

**GÜNEŞ ENERJİLİ SİSTEMLERDE
KULLANILAN MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI
TAKİBİ YÖNTEMLERİNİN ZEKİ ALGORİTMALAR
YARDIMIYLA UYGULANMASI**

**2014
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

İpek ÇETİNBAŞ

**GÜNEŞ ENERJİLİ SİSTEMLERDE KULLANILAN MAKSİMUM GÜÇ
NOKTASI TAKİBİ YÖNTEMLERİNİN ZEKİ ALGORİTMALAR
YARDIMIYLA UYGULANMASI**

İpek ÇETİNBAŞ

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Ocak 2014

İpek ÇETİNBAŞ tarafından hazırlanan "GÜNEŞ ENERJİLİ SİSTEMLERDE KULLANILAN MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ YÖNTEMLERİNİN ZEKİ ALGORİTMALAR YARDIMIYLA UYGULANMASI" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylanm.

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin DEMİREL

Tez Danışmanı, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yrd. Doç. Dr. Mehmet DEMİRTAŞ

Tez Danışmanı, Gazi Üniversitesi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 14/01/2014

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Ramazan BAYINDIR (GÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin DEMİREL (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet DEMİRTAŞ (GÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bilgehan ERKAL (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Aytül BOZKURT (KBÜ)

04/03/2014

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Mustafa BOZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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

İpek ÇETİNBAŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEŞ ENERJİLİ SİSTEMLERDE KULLANILAN MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ YÖNTEMLERİNİN ZEKİ ALGORİTMALAR YARDIMIYLA UYGULANMASI

İpek ÇETİNBAŞ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin DEMİREL

Yrd. Doç. Dr. Mehmet DEMİRTAŞ

Ocak 2014, 105 sayfa

Bu çalışmada, güneş enerjili sistemlerde kullanılan zeki algoritmalar incelenmiştir. Fotovoltaik (PV) panellerin enerji üretim kapasitesi ışınım ve sıcaklıkla bağlantılı olarak her an değişmekte ve değişken şartlarda bile sürekli olarak maksimum güç üretmek PV sistemlerin en önemli konusunu oluşturmaktadır. PV panellerde, o anki ışınım ve sıcaklık çalışma şartları altında alınabilecek gücü en yüksek yapmak için maksimum güç noktası takibi (MPPT) algoritmaları kullanılmakta ve verim bu şekilde önemli oranda artırılmaktadır. Bu sebeple çeşitli klasik MPPT algoritmaları kullanılmaktadır. Fakat günümüzde klasik algoritmaların yerine, insan gibi düşünme, karar verme ve genelleme yapma yetisi kazandırılmaya çalışılan zeki algoritmalar kullanılmaktadır. Yapay sinir ağları (YSA), bulanık mantık (BM) ve parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO), PV sistemlerde MPPT için kullanılan en

popüler zeki algoritmalar sınıfındadır. Bu çalışmada YSA, BM ve PSO zeki algoritmalarının PV sistemlerde kullanım amaçları, her algoritmanın MPPT kullanımında ki işlem basamakları ve algoritmaların maksimum güç noktasına katkıları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Çalışmanın sonuç bölümünde PV dizi bağımlılığı, yazılım zorluğu, analog/dijital bilgi kullanımı, periyodik güncelleme, uygulama zorluğu, izleme hızı, gerçek MPPT ve kontrol değişkeni ölçütleri bakımından kullanılan zeki algoritmalar kıyaslanmıştır. Bu çalışma ile güneş enerjili sistemlere YSA, BM ve PSO algoritmaları uygulanmıştır. Kullanılan zeki algoritmalar ile güneş enerjili sistemlere, insan beyninin düşünme, genelleme yapma, öğrenme, karar verme ve beynin bir işlevi yerine getirme yetisi kazandırılmaya çalışılmıştır. Ayrıca insan beyninin benzetimine ek olarak kuşların davranışları da gözlemlenerek doğanın benzetimi de güneş enerjili sistemlere uygulanmaya çalışılmış ve maksimum güç noktası takibi için zeki sistemler tasarlanmıştır.

Anahtar Sözcükler : Zeki algoritmalar, güneş enerjisi, maksimum güç noktası, yapay sinir ağları.

Bilim Kodu : 905.1.150

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

IMPLEMENTATION OF MAXIMUM POWER POINT TRACKING METHODS USED IN SOLAR ENERGY SYSTEMS VIA INTELLIGENT ALGORITHMS

İpek ÇETİNBAŞ

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electric-Electronic Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Hüseyin DEMİREL

Assist. Prof. Dr. Mehmet DEMİRTAŞ

January 2014, 105 pages

In this study, intelligent algorithms which are used alternative energy source systems are examined. The capacity of photovoltaic panels' energy production is changing every moment and even in variable conditions continuously producing maximum power constitutes the most important issues of PV systems. On PV panels, under the current radiation and temperature operating conditions, to the highest power that can be taken maximum power point tracking (MPPT) algorithms are used and on this way, the performance can be increased significantly. That's why, various MPPT algorithms are used. But, nowadays, instead of the classical algorithms, intelligent algorithms that are tried to have the ability to think, decide and make generalizations like a human being are being used. Artificial neural networks (ANN), fuzzy logic (FL), and particle swarm optimization (PSO) are in the class of the most popular

intelligent algorithms that are used for MPPT in the PV systems. In this study, the purpose of using the intelligent algorithms like ANN, FL, PSO in the PV systems, the process steps of each algorithm in the use of MPPT, and the contribution to the maximum power point algorithms have been examined in detail. In the conclusion part of the study, intelligent algorithms that are used in features such as software challenge, implementation challenge, operating speed, and the estimation of real MPPT point are compared. Through this study YSA ,BM, and PSO algorithms are applied to energy source systems. Via intelligent algorithms which have been used ,energy source systems have been aimed to obtain the ability of thinking , generalization , learning , decision, an implementation of a function of human brain .Also , in addition to the resemblance of human brain, by observing the behaviors of birds , too, the resemblance of nature has also been aimed to be carried out and intelligent systems have been designed to follow maximum power point.

Key Word : Intelligent algorithms, solar energy, maximum power point, artificial neural networks.

Science Code : 905.1.150

TEŞEKKÜR

Tez çalıŐmalarım sűresince engin bilgi ve tecrűbeleri ile bana yol gűsteren, ilminden faydalandıđım, yanında çalıŐmaktan onur duyduđum, maddi ve manevi olarak her konuda beni destekleyen çok deđerli sayın hocalarım Yrd. Doç. Dr. Mehmet DEMİRTAŐ ve Yrd. Doç. Dr. Hűseyin DEMİREL'e,

Her zaman yanımda olmalarının verdiđi gűvenle yűrűdűđűm bu yolda beni yalnız bırakmayan ve bugűnlere taŐıyan çok sevgili annem ve babama,

Teknik sorunların űzűm noktası Őerif ŐEREFOĐLU'na ve çalıŐmalarım sűresince beni yűnlendiren, destekleyen hocalarım ve arkadaŐlarımaya sonsuz teŐekkűrlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvi
BÖLÜM 1.	1
GİRİŞ	1
1.1. TEZİN AMACI VE ÖNEMİ.....	2
1.2. LİTERATÜR TARAMASI.....	4
BÖLÜM 2.	9
FOTOVOLTAİK (PV) SİSTEMLER.....	9
2.1. GÜNEŞ ENERJİSİ.....	9
2.2. FOTOVOLTAİK PİLLERİN YAPISI VE ELEKTRİK ÜRETİMİ	10
2.3. FOTOVOLTAİK PİLLERİN ELEKTRİKSEL EŞDEĞER DEVRE MODELİ.....	14
2.4. FOTOVOLTAİK PİLLERİN AKIM-GERİLİM (I-V) VE GÜÇ- GERİLİM (P-V) KARAKTERİSTİKLERİ.....	17
2.4.1. Açık Devre Gerilimi	17
2.4.2. Kısa Devre Akımı.....	18
2.4.3. Akım-Gerilim (I-V) ve Güç- Gerilim (P-V) Karakteristikleri	18
2.4.4. Işık Şiddeti ve Sıcaklığın I-V ve P-V Eğrileri Üzerine Etkisi	19
2.5. FOTOVOLTAİK PANEL TÜRLERİ.....	21
2.5.1. Kristal silikon PV hücreler.....	21
2.5.1.1. Tek-Kristal (Monokristal) PV Hücreler (c-Si)	21

Sayfa

2.5.1.2. Çoklu-Kristal (Polikristal) PV Hücreler (mc-Si)	22
2.5.2. İnce Film PV Hücreler.....	23
2.5.2.1. Amorf Silisyum PV Hücreler (a-Si)	23
2.5.2.2. Kadmiyum Tellür (CdTe) PV Hücreler	24
2.5.2.3. Bakır İndiyum Galyum (di) Selenyum (CIGS) PV Hücreler	25
BÖLÜM 3.	26
MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ (MPPT) VE ALGORİTMALAR	26
3.1. KLASİK ALGORİTMALAR	26
3.1.1. Dolaylı Kontrol Algoritmaları.....	26
3.1.1.1. Kısa Devre Akımı Yöntemi.....	26
3.1.1.2. Açık Devre Gerilimi Yöntemi	27
3.1.2. Doğrudan Kontrol Algoritmaları	29
3.1.2.1. Değiştir-Gözle (Perturbation And Observation-P&O) Algoritması.....	29
3.1.2.2. Artan İletkenlik Yöntemi	31
3.2. ZEKİ ALGORİTMALAR.....	34
3.2.1. Yapay Sinir Ağları (YSA)	34
3.2.1.1. Biyolojik Sinir Sistemi ve Sinir Hücresi (Nöron)	34
3.2.1.2. Yapay Sinir ağları	35
3.2.1.3. Yapılarına Göre Yapay Sinir Ağları	39
3.2.2. Bulanık Mantık.....	40
3.2.2.1. Bulanık Mantık ve Bulanık Küme	41
3.2.2.2. Üyelik İşlevi Çeşitleri	43
3.2.2.3. Klasik Küme Kavramı ve Klasik Kümelerde İşlemler	46
3.2.2.4. Bulanık Küme Kavramı ve Bulanık Kümelerde İşlemler	49
3.2.2.5. Bulanık Mantık Kontrollü Sistemlerin Genel Yapısı	52
3.2.3. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu.....	53
BÖLÜM 4.	56
ZEKİ ALGORİTMALAR İLE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ	56
4.1. YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ	57

