştırılması için oluşturulan sistemler sunulmuştur. Bu iki sisteme de 450 W/m^2 , 500 W/m^2 , 630 W/m^2 , 730 W/m^2 , 1000 W/m^2 değerlerinde ışıınım değerleri tekrar uygulanmıştır. Ayrıca, sistem sıcaklığı 25°C 'de sabit tutulmuştur.



Şekil 4.23 ANFIS ve D&G-2 yöntemlerinin karşılaştırılması.

Sistemde kullanılan D&G-2 metodu, literatürde kullanılan değiştir ve gözle algoritmaları içerisinde en optimum algoritmalarından bir tanesidir. Şekil 4.23'e dikkat edilirse, sistem salınımları D&G-1 algoritması kadar fazla değildir.

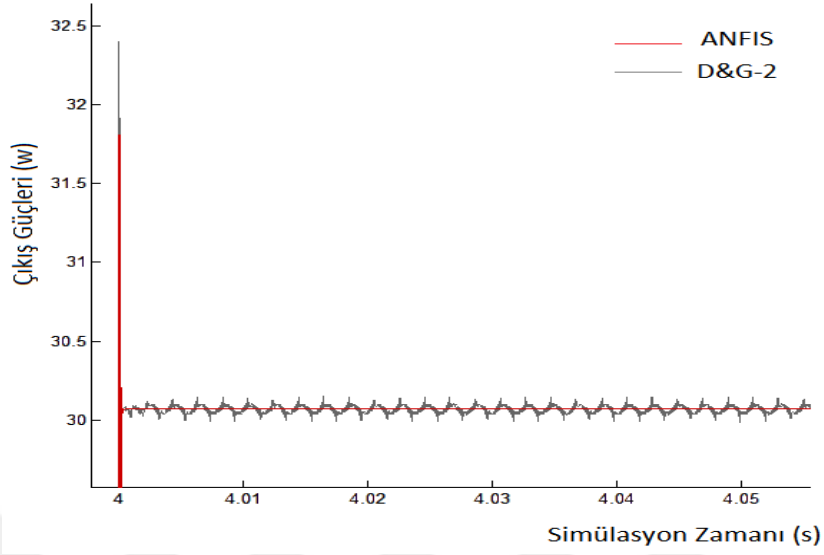
D bölgesi yakın bir şekilde incelenirse;



Şekil 4.24 Yakınlaştırılmış D bölgesi gösterimi.

Şekil 4.24'te görüldüğü üzere D&G metodu algoritma yapısı gereği belirli bir noktada sabit duramamakta ve sürekli salınımlı bir biçimde maksimum güç araması yapmaktadır. Bu durum enerji sarfiyatına neden olmaktadır.

E bölgesi yakın bir şekilde incelenirse;



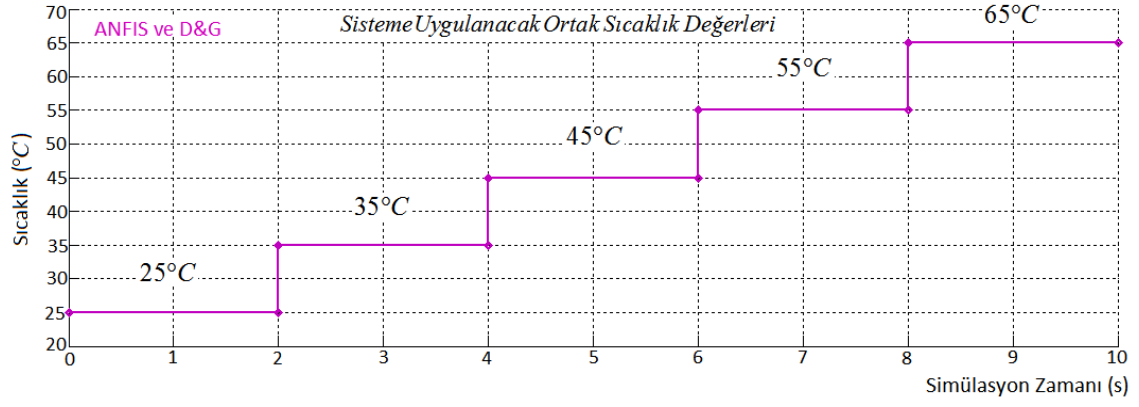
Şekil 4.25 Yakınlaştırılmış E bölgesi gösterimleri.