Sayfa

4.1.1. Eğitim Ve Test Verilerinin Hazırlanması ve Verilerin Normalize Edilmesi	57
4.1.1.1. Eğitim İçin Girdi Ve Çıktı Verileri.....	59
4.1.1.2. Test İçin Girdi Ve Çıktı Verileri.....	59
4.1.2. MATLAB NNTOOL İle Ağın Eğitilmesi.....	60
4.1.3. Yapay Sinir Ağları Ve Maksimum Güç Noktası Takibi.....	65
4.2. BULANIK MANTIK İLE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ	68
4.2.1. MATLAB ortamında ‘FIS Editor’ Toolbox’ı İle Bulanık Mantık Eğitimi	68
4.2.2. Bulanık Mantık İle Maksimum Güç Noktası Takibi	76
4.3. PARÇACIK SÜRÜSÜ OPTİMİZASYONU (PSO) İLE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ.....	78
BÖLÜM 5.	88
SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	88
KAYNAKLAR.....	94
EK AÇIKLAMALAR A. YSA EĞİTİM VERİLERİ, YSA TEST VERİLERİ VE YSA TARAFINDAN EĞİTİLEN AĞIN KATMANLAR ARASI AĞIRLIK DEĞERLERİ TASARLANAN BULANIK MANTIK SİSTEMİN GİRİŞ, ÇIKIŞ VE KURAL TABLOSU BİLGİLERİ, BULANIK MANTIK TARAFINDAN HESAPLANAN GERÇEK ÇIKTI DEĞERLERİ.....	97
ÖZGEÇMİŞ.....	105

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Güneş ışınımı (W/m^2) spektrumu.....	10
Şekil 2.2. Fotovoltaik diyotun denge durumu	12
Şekil 2.3. Fotovoltaik diyotta elektron akışı oluşumu	13
Şekil 2.4. Fotovoltaik diyotta ışık etkisi ile elektron-boşluk çiftinin oluşması ve akım oluşumu	13
Şekil 2.5. Çeşitli yapıda güneş pilleri	14
Şekil 2.6. Fotovoltaik hücre, panel ve dizi.....	14
Şekil 2.7. Fotovoltaik hücrelerin elektriksel eşdeğer devre modeli.....	15
Şekil 2.8. PV panelin açık devre gerilimi.....	18
Şekil 2.9. PV panelin kısa devre akımı	18
Şekil 2.10. PV panelin I-V ve P-V eğrileri	19
Şekil 2.11. PV panellerin sıcaklıkla I-V ve P-V eğrilerinin değişimi.....	20
Şekil 2.12. PV panellerin ışık şiddeti ile I-V ve P-V eğrilerinin değişimi.....	20
Şekil 2.13. Tek kristal PV yapım süreci.....	22
Şekil 2.14. Tek kristal güneş pili ve güneş paneli	22
Şekil 2.15. Çoklu kristal güneş pili ve güneş paneli.....	23
Şekil 2.16. Amorf silisyum güneş hücresi ve güneş paneli.....	23
Şekil 2.17. Kadmiyum tellür güneş hücresi ve güneş paneli	24
Şekil 2.18. Bakır İndiyum Galyum Selenyum güneş hücresi ve güneş paneli.....	25
Şekil 3.1. Kısa devre akımı yöntemi çalışma diyagramı.....	27
Şekil 3.2. Açık devre gerilimi yöntemi çalışma diyagramı.....	28
Şekil 3.3. P&O algoritması çalışma diyagramı	30
Şekil 3.4. IC algoritması çalışma diyagramı	32
Şekil 3.5. Artan iletkenlik yöntemi çalışma eğrisi.....	32
Şekil 3.6. Biyolojik sinir hücresinin genel yapısı.....	35
Şekil 3.7. Yapay sinir ağının bölümleri	36
Şekil 3.8. Yapay sinir hücresinin genel yapısı	37
Şekil 3.9. İleri beslemeli ağ yapısı.....	39

Şekil 3.10. Geri beslemeli ağ yapısı	40
Şekil 3.11. Klasik küme kavramı ile boy uzunlukları kümesi.....	42
Şekil 3.12. Klasik küme kesişimi	42
Şekil 3.13. Üçgen üyelik fonksiyonunun genel yapısı.....	43
Şekil 3.14. Yamuk üyelik fonksiyonunun genel yapısı	44
Şekil 3.15. R üyelik fonksiyonunun genel yapısı	45
Şekil 3.16. L üyelik fonksiyonunun genel yapısı	45
Şekil 3.17. Gauss üyelik fonksiyonunun genel yapısı	46
Şekil 3.18. Klasik X evrensel kümesi	47
Şekil 3.19. K ve L kümesinin birleşimi	47
Şekil 3.20. K ve L kümesinin kesişimi	48
Şekil 3.21. K kümesinin tümleyeni.....	48
Şekil 3.22. K ve L kümesinin kesişimi	49
Şekil 3.23. Bulanık X evrensel kümesi	49
Şekil 3.24. Bulanık kümelerde birleşim.....	50
Şekil 3.25. Bulanık kümelerde kesişim.....	51
Şekil 3.26. Bulanık kümelerde tümlleme işlemi.....	51
Şekil 3.27. Bulanık mantık kontrollü sistemlerin genel yapısı.....	52
Şekil 4.1. Tasarlanan sistemin giriş ve çıkış verileri	57
Şekil 4.2. Eğitim verileri	58
Şekil 4.3. Test verileri	59
Şekil 4.4. Matlab ortamında ysa toolbox'ının çağırılması	60
Şekil 4.5. “nntool” penceresi	60
Şekil 4.6. Eğitim ve test verilerinin girilmesi.....	61
Şekil 4.7. Eğitim ve test verilerinin girilmesi.....	61
Şekil 4.8. Ağın tasarım parametrelerinin girilmesi.....	62
Şekil 4.9. Eğitim verileri için giriş ekranı	62
Şekil 4.10. Eğitim verileri ile ağın eğitimi	63
Şekil 4.11. Eğitimi tamamlanan ağ.....	63
Şekil 4.12. Eğitilen ağın test verileriyle simülasyonunun yapılması.....	64
Şekil 4.13. Ysa tarafından elde edilen test çıkış veri dizini	64
Şekil 4.14. Eğitilen ağın genel yapısı.....	65

Sayfa

Şekil 4.15. Gerçek test verileri ve ysa'nın ürettiği test veri sonuçları	66
Şekil 4.16. Eğitim sonuçları ve karşılaştırılmaları.....	66
Şekil 4.17. Bulanık mantık tasarım arayüzünün çağırılması.....	69
Şekil 4.18. 'FIS Editor' penceresi.....	69
Şekil 4.19. Giriş ve çıkış değişkeni ekleme	70
Şekil 4.20. Üyelik fonksiyonlarının kaldırılması.....	70
Şekil 4.21. Üyelik fonksiyonu ekleme, tipi ve sayısının belirlenmesi.....	71
Şekil 4.22. Tasarlanan bulanık sistemin genel yapısı	71
Şekil 4.23. Sıcaklık dilsel değişkenleri ve değer aralıkları	72
Şekil 4.24. Işınım dilsel değişkenleri ve değer aralıkları	73
Şekil 4.25. Akım dilsel değişkenleri ve değer aralıkları	74
Şekil 4.26. Kural tabanı oluşturmak için 'Rules Editor' penceresinin çağırılışı	75
Şekil 4.27. Kural tabanının oluşturulması.....	76
Şekil 4.28. Eğitilen ağı giriş verilerine karşın çıkışının hesaplanması	77
Şekil 4.29. Girdilere karşın DA akımın hesaplanması.....	77
Şekil 4.30. Bulanık mantık ile hesaplanan değerlerle gerçek çıktı değerlerinin karşılaştırılması	78
Şekil 4.31. PSO ile MPPT işleminin genel yapısı	79
Şekil 4.32. obj_func.m isimli hedef fonksiyon dosyası	81
Şekil 4.33. Öğrenme Faktörleri, boyut ve iterasyon tanımlamaları.....	81
Şekil 4.34. Alt-üst sınırlar, parçacık sayısı, hız, konum matrisleri.....	82
Şekil 4.35. Hız ve konum güncellemeleri için iterasyonun başlatılması	83
Şekil 4.36. En küçük pbest değerinin bulunması ve globallik testinin yapılması	84
Şekil 4.37. Her İterasyonda hesaplanan gbest değerinin komut ekranına yazdırılması	84
Şekil 4.38. Parçacıkların hız ve konum güncellemelerinin yapılması	85
Şekil 4.39. İterasyonun sonuçlanması ve grafik çizimi	86
Şekil 4.40. Farklı ışınım ve sıcaklık değerleri için hesaplanan maksimum akım	87
Şekil 5.1. ROC Eğrisi.....	91

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. PV hücrenin eşdeğer devresinde kullanılan semboller ve açıklamaları .	15
Çizelge 2.2. Eşitlik (2.2)'de verilen semboller ve açıklamaları	16
Çizelge 3.1. Biyolojik sinir hücresi ile yapay sinir hücresinin karşılaştırılması	37
Çizelge 3.2. Eşitlik (3.5) ve (3.6)'da verilen semboller ve açıklamaları	38
Çizelge 4.1. Sıcaklık dilsel değişkenleri ve değer aralıkları	72
Çizelge 4.2. Işınım dilsel değişkenleri ve değer aralıkları	73
Çizelge 4.3. Akım dilsel değişkenleri ve değer aralıkları	74
Çizelge 4.4. Kural Tablosu	75
Çizelge 4.5. PV panel parametreleri	80
Çizelge 5.1. Akıllı algoritmaların kıyaslanması	88
Çizelge 5.2. YSA ve BM için eğrilerin altında kalan alanlar	92
Çizelge Ek A.1. Normalize edilmiş eğitim verilerinin giriş ve çıkış şeklinde hazırlanması	98
Çizelge Ek A.2. Normalize edilmiş test verilerinin giriş ve çıkış şeklinde hazırlanması	99
Çizelge Ek A.3. Eğitilen ağırlık katmanlar arası ağırlık değerleri	100
Çizelge Ek A.4. Tasarlanan bulanık mantık sistemin giriş, çıkış ve kural tablosu bilgileri	103
Çizelge Ek A.5. Bulanık mantık tarafından hesaplanan gerçek çıktı değerleri	104

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

$m\text{SiO}_2.n\text{H}_2\text{O}$:	siliksat asidi
SiO_2	:	silisyum oksit
I_L	:	ışık akımı
I_D	:	diyot akımı
R_P	:	paralel hücre direnci
R_S	:	seri hücre direnci
I_{PV}	:	hücre akımı
V_{PV}	:	hücre gerilimi
I_s	:	ters saturasyon akımı
K	:	boltzmann sabiti
T	:	mutlak sıcaklık
q	:	elektron yükü
n	:	idealite faktörü
V_{OC}	:	açık devre gerilimi
I_{SC}	:	kısa devre akımı
c-Si	:	tek-kristal (monokristal)
mc-Si	:	çoklu-kristal (polikristal)
a-Si	:	amorfsilisyum
CdTe	:	kadmiyum tellür
eV	:	elektron-volt
Cd	:	kadmiyum
Te	:	tellür
CIGS	:	bakır indiyum galyum selenyum
I_{MPPT}	:	maksimum güç noktası akımı
V_{MPPT}	:	maksimum güç noktası gerilimi
T_{co}	:	referans sıcaklık

- alpha : akımın sıcaklık katsayısı
Tc : çalışma sırasında ölçülen sıcaklık değeri
G : çalışma sırasında ölçülen ışıınım değeri

KISALTMALAR

- MPPT : Maximum Power Point Tracker (maksimum güç noktası takibi)
YSA : Yapay Sinir Ağları
BM : Bulanık Mantık
PSO : Particle Swarm Optimization (parçacık sürüsü optimizasyonu)
PV : photovoltaic (fotovoltaik)
ANN : Artificial Neural Network (yapay sinir ağları)
FL : Fuzzy Logic (bulanık mantık)
AM : Airmass (hava kütlesi)
nm : nanometre
STC : Standard Test Conditions (standart test koşulları)
DA : Doğru Akım
AA : Alternatif Akım
mm : milimetre
µm : mikrometre
CSS : Close Space Sublimation (yakın mesafeden buharlaştırma)
eV : elektron-volt
P&O : Perturbation & Observation (değiştir-gözle)
IC : Incremental Conductance (arttırımsal iletkenlik)
MLP : Multi Layer Perseptron (çok katmanlı perseptron)
LVQ : Learning Vector Quantization (öğrenmeli vektör kuantalama)
SOM : Self Organizing Map (özdüzenleyici haritalar)
SPSS : Statistical Package for the Social Sciences (sosyal bilimler için istatistik paketi)
ROC : Receiver Operating Characteric (alıcı işletim karakteristiği)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Enerji, yaşamın vazgeçilmez bir olgusudur. Sanayi devriminden bu yana gelişen teknoloji, kentsel gelişme ve nüfus artışı enerji talebinin artmasına ve ülkelerin bu talebe cevap vermekte zorlanmaları ile enerji arz-talep dengesizliği oluşmuştur.

Dünya enerji talebinin büyük bir kısmı fosil yakıtlar olarak bilinen kömür, petrol ve doğalgazdan karşılanmaktadır. Fakat bu yakıtların kullanımı ile doğaya çeşitli gaz salınımları yapılmakta, insan ve çevre sağlığı tehlikeye girmektedir. Fosil yakıtların yoğun bir şekilde kullanılması başta karbondioksit olmak üzere metan, karbon monoksit, hidrokarbonlar ve kloroflorokarbon türü gazların atmosferde birikmesine neden olurlar [1].

Günümüzde kaydedilen salınım düzeylerinin atmosferde bulunması gereken oranlardan fazla olması hava kirliliğine neden olmaktadır. Ayrıca kükürt dioksit, azot oksitler ve karbon gazları, yağmur ve kar gibi hava olayları esnasında su ile birleşerek sülfürik asit, nitrik asit ve karbonik aside dönüşürler. Bu asitler, asit yağmuru şeklinde yeryüzüne yağarak ağaç ve bitkilerin kurummasına, toprağın kimyasal ve biyolojik yapısının bozularak verimsizleşmesine neden olur [2].

Güneş'in yeryüzüne gönderdiği ışınların belirli bir bölümü, uzaydan yeryüzüne ulaşmadan kırılmakta, geri kalanı atmosferden geri yansıtılmaktadır. Kırılma, saçılma ve dağılmalardan sonra yeryüzüne ulaşan güneş ışınları yeryüzünden kızılötesi ışıma ile atmosfere geri salınmaktadır. Fakat karbondioksit, metan ve su buharı kızılötesi ışımların atmosferden geçerek uzaya gönderilmesini engellemekte ve Dünya'nın, Güneş'in altına park edilmiş bir araba gibi ısınmasına neden olmaktadır. Bu etki sera etkisi olarak adlandırılmakta ve ciddi iklim değişiklikleri ile

buzulların eriyerek Dünya’da ki su seviyesinin yükselmesine, sıcaklıkla farklılaşan ekolojik dengenin hayvan yaşamını etkilemesine neden olmaktadır [3].

Dünya enerji üretiminde birinci sırada yer alan fosil yakıtların ekolojik denge ve canlılar üzerinde ki etkileri geri dönülemez tahribatlara neden olmaktadır. Ayrıca toprak altında oluşumları milyonlarca yıl süren bu kaynakların fazla kullanımı rezervlerin tükenme ihtimalini ortaya çıkarmıştır. Bunun için birçok ülke enerji arz-talep dengesinde güvenli bir seyir izlemek ve sürdürülebilirliği yakalamak için farklı kaynaklar arayışına yönelmişlerdir. Bunun için kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlara alternatif olarak kullanılan kaynaklara yenilenebilir enerji kaynakları denilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgâr, hidrolik, jeotermal ve biyokütle gibi doğanın kendi çevrimi içinde bulunan ve kullanımı ile çevre kirliliği oluşturmayan kaynaklardan enerji üretimini kapsamaktadır. Fosil kaynak rezervlerini hesaplayan birçok ülke teknolojik altyapısını yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretme yönüne kaydırmakta ve gelecekte enerjinin bugün çok büyük bir kısmının günümüzde ki gibi fosil yakıtlardan değil de yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması amaçlanmaktadır.

1.1. TEZİN AMACI VE ÖNEMİ

Bu çalışmada alternatif enerji kaynaklı sistemler de kullanılan zeki algoritmalar incelenmiştir. Dünya enerji üretiminde birinci sırada yer alan fosil yakıtların ekolojik denge ve canlılar üzerinde ki etkileri geri dönülemez tahribatlara neden olmaktadır. Bunun için alternatif enerji arayışında, güneş enerjisi elektrik enerjisinin üretilmesinde en popüler kaynak olmaya devam etmektedir. Fakat günümüzde hala ilk kurulum maliyetlerinin aşağı çekilememesi ve diğer etmenler elektrik enerjisi çevrim verimlerinin yüksek olmasını gerektirmektedir. Fotovoltaik (PV) panellerin enerji üretim kapasitesi ışınım ve sıcaklıkla bağlantılı olarak her an değişmekte ve değişken şartlarda bile sürekli olarak maksimum güç üretmek PV sistemlerin en önemli konusunu oluşturmaktadır. PV panellerde, o anki ışınım ve sıcaklık çalışma şartları altında alınabilecek gücü en yüksek seviyeye çekmek için maksimum güç noktası takibi (MPPT) algoritmaları kullanılmakta ve verim bu şekilde önemli oranda artırılmaktadır. Bu sebeple çeşitli klasik MPPT algoritmaları kullanılmaktadır.

Fakat günümüzde klasik algoritmaların yerine, insan gibi düşünme, karar verme ve genelleme yapma yetisi kazandırılmaya çalışılan zeki algoritmalar kullanılmaktadır. Yapay sinir ağları (YSA), bulanık mantık (BM) ve parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO), PV sistemlerde MPPT için kullanılan en popüler zeki algoritmalar sınıfındadır.

Bu çalışmada YSA, BM ve PSO zeki algoritmalarının PV sistemlerde kullanım amaçları, her algoritmanın MPPT kullanımında ki işlem basamakları ve algoritmaların maksimum güç noktasına erişmede ki katkıları incelenmiştir.

Beş bölümden oluşan çalışmanın birinci bölümde, geçmiş yılların çalışmalarını içeren literatür taraması verilmiştir. Ayrıca Dünya'nın ve Türkiye'nin enerji görünümünden bahsedilip, güneş enerjisinin yenilenebilir enerji kaynakları içinde ki durumu incelenmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde fotovoltaik sistemlerin güneş enerjisi ile çalışması ve elektrik üretimine yer verilmiştir. Elektriksel eşdeğer devre modeli üzerinden fotovoltaik sistemlerin denklem ifadeleri elde edilmiş ve bu denklemler yardımıyla akım-gerilim ve güç-gerilim eğrileri MATLAB programı yardımıyla çizdirilmiştir. Işınım ve sıcaklığın PV panellerin çalışma karakteristiğine etkisini görebilmek için değişken ışınım ve sıcaklık şartları altında akım-gerilim ve güç-gerilim eğrileri yeniden çizdirilmiş ve değişimler incelenmiştir. Ayrıca panel çeşitleri, panellerin üretim süreçleri ve üretim süreçlerinden kaynaklanan yapısal farklılıklara değinilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde MPPT, MPPT'nin önemi ve MPPT için kullanılan algoritmalar anlatılmıştır. MPPT algoritmaları klasik ve akıllı algoritmalar olarak iki gruba ayrılmıştır. Klasik algoritmalar sınıfında günümüzde kullanılmakta olan algoritmalar, zeki algoritmalar kısmında ise insan beyninin düşünme, karar verme, öğrenme ve genelleme yeteneği gibi özelliklerinin benzetimi neticesinde ortaya çıkan YSA, BM ve PSO algoritmalarına detaylı olarak yer verilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde MPPT işleminin YSA, BM ve PSO zeki algoritmaları ile gerçekleştirilebilmesi için gerekli işlem basamakları, eğitim ve test süreçleri ve sonuç çıktılarına ayrıntılı olarak yer verilmiştir.