Şekil 4.25'te D&G-2 sisteminin maksimum gücü bulmak için yapmış olduğu salınımlar sunulmuştur. D&G-1 sisteminde bu salınımların çok yüksek oldukları görülmektedir.

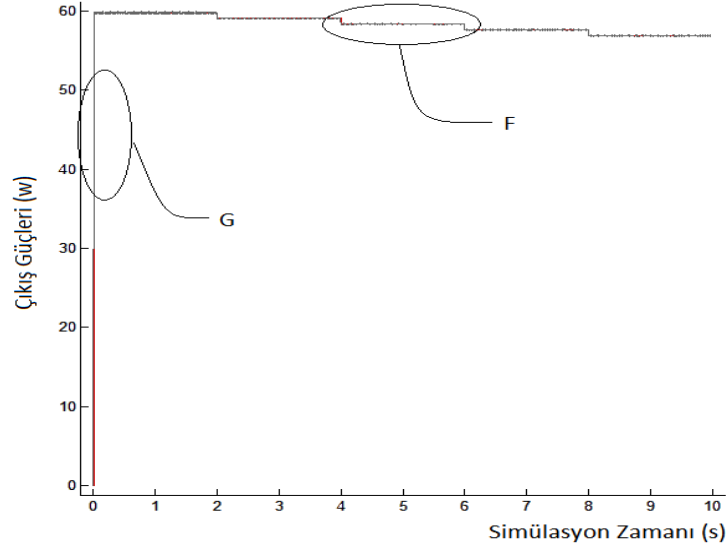
D&G-2'nin yeni maksimum güç noktası bulma performansına değinilirse; D&G-2 sistemi iyi kurgulandığından ısıtım veya sıcaklık artışlarında yaklaşık olarak ANFIS yapısına yakın bir karakteristik sergilemektedir.

Sabit ısıtım, değişken sıcaklık deneylerine geçilirse;

Sistemlere Şekil 4.26'te sunulduğu üzere 25°C , 35°C , 45°C , 55°C , 65°C seviyelerinde farklı sıcaklık dereceleri uygulanmış ve sonuçları gözlenmiştir. Bu deney sırasında ısıtım sabit olup, $1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ 'dir.



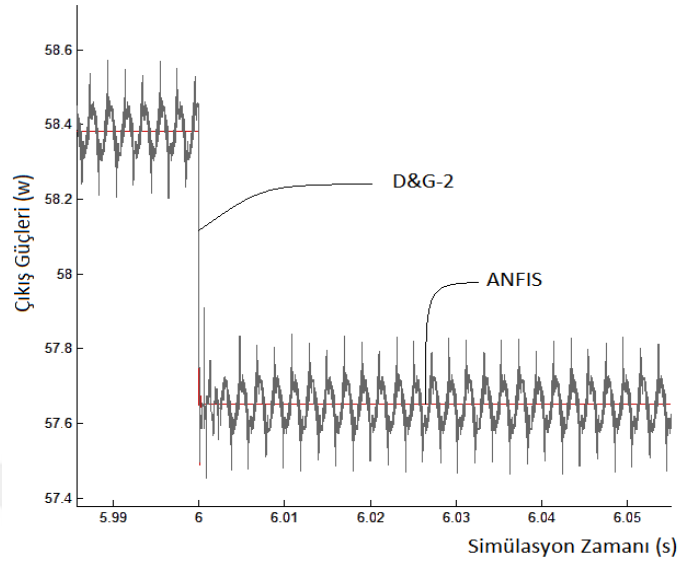
Şekil 4.26 Sisteme uygulanan farklı sıcaklık seviyeleri.



Şekil 4.27 ANFIS ve D&G 2 yöntemlerinin karşılaştırılması.

Şekil 4.27'de F ve G isimli iki bölge işaretlenmiştir. F bölgesi, değişken sıcaklık dereceleri karşısında ANFIS ve D&G-2 sistemlerinin maksimum güç noktasını bulma sürecini göstermek amaçlıdır. G bölgesinin belirlenme amacı ise sisteme başlangıç anında uygulanan $0-1000 \frac{W}{m^2}$ ışıınım değişimleri karşısında sistemlerin tepki hızlarının gözlemlenecek olmasıdır.