Çalışmanın sonuç bölümünde yazılım zorluğu, uygulama zorluğu, çalışma hızı ve gerçek MPPT noktası tahmini gibi özellikleri bakımından kullanılan zeki algoritmalar kıyaslanarak çalışma sonuçlandırılmıştır.

1.2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde maksimum güç noktası takibi için klasik ve zeki algoritmalar kullanılarak çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. MPPT algoritmaları klasik ve zeki algoritmalar olarak iki sınıfta uygulanmaktadır. Klasik kontrol yöntemleri içinde açık devre gerilimi yöntemi, kısa devre akımı yöntemi, değiştir-gözle algoritması ve artan iletkenlik algoritması çeşitli uygulamalarda MPPT kontrol yöntemi olarak kullanılmıştır [4,5].

Fakat değiştir-gözle algoritması ve artan iletkenlik algoritması kullanım kolaylığı avantajlarından dolayı klasik algoritmalar içinde en sık kullanılan kontrol tekniği olmakla birlikte klasik algoritmaların kıyaslandığı birçok çalışma ve farklı uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

Değiştir-gözle algoritması ve artan iletkenlik yöntemi buck ve boost konvertöre ayrı ayrı uygulanmıştır. Bu iki kontrol tekniği ile maksimum güç noktasında ki gerilim, akım ve maksimum güç noktaları MATLAB Simulink toolbox'ı kullanılarak kıyaslanmıştır [6].

Değiştir-gözle algoritması, artan iletkenlik yöntemi ve var olan diğer klasik algoritmalar takip hızı ve uygulama zorluğu bakımından kıyaslanmıştır. Değiştir-gözle algoritması, artan iletkenlik yöntemi ile birleştirilerek yeni bir yöntem olarak boost konvertöre uygulanmıştır. Ayrıca MATLAB programı ile PV panelin, akım-gerilim ve güç-gerilim eğrileri çizdirilmiş ve değiştir-gözle algoritmasının

maksimum güç noktasındaki osilasyonu bu yeni yöntem ile azaltılmaya çalışılmıştır [7].

Sabit gerilim yöntemi, kısa devre akımı yöntemi, değiştir-gözle algoritması, artan iletkenlik yöntemi ve sıcaklık metodu yöntemi basitlik, takip hızı, dijital veya analog uygulama, sensör gereksinimi, maliyet ve çevrim verimleri açısından kıyaslanmıştır. Ayrıca MATLAB Simulink toolbox'ında değişik ışınım şartları için maksimum güç noktası elde edilerek, sık kullanılan MPPT algoritmalarının performansları karşılaştırılmıştır [8].

Yapay sinir ağları, bulanık mantık ve parçacık sürüsü optimizasyonu gibi zeki algoritmalar ile MPPT farklı bir boyut kazanmıştır. İnsan beyninin düşünme, karar verme, eksik bilgiler altında varsayım yapabilme, öğrenebilme ve genelleme yeteneğinin bu sistemlere kazandırılarak zeki sistemler olarak çalışmalarını amaçlanmıştır.

YSA ile yapılan çalışmalarda ağlar farklı yapılarda tasarlanarak buck, boost ve buck-boost konvertörlerin gerilim, akım ve görev süresi kontrol değişkeni olarak kullanılmaktadır.

Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemin maksimum güç noktası takibi adaptif bulanık mantık kontrol ile gerçekleştirilmiştir. Şebeke bağlantılı inverter ve boost konvertörden oluşan sistemde boost kontrolün anahtarlama kontrolü adaptif bulanık mantık ile yapılmıştır. İnverter sinüsoidal dalga formu için tahmin edilmiş akımı kullanmaktadır. Bulanık mantık ve adaptif bulanık mantığın benzetimi yapılarak kıyaslanmıştır. Simülasyon çalışmaları sonunda ise adaptif bulanık mantığın cevap tepkisinin hızlı ve iyi performans sergilediği sonucuna varılmıştır [9].

Fotovoltaik sistemlerde MPPT'de ki zorlukların üstesinden gelebilmek için iki seviyeli yapay sinir ağı ile genetik algoritma kullanılmıştır. Bu iki algoritmanın birleşimi ile bataryanın çıkış gücünü etkileyen faktörler olan ışık yoğunluğu, ortam sıcaklığı, bataryanın birleşim noktası sıcaklığı ve bataryanın konumu dikkate alınarak batarya modeli tahmin edilmeye çalışılmıştır. Klasik tepeye tırmanma

algoritması maksimum güç noktasına ulaşmak için harcanan güç kayıpları azaltılarak, klasik yapay sinir ağının eğitim zorluklarından uzaklaşmıştır [10].

Fotovoltaik sistemlerin lineer olmayan gerilim-akım karakteristikleri ışınımına bağlı olarak değişmektedir. MPPT yapabilmek için boost konvertörün kontrolü bulanık mantık denetimli gerçekleştirilmiştir. O anki ışınım şartlarında ileri beslemeli takip algoritması PV panelin gerilimini dikkate alarak konvertörün görev süresini değiştirmektedir. İleri beslemeli döngü o anki panel voltajı ve referans voltajı karşılaştırarak hata sinyali üretilmektedir. Referans sinyali ise off-line olarak yapay sinir ağları ile eğitilmiş sonuçları içermektedir. Referans sinyalinin yapay sinir ağları tarafından eğitildiği, aradaki hata ve hatanın değişiminin bulanık mantık ile hesaplayarak boost konvertörün görev süresinin kontrolü gerçekleştirilmiştir [11].

Bulanık mantık ile yapılan çalışmalarda boost, buck-boost ve cuk konvertör uygulamalarında görev süresi ve gerilim kontrol değişkeni alınarak kullanılmaktadır.

Lineer olmayan ada modlu fotovoltaik sistemlerin regülesiz çıkışı DA/DA cuk konvertör kullanılarak regüleli forma çevrilmiştir. Ayrıca cuk konvertörün kontrolü BM ile gerçekleştirilmiştir PV generatör, konvertör ve AA PWM inverterden oluşan sistemin benzetimi yapılmıştır. Farklı ışınım seviyeleri için benzetimler yapılmış ve BM'in iyi bir performans sergilediği görülmüştür [12].

Güneş enerjili flaşör lambalarda BM ile maksimum güç noktası takibi gerçekleştirilmiştir. Giriş ve çıkış bilgileri tabloya kaydedilmiştir. Sistemin kontrolü 16F872 mikro denetleyicisi ile yapılmış ve giriş-çıkış arasında ki ilişkiden tablo okuma metodu ile yararlanılmıştır. Simülasyon sonucunda BM, klasik MPPT algoritmalarına göre daha hızlı bir şekilde MPPT noktasına ulaşmıştır [13].

PV dizileri kısmi gölgeleme durumlarında da MPPT noktasına ulaştırmak için YSA ve BM kontrollü gerçekleştirilmiştir. Üç katmandan oluşan ileri beslemeleri YSA, maksimum güç noktasında ki voltajı elde edebilmek için, kısmi gölgeleme örnekleri ile eğitilmiştir. BM ise YSA tarafından üretilen maksimum güç noktasında ki

gerilimi referans gerilim olarak kullanmakta ve konvertör için gerekli kontrol sinyalini üretmektedir [14].

Parçacık sürüsü optimizasyonu ile de farklı uygulama teknikleri kullanılarak kısmi gölgelenme, tek bir akım ve gerilim sensörü çifti ile PV dizilerin MPPT işleminin gerçekleştirilmesi ve kontrol değişkeni olarak da görev süresinin belirlenmesi gibi birçok uygulama gerçekleştirilmiştir.

Fotovoltaik sistemlerde MPPT için PSO algoritması kullanılmıştır. Direkt görev süresinin kontrolü için gerekli PSO algoritması buck-boost konvertörde PV simülatör kullanılarak test edilmiştir. Çeşitli kısmi gölgelenme durumlarını içeren ışınım şartları altında direkt görev süresi metodu klasik yöntemlerle uygulanmıştır. Malezya için ölçülen veriler kullanılarak MPPT işlemi gerçekleştirilmiş ve yüksek bir verim elde edilmiştir [15].

PSO algoritması, MPPT işlemini gerçekleştirmek ve maksimum güç noktasında ki osilasyonu gidermek için kullanılmıştır. PSO algoritması, çeşitli çevresel koşullarda, ışınım ve gölgelenmenin büyük aralıklarda değiştiği kısmi gölgelenme durumlarında da kullanılmakta, basit kullanımı ile hızlı sonuç vermektedir. PSO algoritmasının klasik algoritmalar ile farkını görebilmek için tepeye tırmanma algoritması ile karşılaştırılmıştır [16].

Çoklu PV sistemler ortak bir yükü beslemekte ve her modül için ayrı ayrı MPPT uygulaması gerçekleştirmek ekstra maliyet ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca kısmi gölgelenme durumlarında maksimum güç noktasının bulunması zorlaşmakta ve bunun üstesinden gelebilmek için PSO algoritması kullanılmıştır. Çeşitli kısmi gölgelenme durumları için PSO algoritmasının sağlamlığı test edilmiştir [17].

Bu çalışmada YSA, BM ve PSO zeki algoritmalarının PV sistemlerde kullanım amaçları, her algoritmanın MPPT kullanımında ki işlem basamakları ve algoritmaların maksimum güç noktasına katkıları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Ayrıca PV dizi bağımlılığı, yazılım zorluğu, analog/dijital bilgi kullanımı, periyodik güncelleme, uygulama zorluğu, izleme hızı, gerçek MPPT ve kontrol değişkeni

ölçütleri bakımından kullanılan zeki algoritmalar kıyaslanmıştır. Bu çalışma ile güneş enerjili sistemlere YSA, BM ve PSO algoritmaları uygulanmıştır. Kullanılan zeki algoritmalar ile güneş enerjili sistemlere, insan beyninin düşünme, genelleme yapma, öğrenme, karar verme ve beyin bir işlevi yerine getirme yetisi kazandırılmaya çalışılmıştır. Ayrıca insan beyninin benzetimine ek olarak kuşların davranışları da gözlemlenerek doğanın benzetimi de güneş enerjili sistemlere uygulanmaya çalışılmış ve maksimum güç noktası takibi için zeki sistemler tasarlanmıştır.

BÖLÜM 2

FOTOVOLTAİK (PV) SİSTEMLER

2.1. GÜNEŞ ENERJİSİ

G2V yüzey sıcaklığı sınıfında bulunan, Dünya ağırlığının 330000 katı fazla ağırlığa ve 109 kat daha fazla büyük çapa sahip olan bir yıldız olan Güneş 5500 °C yüzey sıcaklığına ve 15,6 milyon °C çekirdek sıcaklığına sahiptir. Beyaz renkli olmasına karşın atmosferde kırılan ışıkların dalga boyundan dolayı sarı renkli olarak algıladığımız Güneş'in % 74'ünü hidrojen, % 24'ünü Helyum ve % 2'lik kısmını diğer elementler oluşturur [18].

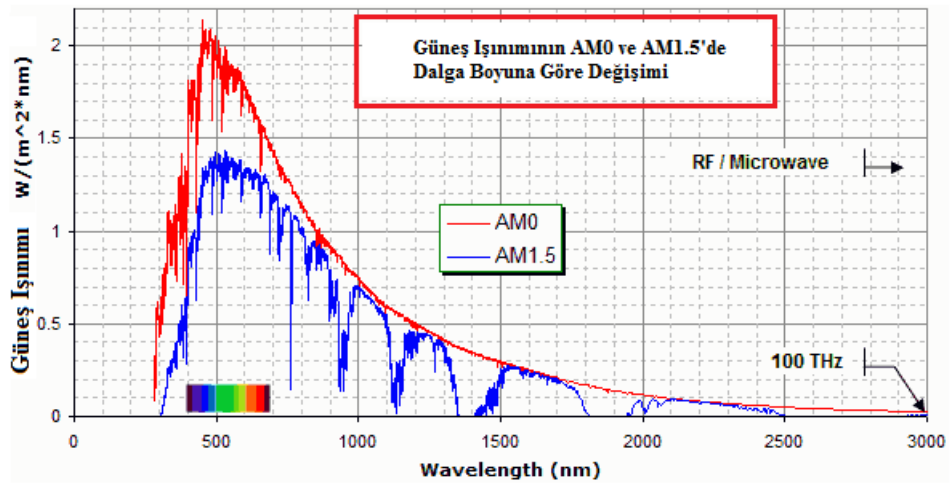
Dünya'da ki yaşamın ana kaynağı olan Güneş'te hidrojenin helyuma dönüşmesi sonucunda çok büyük miktarda enerji açığa çıkar. Bu enerji uzaya yayılarak Dünya'ya ısı ve ışık olarak iki biçimde ulaşır. Güneşin çekirdeğinde bulunan hidrojen çekirdeklerinin birleşerek füzyon reaksiyonu oluşturması sonucunda yaklaşık olarak yıllık Dünya'ya 4×10^{18} Joule enerji ulaşmaktadır. Fakat sadece 3×10^{14} Joule kadarı dünya nüfusu tarafından tüketilebilmektedir. Güneş ışınları 11 milyon/dakika ışık hızı ile 8,45 dakikada Dünya'ya ulaşmakta ve her saat başı Güneş Dünya'nın bir yıllık enerji talebini karşılayacak kadar güneş ışığını Dünya'ya ulaştırmaktadır [19].

Fakat bu ışınların % 43'ü yer ve atmosfer tarafından ısınma amaçlı tutulur, % 35'i yeryüzünden uzaya geri yansıtılır, % 22'si yağmur ve su döngüsüne katkıda bulunarak suyun buharlaşmasını sağlar, % 0,2'si rüzgâr ve vb. doğa olaylarının oluşumu için kinetik enerji oluşturur ve % 0.02'si ise bitkilerin fotosentez olaylarında kullanılır [18].

2.2. FOTOVOLTAİK PİLLERİN YAPISI VE ELEKTRİK ÜRETİMİ

Güneş enerjisi, foton adı verilen ve enerji paketleri şeklinde AM1.5 için Şekil 2.1’de de görüldüğü üzere 200 nm ile 2500 nm dalga boylarında yayılarak ilerleyen bir elektromanyetik ışımadır. Şekil 2.1’de AM0 ve AM1.5 için atmosferin dışında ve dünya yüzeyine ulaşan ışımının farklı dalga boylarındaki değişimini veren spektral eğrilerini görülmektedir. Dalga boyu düzlemine göre bu eğrinin altında kalan alan ışınım şiddetidir ve ışınımın bir metre kare alanda ürettiği gücün ölçüsünü ifade ettiği için W/m^2 şeklinde gösterilir. Spektral değişim eğrisi dalga boylarına göre morötesi bölge, görünür bölge ve kızılötesi bölge olarak üçe ayrılmıştır. 400 ile 800 nm dalga boyları arası beyaz gün ışığı formunda olan görünür bölgedir [20].

Güneş ışınımı atmosferin dışında ve yeryüzünde farklı değerler alır. Atmosferin dışında güneş ışınımı AM0 (Air Mass 0-Hava Kütlesi 0) olarak adlandırılır ve $1353 W/m^2$ değerini alır. Işınım atmosferden geçerken saçılma, dağılma, kırılma ve çeşitli etkilerden dolayı yaklaşık % 30 değerinde zayıflayarak yeryüzüne $1000 W/m^2$ değerinde ulaşır ve bu değer AM1.5 olarak adlandırılır. Şekil 2.1’de Güneş ışınımının AM0 ve AM1.5 değerlerinin dalga boyuna göre değişimi görülmektedir. AM1.5 yani $1000 W/m^2$ ışınım değeri ile $25 ^\circ C$ sıcaklık değeri standart test koşulları (Standard Test Conditions - STC) olarak adlandırılır. Güneş paneli üretim ve test işlemleri standart test koşulları referans olarak yapılır [21].



Şekil 2.1. Güneş ışınımı (W/m^2) spektrumu.

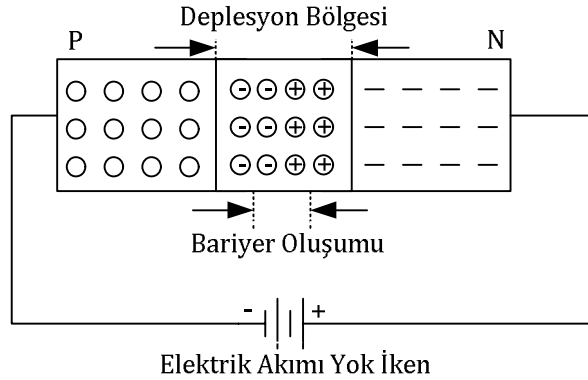
Güneş enerjisinin gönderdiği ışınımı/radyasyonu direk olarak doğru akım (DA) elektrik enerjisine çeviren yarı iletken malzemedan yapılan sistemlere Fotovoltaik Sistemler (Photovoltaic Systems-PV) adı verilir. Fotovoltaik sistemlerin en küçük parçası güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren fotovoltaik pillerdir. Foto kelimesi ışık, voltaik kelimesi ise elektriği ifade etmektedir.

Işığın elektriğe dönüşmesi yani fotovoltaik etki prensibi ilk olarak 1839 yılında sıvı elektrolit çözelti içinde bulunan katı bir elektrotun üzerine ışık düşürüldüğünde elektrotun uçlarında potansiyel fark oluştuğunu gözleyen Alexander Edmond Becquerel'dir. 1873 yılında Willoughby Smith selenyumun fotovoltaik özelliğini keşfetmiş fakat 1883 yılında Charles Fritz selenyumu ince bir şekilde altın ile kaplayarak verimi % 1'den düşük olan ilk fotovoltaik diyot elde edilmiştir. Silikon diyottan ilk PV diyot 1941 Russell Ohl tarafından geliştirilerek patentini almıştır. 1954 yılında % 4 olan PV diyot verimliliği silikona çeşitli katkı maddeleri eklenerek verimlilik % 11 seviyelerine ulaşmıştır. Sonrasında hızlı bir gelişim içine giren ve verimleri artan PV diyotların uzay çalışmalarında ve uydularda kullanımı popüler hale gelmiştir [20].

Fotovoltaik hücre yapımında kullanılan silisyum ve germanyum gibi yarıiletken malzemelerin atomlarının bulunduğu son yörüngeye valans bandı, elektronların bulunduğu bölüme iletkenlik bandı ve bu iki bant arasındaki bölgeye ise yasak enerji bandı denilmektedir [21]. Son yörüngede bulunan elektronlara enerji verildiğinde yasak enerji bandını geçerek valans bandından sonraki bir üst enerji seviyesi olan iletkenlik bandına çıkmaktadırlar. Malzemenin iletken ve yalıtkan olma durumunun belirleyicisi olan yasak enerji aralığıdır.

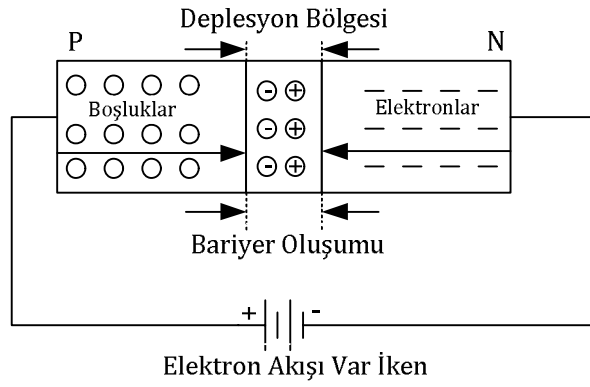
Genellikle silisyumdan imal edilen fotovoltaik diyotlar p ve n tipi iletkenlerin birleşiminden oluşmaktadır. Katkısız halde bulunan silisyuma son yörüngesinde 5 elektronu bulunan fosfor gibi atomlar eklenirse çoğunluk taşıyıcısı elektronlar olan n tipi madde, son yörüngesinde 3 elektronu bulunan boron gibi maddeler eklenirse de çoğunluk taşıyıcıları boşluklar olan p tipi madde elde edilir [20].