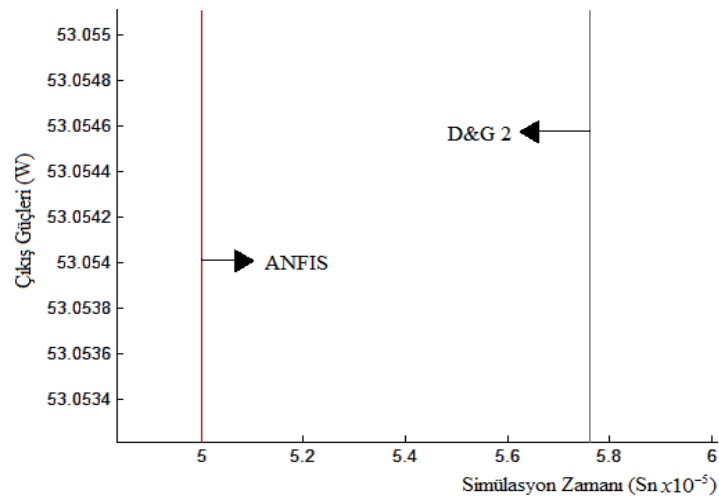
F bölgesi yakın bir şekilde incelenirse;



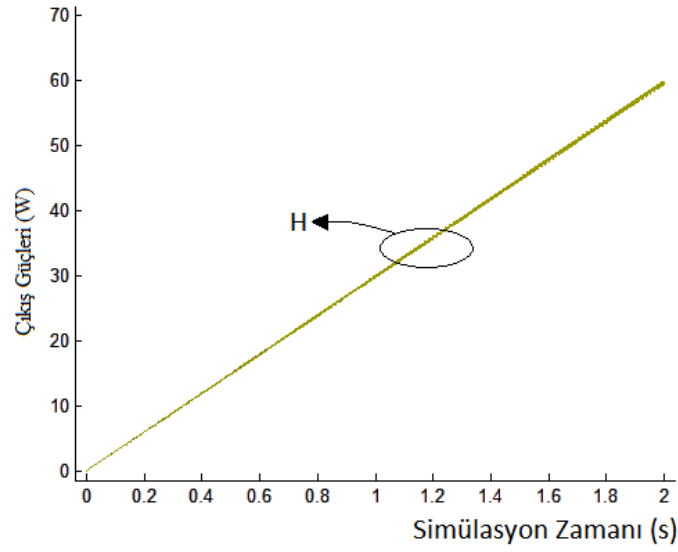
Şekil 4.28 Yakınlaştırılmış G bölgesi gösterimi.

Şekil 4.28'de görüldüğü üzere D&G metodu sürekli maksimum güç araması yapmaktadır. Bu arama sürekli enerji sarfiyatına neden olmaktadır. Bu durum istenmeyen bir durumdur.

G bölgesi yakın bir şekilde incelenirse;



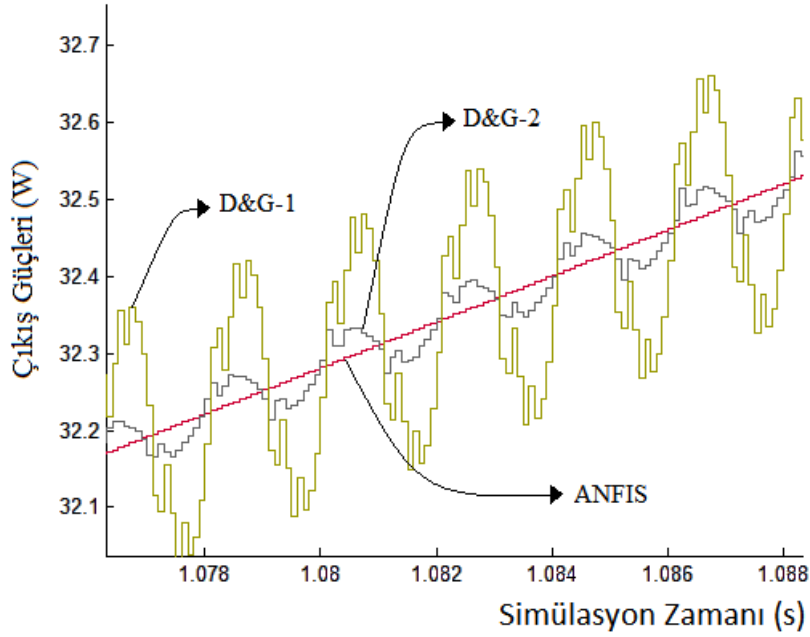
Şekil 4.29 Yakınlaştırılmış G bölgesi gösterimi.



Şekil 4.31 ANFIS, D&G-1 ve D&G-2 sistemlerinin farklı yüklerde karşılaştırılmaları.

Şekil 4.31'de ANFIS, D&G-1 ve D&G-2 sistemlerinin değişken yük deneyinde, sistemler sabit ışınlım $1000 \frac{W}{m^2}$ ve sabit sıcaklık olarak $25^{\circ}C$ 'de karşılaştırılmıştır.

H bölgesi yakın bir şekilde incelenirse;



Şekil 4.32 Farklı yüklerde ANFIS, D&G-1 ve D&G-2 sistemlerinin karşılaştırılması.

Şekil 4.32'den görüldüğü üzere D&G-1 her değişen yük değerinde algoritması gereği maksimum güç noktasını bulmak amacı ile salınımlıdır. D&G-2 daha kararlı oluşturulmuş sistem algoritması ile daha az salınımlı olarak maksimum güç noktası araması yapabilmektedir. ANFIS sistemi ise çıkışta oluşan değerleri önceden çıkarım yaptırıldığından duruma hızlıca adapte olmaktadır. Böylelikle ANFIS farklı tasarıma sahip, iki adet farklı değiştir ve gözle sistemleri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan benzetim çalışmalarında önerilen ANFIS 'in sistem kurulum aşamasında zorluklarının bir hayli fazla olduğu, ancak iyi kurgulanırsa işletme (maksimum gücü bulma) sürecinde daha başarılı olduğu kanısına varılmıştır.



5. SONUÇ

Bu tez çalışmasında maksimum güç noktası takibi için adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım yöntemi önerilmiştir. Bu yöntem yapay sinir ağlarının öğrenme, bulanık mantık metodunun da karar verebilme özelliklerine sahiptir. Ayrıca öznel olarak sayısal ifadelerle, sözel değerler katılabilmesine de imkan sağlamaktadır. Çalışmada piyasada oldukça yaygın olarak kullanılan 60 Watt'lık bir fotovoltaiik panel MATLAB/Simulink ortamında elde edilmiştir. Elde edilen fotovoltaiik panel, farklı ışıınım ve sıcaklık değerleri ile test edilmiştir. Fotovoltaiik panele uygulanan ışıınım, sıcaklık ve bu giriş değişkenlerine bağılı oluşan güç değerleri kayıt edilmiştir. Kayıt edilen değerler adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemine aktarılmıştır. Ardından uygun üyelik fonksiyonları seçimi ve verilerin eğitim işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Daha sonra DA-DA yükselten çevirici benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel benzetimlerin ardından ANFIS yöntemi, farklı şekilde oluşturulmuş iki adet D&G yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Farklı ışıınım sabit sıcaklık, farklı sıcaklık sabit ışıınım ve sabit ışıınım sabit sıcaklık farklı yük deneyleri gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçları ve tartışma bölümünde yapılan benzetim sonuçları ise açıkça sunulmuştur.

Sonuçta ANFIS sayesinde diğerk birçok MPPT metodundan daha hızlı daha kararlı bir sistem oluşturulmuştur. Daha az zaman ve güç kaybı ile sistem enerjisinin yüke aktarımı sağlanmıştır. Ayrıca MPPT bulundurmeyan sisteme oranla bazı değerlerde yaklaşık %10 seviyelerinde kazanç sağlanmıştır. Bilindiğı üzere maddelerin doğal yapısı gereğı zamanla verimlilikleri değişmektedir. Fotovoltaiik pillerin de zamanla verimlilikleri düşmektedir. Eğitim verilerinin alınmasından sonra, maksimum güç noktası takip edilen panel karakteristiğı farklılık gösterebilmektedir. Bu karakteristiğı bağılı oluşan yeni maksimum güç noktalarının belirlenmesi için ise interaktif bir ara yüz geliştirilebilir. Bu arayüz sayesinde sistemlerin verimlilikleri belirli periyotlarda kontrol edilerek maksimum gücün alıcıya ulaşması sağlanabilir. Böylelikle sistemin en büyük dezavantajlarından biri ortadan kaldırılmış olur.