Şekil 2.2’de n ve p tipi iki adet silikon bölümün birleşerek oluşturduğu fotovoltaik diyotun yapısı görülmektedir. N ve P tipi maddelerinin birleştiği yüzeye jonksiyon bölgesi denilmektedir. N tipi maddede çoğunluk taşıyıcısı elektronlar, P tipi maddede ise boşluklardır. N tipi madde içinde küçük miktarlarda azınlık taşıyıcısı konumda olan boşluklar ve P tipi maddede ise elektronlar bulunmaktadır. N ve P tipi maddeler birleştirilmeden önce nötr durumundadırlar. Yüzey yüzeye birleşme gerçekleştirildiğinde P tipi bölgede ki fazla olan boşluklar ile N tipi bölgede ki serbest elektronlarla birleşir. Böylece boşlukları elektronlarla birleşen P tipi bölge negatif (-) yüklü duruma, serbest elektronları boşluklarla birleşen N tipi bölge ise pozitif (+) yüklü duruma gelir. Negatif yüklü duruma gelen P tipi bölge, N tipi bölgenin elektronlarını iter. Aynı şekilde pozitif yüklü durumda olan N tipi bölgede P tipi bölgenin boşluklarını iter. Bölgeler arası elektron-boşluk akışı engellenir ve iki bölge arasında bariyer gerilim seddi denilen bariyer bir bölge oluşturur.



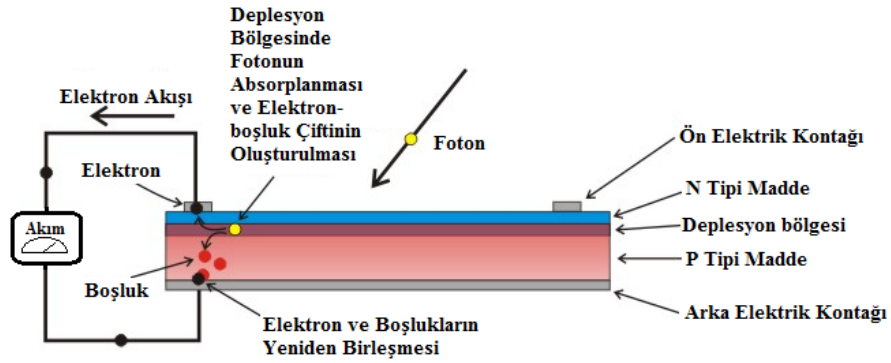
Şekil 2.2. Fotovoltaik diyotun denge durumu.

P ve N tipi bölge arasında ki denge durumu jonksiyon yüzeyine bir foton düşene kadar korunur. Güneş ışınımının da ki fotonların enerjisi valans bandındaki elektronları iletim bandına taşıyabilecek kadar büyükse yani fotonun enerjisi yasak enerji bandının enerjisinden büyükse elektronların hareketi sağlanarak valans bandından iletim bandına geçerler. İletim bandına geçen elektronlar valans bandından ayrıldığı yerde, negatif elektronun ayrılması ile pozitif değer kazanmış olan boşluklar bırakır [21]. Şekil 2.3’de iletim durumunda olan fotovoltaik diyotun yapısı görülmektedir.



Şekil 2.3. Fotovoltaik diyotta elektron akışı oluşumu.

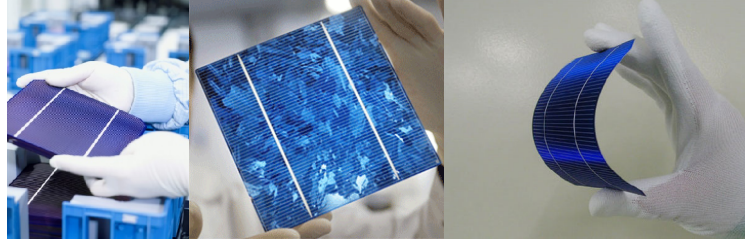
Fotonların enerjisi ile Şekil 2.4’de görüldüğü gibi elektron boşluk çifti oluşmaktadır. Oluşan elektrik alanın etkisi ile elektron N tipi maddeye, boşluk P tipi maddeye gönderilecektir. N tipi maddede ki serbest elektron dış devrede ki yükten geçerek P tipi maddeye ulaşmakta ve bir boşlukla birleşerek görevini tamamlamaktadır. Fotovoltaik pillerde yeterli enerjide fotonlar olduğu sürece akım oluşacak ve dış devrede ki yükü beslemek için yararlı bir güç akışı üretilecektir.



Şekil 2.4. Fotovoltaik diyotta ışık etkisi ile elektron-boşluk çiftinin oluşması ve akım oluşumu.

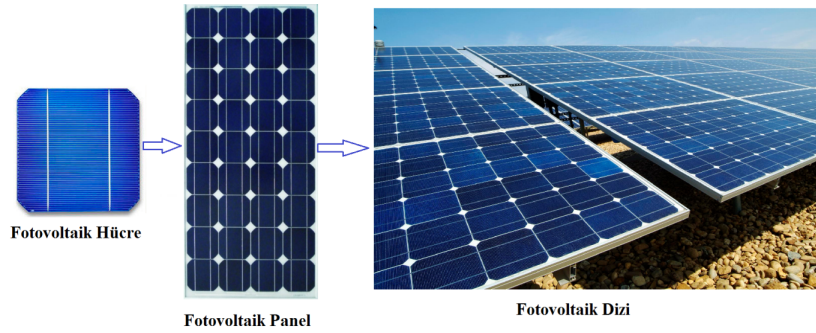
İlk olarak 1824 yılında Berzelius tarafından keşfedilen silisyum doğada saf halde bulunmaz. Silikatsı asidi ($mSiO_2 \cdot nH_2O$) ve tuzları halinde bileşikler bulunan ve yer kabuğunun % 25,7’sini oluşturan silisyum oksijenden sonra doğada en fazla bulunan elementtir. Doğada kum ve kuartz halinde bulunan silisyum oksit (SiO_2) çeşitli saflaştırma işlemlerinden geçerek saf silisyum elde edilir [22]. Saf silisyumdan üretilen kare, dikdörtgen veya daire biçimli yüzeye sahip olan fotovoltaik piller

genelde 100 cm^2 alana ve 0,2 mm ile 0,4 arasında değişen kalınlıklarda imal edilirler. Şekil 2.5’de çeşitli yapıda üretilmiş güneş pilleri görölmektedir.



Şekil 2.5. Çeşitli yapıda güneş pilleri.

Çeşitli şekillerde üretilen güneş pilleri belirli bir akım ve gerilim değerini elde etmek için seri yâda paralel bağlanarak istenilen güç değeri elde edilmeye çalışılır. Fotovoltaik hücrelerin bu şekilde bir araya getirilmesiyle fotovoltaik panel/modül, fotovoltaik modüllerin çeşitli güç değerlerini elde etmek için seri yada paralel bağlanmasıyla oluşan yapıya da fotovoltaik dizi denilir. Şekil 2.6’da fotovoltaik hücreden fotovoltaik diziye kadar olan süreç görölmektedir.

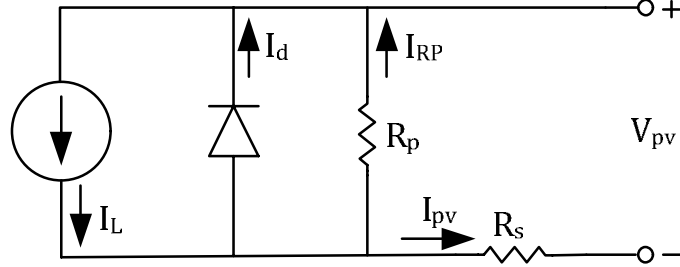


Şekil 2.6. Fotovoltaik hücre, panel ve dizi.

2.3. FOTOVOLTAİK PİLLERİN ELEKTRİKSEL EŞDEĞER DEVRE MODELİ

Fotovoltaik hücrelerin çalışması, davranışları bilinen elemanlar ile bir elektriksel eşdeğer devre oluşturularak incelenebilir. Şekil 2.7’de fotovoltaik hücrelerin elektriksel eşdeğer devre modeli görölmektedir. Fotovoltaik malzemeler çeşitli bağlantı noktaları, koruma elemanları ve çeşitli devrelerin bir araya gelmesi ile

oluşur. Bu da PV sistemlerin çeşitli bağlantılarla oluşup ideal elemanlar olmadığını ve kayıpların oluşacağını göstermektedir [23].



Şekil 2.7. Fotovoltaik hücrelerin elektriksel eşdeğer devre modeli [23].

Çizelge 2.1’de PV hücrenin eşdeğer devresinde kullanılan semboller ve açıklamaları verilmiştir.

Çizelge 2.1. PV hücrenin eşdeğer devresinde kullanılan semboller ve açıklamaları.

Sembol	Açıklaması	Birimi
I_L	Işık Akımı	Amper
I_D	Diyot Akımı	Amper
R_p	Paralel Hücre Direnci	Ohm
R_s	Seri Hücre Direnci	Ohm
I_{PV}	Hücre Akımı	Amper
V_{PV}	Hücre Gerilimi	Volt

Eşdeğer devre de I_L fotonlar tarafından oluşturulan ışık akımıdır ve bir akım kaynağı ile sembolize edilmiştir. Işık akımı güneş ışınımı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. N ve P birleşimli PV hücrelerini diyot ile gösterilmiştir ve üzerinden I_D akımını akıtmaktadır. İdeal elemanlar olmayan PV hücrelerin kayıpları dirençler ile gösterilmektedir. R_s seri direnci kontaklar ve bağlantı noktalarında gerilim düşümlerini, R_p paralel direnci ise farklı potansiyeller arasında ki sızıntı akımını ifade etmektedir [24].

Elektriksel eşdeğer devreye Kirşof'un akımlar kanunu uygulandığında Eşitlik (2.1) elde edilir.

$$I_{PV} = I_L - I_D - I_{RP} \quad (2.1)$$

Gerilim ve saturasyon akımına bağlı olan ID diyot akımı Eşitlik (2.2) ile ifade edilir.

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{q(V_{PV} + I_{PV}R_S)}{nkT}} - 1 \right) \quad (2.2)$$

Eşitlik (2.2)'de verilen semboller ve açıklamaları Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Eşitlik (2.2)'de verilen semboller ve açıklamaları [23].