6. KAYNAKLAR

- Abu-Rub, H., Iqbal, A., Ahmed, M., Peng, F.Z., Li, Y., Baoming G. (2013). " Quasi-Z-Source Inverter-Based Photovoltaic Generation System With Maximum Power Tracking Control Using ANFIS", *IEEE Transactions On Sustainable Energy*, Vol: **4**, No: **1**, 11-20.
- Ahmad M.Ibrahim, (1997). " Introduction to Applied Fuzzy Electronics", Prentice Hall.
- Altıntaş, N., (2007). "Yumuşak anahtarlama DC-DC dönüştürücülerin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 3-4.
- Arslan, A., İnce, R., (1996). "The Neural Network Approximation to The Size Effect in Fracture of Cerametic Materials", *Engineering Fracture Mechanics*, Vol **54**, No **2**, 249-261.
- Aubai. (2013). "Simplified PV Module Simulator With MPPT", Matlab/Mathworks, file id #43606.
- Baldwin, J. F. and Pilsworth, B. W., (1980). "Axiomatic approach to implication for approximate reasoning with fuzzy logic," *Fuzzy Sets Syst.*, vol **3**, pp. 193-219,
- Berrera, M., Dolara, A., Faranda, R. ve Leva, S. (2009). "Experimental Test of of Seven Widely- Adopted MPTT Algorithms", IEEE Bucharest Power Tech Conference, 28th June-2nd July, Bucharest.
- Bin-Halabi, A., Abdenmour, A., Mashaly, H. (2014). "An Accurate ANFIS-based MPPT for Solar PV System", *International Journal of Advanced Computer Research*, 588-595.

Boztepe, M. (2002). " İzmir (Bornova) Koşullarında Şebekeye Bağlı Bir Fotovoltaik Enerji Sisteminin Tasarımı ve Denenmesi", Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Güneş Enerjisi Anabilim Dalı.

Bressloff, P. C., Weir, D. J., (1991). " Neural Networks ", The *GEC Journal of Research*, Vol **8**, No **3**, 151-169.

Cebeci, M. (2012). "Otomatik Kontrol Laboratuvarı PID Kontrolör Karakteristiklerinin İncelenmesi ve Analog Olarak Pozisyon Kontrol Sistemlerinde Uygulanması.", Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ.

Civelek, Ö., (1999). "Dairesel Plakların Nöro-Fuzzy Tekniği ile Analizi", *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt. **1**, Sayı **2**, 13-31.

Çakır, G. (2011). "Yumuşak anahtarlama DC-DC boost dönüştürücü topolojisi". Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1-9.

Çayıroğlu, İ. (2013). " İleri Algoritma Analizi 5, Yapay Sinir Ağları, Ders Notu", Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Sf: 1-13.

Dayhoff, J.E., Deleo, J.M. (2001). "Artificial neural network: Opening the black box. Cancer", 91, 1615–1635.

Demirtaş, M., Sefa, İ., Irmak, E. ve Çolak, İ. (2008). "Güneş enerjisi sistemleri için mikrodenetleyici tabanlı DA/DA yükselten dönüştürücü.", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **23** (3): 719-728.

Demir, Y.K., (1997). "Yapay Sinir Ağları ile Ulaştırma Taleplerinin Modellenmesi", İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, İstanbul.

- Deutsche Gesellschaft Fur Sonnenenergie (DGS) (2008), "Planning and Installing Photovoltaic Systems", *A Guide for Installers, Architects and Engineers*, Second Edition, Earthscan, London.
- Duffie, J.A, Beckman, W.A., (1991)."Solar Engineering and Thermal Processes", John Wiley&Sons Ltd.
- Durusu, A. (2011)."Fotovoltaik Güneş Enerji Sistemlerinde Kullanılan Maksimum Güç Noktası Takip Ediciler İçin Farklı Algoritmaların Karşılaştırılması.", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Efe, M., Kaynak, O., (2000)." Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları (1. Basım)", Boğaziçi Üniversitesi, 148 s, İstanbul.
- Esrām, T. ve Chapman, P.L., (2007)."Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, **22**, 2, 439–449.
- Elmas, Ç. (2003). "Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama)". Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Elmas, B. (2006)."Yüksek Frekans Anahtarlama Faz Kontrollü DC-AC İnvörtör.", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Enslin, J. H. R., Wolf, M. S., Snyman, D. B., Swiegers, W. (1997) "Integrated Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Converter". *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, **44(6)** p.p.: 769-773.
- Erickson, R. W. (1999). "DC-DC Power Converters". *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering*, **5**: 53-63.