Sembol	Açıklaması	Birimi
I_s	Ters Saturasyon Akımı	Amper
K	Boltzmann Sabiti	J/K
T	Mutlak Sıcaklık	K
q	Elektron Yüğü	J/V
n	İdealite Faktörü	

N ve p birleşim yüzeyi boyunca akan akımdan dolayı meydana gelen sızıntı akımını I_p Eşitlik (2.3) ile ifade edilmiştir.

$$I_{RP} = \frac{V_{PV} + I_{PV}R_S}{R_P} \quad (2.3)$$

Eşitlik (2.2) ve Eşitlik (2.3), Eşitlik (2.1)'de yerine konulduğunda Eşitlik (2.4) elde edilmektedir [23].

$$I_{PV} = I_L - I_D - I_{RP} = I_L - I_S \left(e^{\frac{q(V_{PV} + I_{PV}R_S)}{nkT}} - 1 \right) - \frac{V_{PV} + I_{PV}R_S}{R_P} \quad (2.4)$$

Seri ve paralel direncin etkileri ihmal edilirse PV hücre akımı Eşitlik (2.5)'de ki gibi olmaktadır [23].

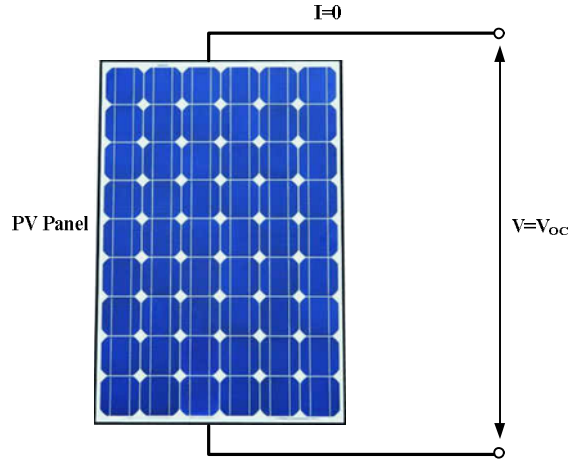
$$I_{PV} = I_L - I_S \left(e^{\frac{qV_{PV}}{nkT}} - 1 \right) \quad (2.5)$$

2.4. FOTOVOLTAİK PİLLERİN AKIM-GERİLİM (I-V) VE GÜÇ- GERİLİM (P-V) KARAKTERİSTİKLERİ

PV panel firmalarının ürünleri 25 °C hücre sıcaklığı, AM1.5 hava kütlesi ve 1000 W/m² standart test koşullarında karakteristik eğrileri ve parametreleri belirlenir. Fakat değişken sıcaklık ve ışınım şartların da PV panel değerleri de değişecektir. Işınım ve sıcaklığa bağlı olarak değişen fotovoltaik pillerin akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristiklerini elde edebilmek için açık devre gerilimi (Open Circuit Voltage - V_{OC}) ve kısa devre akımı (Short Circuit Current - I_{SC}) kavramlarının bilinmesi gerekmektedir.

2.4.1. Açık Devre Gerilimi

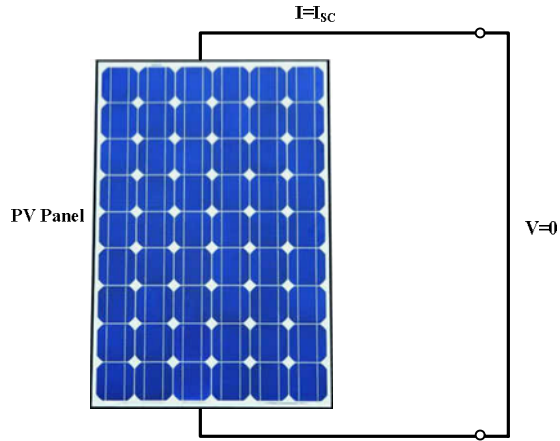
Açık devre gerilimi Şekil 2.8'de görüldüğü gibi PV panelin uçlarından akım geçmediği durumda (I=0), panelin iki ucu arasında ölçülen gerilimdir. PV panele yük bağlı olmadığı durumda ölçülen bu gerilime açık devre gerilimi denir ve V_{OC} ile gösterilir.



Şekil 2.8. PV panelin açık devre gerilimi.

2.4.2. Kısa Devre Akımı

Kısa devre akımı Şekil 2.9’da görüldüğü gibi PV panelin iki ucu bir kablo aracılığı ile birleştirildiğinde PV panel gerilimi sıfır iken ($V=0$), direk olarak fotonların ürettiği akıma eşit olan akımdır. Kısa devre akımı I_{SC} ile sembolize edilir.



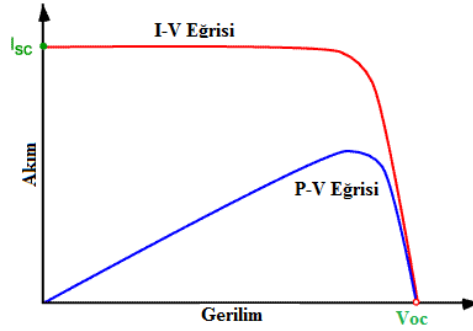
Şekil 2.9. PV panelin kısa devre akımı.

2.4.3. Akım-Gerilim (I-V) ve Güç- Gerilim (P-V) Karakteristikleri

PV panelden kısa devre durumunda çekilebilecek en yüksek akım, açık devre durumunda ise panel uçlarından ölçülebilecek en yüksek gerilim elde edilmiş olur.

Fakat her iki durumda da üretilen güç sıfırdır. Çünkü kısa devre akımı ölçülürken panel gerilimi sıfır, açık devre gerilimi ölçülürken ise devreden geçen akım sıfırdır.

Şekil 2.10'da belirli bir ışınım ve sıcaklık değerlerinde bir PV panelin akım-gerilim ve güç-gerilim eğrileri görülmektedir. Panel çalışma değerleri eksenlerin kesim noktası olan kısa devre akımı ve açık devre gerilimi arasında değişir.

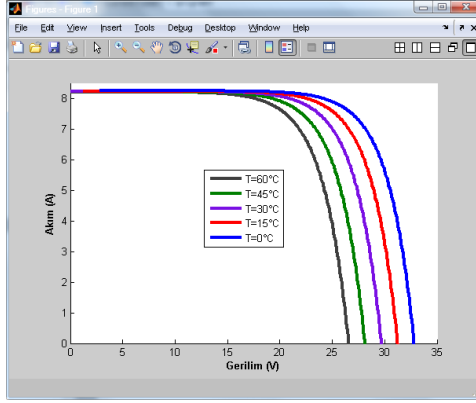


Şekil 2.10. PV panelin I-V ve P-V eğrileri.

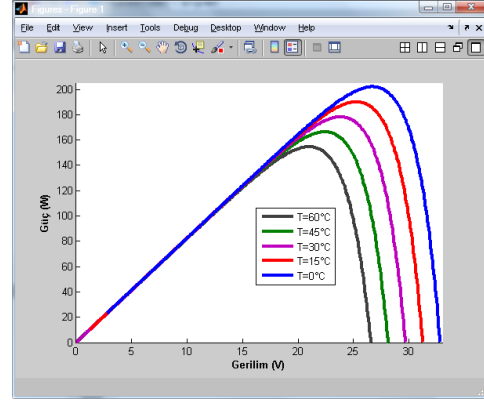
I-V eğrisi incelendiğinde PV panelin çıkış akımı, çıkış geriliminin belirli bir değerine kadar sabittir. Bu gerilim değeri aşıldığında çıkış akımında hızlı bir düşüş yaşanmaktadır. Aynı durum PV eğrisinde de geçerlidir. Gerilimin belirli bir noktasına kadar güç artmakta fakat o değer aşıldığında çıkış akımının azalmasına bağlı olarak güç değeri de azalmaktadır.

2.4.4. Işık Şiddeti ve Sıcaklığın I-V ve P-V Eğrileri Üzerine Etkisi

Işık şiddeti ve panel sıcaklığı PV panellerin I-V ve P-V eğrilerini değiştiren ve verimine etki eden iki önemli faktördür. Panel sıcaklığının her 10 °C' lik artışında, panel performansı % 1 oranında azalmaktadır [21]. Şekil 11.'de I-V ve P-V eğrilerinin sıcaklıkla değişimi görülmektedir. Şekil 2.11(a)'da I-V eğrisi incelendiğinde, sıcaklık arttığında kısa devre akımı artarken, açık devre gerilimi azalmaktadır. Fakat kısa devre akımı açık devre geriliminin azalmasına göre daha küçük oranda azaldığı için sıcaklık artışı ile panel çıkış gücü azalacaktır. Şekil 2.11(b).de panel sıcaklığının artışına bağlı olarak P-V eğrisinin değişimi görülmektedir.



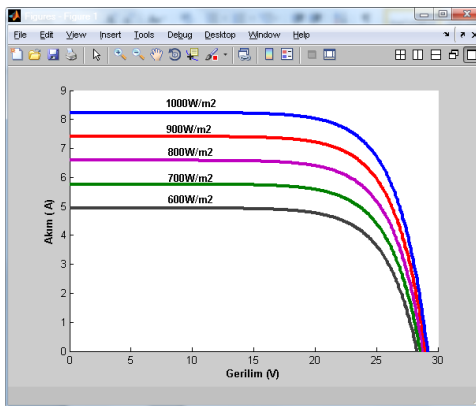
a) I-V eğrisi.



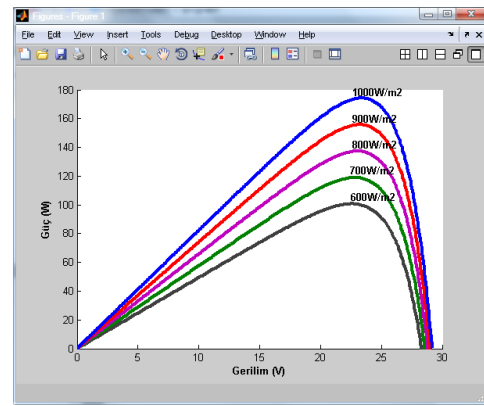
b) P-V eğrisi.

Şekil 2.11. PV panellerin sıcaklıkla I-V ve P-V eğrilerinin değişimi.