- Femia, N., Petrone, G., Spagnuolo, G. ve Vitelli, M. (2005). "Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method", *IEEE Trans. Power Electron*, **20**: 963–973.
- Fırat, M., Güngör, M., (2004). "Askı Madde Konsantrasyonu ve Miktarının Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi", *İmo teknik dergi*, 3267-3287, yazı 219.
- Fukami, S., Mizumoto, M. and Tanaka, K. (1980). "Some considerations of fuzzy conditional inference," *Fuzzy Sets Syst.*, vol. **4**, DD. 243-273.
- Klir, G. J., Folger, T.A., (2005). "Fuzzy Sets", Uncertainly and Information, Prentice Hall.
- Green, M.A., S Emery, K., Hishikawa Y., Warta, W. and Dunlop, E. D., (2015). "Solar Cell Efficiency Tables (Version 45)", *Progress In Photovoltaics, Research and Applications Prog.Photovolt: Res. Appl.*
- Gülgün, R. (1987). "Güç Elektroniğine Giriş", Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Hart, D. W. (2011). "DC-DC converters", *Power Electronics*, 1st ed., McGraw-Hill, New York, 211-220.
- Hasaneen, B. M., and Mohammed, A. A. E. (2008). "Design and simulation of DC/DC boost converter", *Power System Conference*, Aswan, 335-340.
- Haykin, S.S., (1994). "Neural Networks: A Comprehensive Foundation", NY: Mcmillan Press.
- Hussein, K.H., Muta, I., Hoshino, T. ve Osakada, M. (1995). "Maximum photovoltaic power tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions". *IEE Proc. Generation Transmission Distrib.* **142**: 59–64.

- Iqbal, A., Abu-Rub, H., Ahmed, M. (2010). "Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System based Maximum Power Point Tracking of a Solar PV Module", *IEEE International Energy Conference*, 51-56.
- Jain, S. and Agarwal, V., (2007). "Comparison of the Performance of Maximum Power Point Tracking Schemes Applied to Single-Stage Grid-Connected Photovoltaic Systems", *IET Electric Power Applications*, **1**, **5**, 753–762.
- Jang, J.S.R., (1993). "ANFIS: Adaptive-network based fuzzy inference systems", *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, **23**: 665-685.
- Jang, J.S.R., Sun, C.T. and Mizutani, E., (1997). "Neuro Fuzzy and Soft Computing a Computational Approach to Learning and Machine Intelligence", Prentice Hall, USA.
- Karthi, S. (2013). "Boost Converter With PI Controller", Matlab/Mathworks, File ID : #42725, Ver: 1.0.
- Katan, R.E. , Agelidis V.G. ve Nayer C.V. (1996). "Performans Analysis of A Solar Water Pumping System" , *IEEE*, **1**: 81-87
- Kazimierczuk, M. K. (2008). "Classification of power supplies", *Pulse-Width Modulated DC DC Power Converters* 1st ed., Wiley, Ohio, 1-3.
- Kharb, R. K., Shimi S. L., Chatteji, S., Ansari Md. (2014). " Modeling of solar PV module and maximum power point tracking using ANFIS", *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Science Direct*, 602-612.
- Kharb, R.K., Shim, S.L., Chatterji, S. (2013). "Improved Maximum Power Point Tracking for Solar PV Module using ANFIS", *INPRESSCO*, Vol **3**, No **5**, 1878-1885.

- Liu, F., Kang, Y., Zhang, Y. ve Duan, S., (2008). "Comparison of P&O and Hill Climbing MPPT Methods for Grid-Connected PV Converter", 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA 2008), Singapore, 804–807.
- Malla, S.G. (2012). "Perturb and Observe (P and O) Algorithm", IIT Bhubaneswar, India, Matlab/Mathworks, file id #39641, Email: malla_phd@yahoo.com.
- Muthuramalingam, M., Manoharan, P.S. (2014). " Simulation and Experimental validation of Distributed MPPT algorithms for partially shaded Photovoltaic systems " *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097,92-96.
- Nacar, S. (2014). "Pv Sistemler İçin Yumuşak Anahtarlama Maksimum Güç Noktası İzleyici Tasarımı ve Uygulaması.", Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Narendra, K. and Parthasarathy, K., (1990). "Identification and Control of Dynamical Systems Using Neural Networks", *IEEE Trans. on Neural Networks*,1:4-27.
- Özdemir, A. (2012). "Dijital Kontrol Sistemleri Ders Notu", Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü.
- Özdemir, Ş. (2007). "Fotovoltaik Sistemler İçin Mikro Denetleyicili En Yüksek Güç Noktasını İzleyen Bir Konvertörün Gerçekleştirilmesi.", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Partain, L.D., (1995). "Solar Cells and Their Applications", A Wiley-Interscience Publication, California, 50-550.
- Pukhrem, S. (2013). "A Photovoltaic Panel Model in Matlab/Simulink ", Matlab/Mathworks, file id #41537, Version: 1.3, Email: shivananda.pukhrem@yahoo.com

- Salas, V., Olias, E., Barrado, A. and Lázaro, A. (2006). "Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems". *Solar Energy Materials And Solar Cells*, **90** (11): 1555-1578.
- Santos, J. L., Antunes, F., Chehab, A., Cruz, C., (2006) "A maximum power point tracker for PV systems using a high performance boost converter", *Solar Energy*, **80**(7): 772-778.
- Saraç E. (2012). "Bir Çağrı Merkezindeki Projelerin Anfis Metodu İle Değerlendirilmesi ve Seçimi.", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Shanthi, T., Vanmukhil, A.S., (2013). "Photovoltaic Generation with MPPT Control Using ANFIS", *International Electrical Engineering Journal (IEEJ)*, No:3, 1105-1115.
- Subiyanto, S., Mohamed, A., Hannan, M.A. (2012). "Intelligent Maximum Power Point Tracking for PV System Using Hopfield Neural Network Optimized Fuzzy Logic Controller", *Energy and Buildings*, **51**:29–38.
- Stachowicz, M. S. and Kochanska, M. E. (1987) "Fuzzy modeling of the process," in Proc. 2nd IFSA Congress, Tokyo, Japan.
- Sugeno M. And Kang, G.T.,(1998)." Structure Identification of Fuzzy Model", *Fuzzy Sets and System*, 28, 15-30.
- Şentürk, S., (2006). "Deney Planlamasında Bulanık Mantık Yaklaşımı", Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ESKİŞEHİR
- Tepecik, C., (2008). "DC-DC Çeviriciler için adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Denetleyici Tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı.

Walker, G. (2001). "Evaluating MPPT Converter Topologies Using A Matlab PV Model", *Journal of Electrical & Electronics Engineering*, **21(1)**: 49-56.

Wasynezuk, O., (1983). "Dynamic Behavior of a Class of Photovoltaic Power Systems", *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, PAS-102, **9**, 3031-3037.

Wuidart, L., (1999) "Topologies For Switched Mode Power Supplies", *ST Microelectronics*, AN513/0393: 1-18.

Yücel, A., Güneri, A. F. (2010)." Application of Adaptive Neuro Fuzzy Inference System to Supplier Selection Problem", *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 224-234.

Zhao, J.S., Li, L., Zhu, Q. (2007). "Study of using BSC for hospital management in China." *Chin. Hosp. Manag.*, 27, 79–81.

Zadeh L. A., (1965). "Fuzzy sets", *Inform and Control*, 8, 338-353.

Ziegler, J.G., Nichols, N.B., Rochester, N.Y. (1942). "Optimum Settings for Automatic Controllers", *Transactions of the A.S.M.E.* sf 759-765.

6.1 İnternet Kaynakları

Erişim Tarihi

1-<http://www.mathworks.com>

30.01.2015

2-<http://www.solarex.com>

10.07.2015

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Onur ARDIÇ
Doğum Yeri ve Tarihi : Sakarya, 14/03/1991
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0543 522 58 97 / onrardc@gmail.com

Eğitim Durumu:

Lise : Arifiye Çok Programlı Lisesi / Elektrik (2004-2007)
Önlisans : Sakarya Üniversitesi / Meslek Yüksek Okulu / Elektrik (2007-2009)
Lisans 1 : Gazi Üniversitesi / Elektrik Öğretmenliği (2009-2013)
Lisans 2 : Sakarya Üniversitesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği (2014-2015)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi / Elektrik-Elektronik Mühendisliği (2013-2016)

Sertifika:

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Üçüncü Yenilenebilir Enerji Sistemleri Kış Okulu Sertifikası.

İlgi Alanları:

Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi,
Yenilenebilir Enerji Sistemleri,
Kontrol Sistemleri,
Bulanık Mantık,
Elektromanyetik Alanlar,
Elektrik Makineleri,
Güç Sistemleri ve Analizi,
Enerji dağıtımı,
Kişisel Gelişim (NLP).