Işık şiddeti arttıkça açık devre gerilimi küçük oranlarda artarken, kısa devre akımı açık devre gerilimine göre büyük miktarlarda artmaktadır. Şekil 2.12(a).’da I-V eğrisinin ışık şiddeti ile değişimi görülmektedir. Işık şiddeti arttıkça kısa devre akımı, açık devre gerilimine göre daha büyük oranlarda arttığı için, açık devre geriliminin küçük artış etkisi ihmal edilebilir ve kısa devre akımının ışık şiddeti ile doğru orantılı olarak değiştiği söylenebilir. Şekil 2.12 (b).’de P-V eğrisinin ışık şiddeti ile değişimi görülmektedir. Işık şiddetinin artması ile çıkış gücü artış göstermektedir [13]. Fakat güneş ışınımının dağılmasına, kırılmasına ve saçılmasına neden olan panel yüzeyinde ki kirler % 3,5 oranında verim kaybına neden olmaktadır [21].



a) I-V eğrisi.



b) P-V eğrisi.

Şekil 2.12. PV panellerin ışık şiddeti ile I-V ve P-V eğrilerinin değişimi.

2.5. FOTOVOLTAİK PANEL TÜRLERİ

Fotovoltaik hücre yapımında çeşitli yöntem ve teknikler geliştirilmiştir. Kristal silikon PV hücreler ve ince film hücreler olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Kristal silikon hücreler tek kristal ve çoklu kristal PV hücreler olarak üretilmektedir. İnce film PV hücreler ise amorf silisyum, kadmiyum tellür ve bakır indiyum galyum selenyum PV hücreler olarak üretilmektedir.

2.5.1. Kristal silikon PV hücreler

Kristal silikon PV hücrelerin verimleri % 12-16 arasında değişmektedir. % 93 pazar payına sahip olan kristal silikon hücreler tek-kristal ve çoklu-kristal olmak üzere iki tipte üretilmekte ve 25 yıllık ürün garantisi verilmektedir. 0,17 mm'ye kadar düşen silikon dilim kalınlıkları ile PV pazarında çok önemli bir konuma sahiptir.

2.5.1.1. Tek-Kristal (Monokristal) PV Hücreler (c-Si)

PV hücre yapımında en çok kullanılan element olan silisyum yarıiletken özelliğe sahiptir. Silisyum oksijenden sonra kuartz ve kum şeklinde doğada en çok bulunan elementtir. Kumun saflık derecesi iyi olmadığından silisyum üretimi için uygun değildir. Bunun için % 90'ı silisyum olan Kuartz kullanılır. Kuartz işlenerek % 99 yoğunlukta silika elde edilir. daha sonra yarıiletken elektronik teknolojide kullanılan % 99.999 yoğunlukta saf silisyum elde edilir. Saf silisyum eriyiğinin içine çekirdek adı verilen tek kristal yapılı bir silisyum parçası batırılır. Eriyikten çıkarılan ve soğuyan çekirdeğin üzerinde silisyum eriyik külçe şekliden birikmiş olur. Külçe şeklini alan çekirdek ve silisyum eriyik ilk önce bloklar şeklinde kesilir. Bu bloklar da dilimlere ayrılır ve işleme tabi tutulur [25]. Şekil 2.13'de tek kristal PV hücre yapım süreci görülmektedir.



Şekil 2.13. Tek kristal PV yapım süreci.

Ticari modüllerde verimleri % 15'in üstünde olmakla birlikte, laboratuvar ortamında % 24'lük verim elde edilmiştir [26]. Yüksek verimleri nedeniyle uzun vadeli yatırımlar için uygundur. Fakat saf kristal gereksinimi ve kesim işleminde ki malzeme kaybı nedeniyle maliyetleri yüksektir. Maliyetini geri ödeme süresi 4-6 yıl arasındadır. 20 yıllık bir sürede % 7 verim kaybı meydana gelir. Şekil 2.14'de tek kristal güneş pili ve paneli görülmektedir.



Şekil 2.14. Tek kristal güneş pili ve güneş paneli.

2.5.1.2. Çoklu-Kristal (Polikristal) PV Hücreler (mc-Si)

Tek kristal PV hücre yapımında ki maliyetleri aşağı çekebilmek için çoklu kristal PV hücreler üretilmiştir. Bu hücreler dökme yöntemi ile elde edilmektedir. Tek kristal PV hücre için gerekli olan silisyum bu hücrelerin üretimi için de aynı saflık derecesinde olmalıdır. Eriyik halinde ki saf silisyum dökme yöntemi ile kalıplara dökülür. Soğutulan bloklar kare şeklinde kesilerek işlenir. Şekil 2.15'de çoklu kristal PV hücre ve panel görülmektedir.



Şekil 2.15. Çoklu kristal güneş pili ve güneş paneli.

Kristal yapıları homojen olmayan bu panellerin maliyetleri ucuzdur. Ticari modüllerde verimleri % 14 civarında olmakla birlikte laboratuvar ortamında % 18 seviyelerindedir [26]. Tek kristal PV panellere göre daha ucuzdurlar. İlk yatırım maliyetini geri ödeme süresi 2-4,5 yıl arasındadır. 20 yıllık bir sürede %14 verim kaybı meydana gelir.

2.5.2. İnce Film PV Hücreler

% 7 pazar oranına sahip olan bu hücrelerin ışık tutma oranları yüksektir. Dilim kalınlıkları 1-4 μm arasında değişen çok ince yapılı panellerdir. % 7-14 arasında değişen verimleri ile kristal PV panellere göre düşük fiyatlı ürünlerdir.

2.5.2.1. Amorf Silisyum PV Hücreler (a-Si)

Amorf silisyum PV hücreler ince film güneş pili teknolojisinde sıklıkla kullanılan panel türüdür. İlk kullanım örneği schottky bariyer yapımıdır. Daha sonra p-i-n birleşim yapılı piller üretilmiş ve kalay oksitle kaplı iletken bir yüzeyin üzerine çöktürme yöntemi ile uygulanır ve bu yüzeyin diğer tarafı metale kaplanır. Fakat bu piller kısa zamanda bozunur ve çıkışları azalır [27]. Şekil 2.16'da amorf silisyum hücre ve panel görülmektedir.

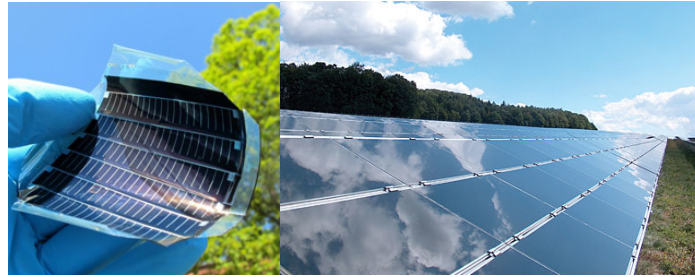


Şekil 2.16. Amorf silisyum güneş hücresi ve güneş paneli.

Teorik verimleri % 10 civarında olmasına karşın pratikte verimleri % 5-7 arasında değişmektedir [26]. Maliyetini geri ödeme süresi 1,5-3,5 yıl arasındadır. Zaman içerisinde % 21'lere yakın verim kaybı oluşmaktadır. İlk üretim sürecinde yüksek maliyetli donanımlar gerektirse de üretim süreci ucuz olduğu için tercih edilen panel türleridir.

2.5.2.2. Kadmiyum Tellür (CdTe) PV Hücreler

Yasak enerji aralığı 1,5 eV olan kadmiyum tellür ile oda sıcaklığında maksimum güç dönüşümü yapılması için uygun enerji aralığına sahiptir. Genellikle 2,4 eV bant aralığına sahip kadmiyum sülfür ile eklem diyot oluşturularak birlikte kullanılır. Başlıca kadmiyum tellür büyütme teknolojileri CSS (Close Space Sublimation-Yakın Mesafeden Buharlaştırma) ve Elektrodepozisyon yöntemleridir. CSS yönteminde sıcaklık farkları çok az olan film yüzeyi ve kaynak birbirine çok yakın tutularak süblimasyonla malzemenin büyümesi sağlanır. Elektrodepozisyon yönteminde ise Cd ve Te iyonlarını taşıyan elektrolitten akım geçirilerek CdTe' nin katotta toplanması sağlanır. Bu yöntemle hücreler elde edilir. Şekil 2.17'de kadmiyum tellür güneş hücresi ve güneş paneli görülmektedir.



Şekil 2.17. Kadmiyum tellür güneş hücresi ve güneş paneli.

Üretim maliyeti düşük olan kadmiyum tellür güneş pilleri ile 1 cm²'de % 17'lik, 8390 cm²'de % 11'lik bir verime ulaşılmıştır. Sadece rijit cam ile kullanılabilir.

2.5.2.3. Bakır İndiyum Galyum (di) Selenyum (CIGS) PV Hücreler

Üç yâda daha fazla elementin bir araya gelerek bileşik oluşturduğu bileşikte yarıiletkenlerin soğurma katsayıları yüksektir. Yasak enerji bant aralığı güneş spektrumu uyumlu olacak şekilde ayarlanabilmektedir [27]. Galyum elementi kullanılarak verimi arttırılabilmektedir. Şekil 2.18’de Bakır indiyum galyum (di) selenyum (CIGS) PV hücre ve PV paneller görülmektedir.



Şekil 2.18. Bakır İndiyum Galyum Selenyum güneş hücresi ve güneş paneli.

% 10.2 civarında değişen verimleri ile cam ve esnek yüzey ile kullanılabilir. Pahalı üretim süreci ile geniş alan gereksinimi bulunmasına rağmen artan bir pazar payına sahiptir [26].

BÖLÜM 3

MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ (MPPT) VE ALGORİTMALAR

3.1. KLASİK ALGORİTMALAR

Klasik algoritmalar, dolaylı kontrol algoritmaları ve doğrudan kontrol algoritmaları olarak incelenmektedir.

3.1.1. Dolaylı Kontrol Algoritmaları

PV modüllerin açık devre gerilimi ve kısa devre akımı gibi karakteristik özelliklerini kullanarak, güneş ışınımı ve panel sıcaklığı gibi değerlerin ölçülüp nümerik yaklaşımlar veya matematiksel eşitlikler yardımıyla maksimum güç noktasının yaklaşık bulunmaya çalışıldığı bir yöntemdir. Dolaylı kontrol kısa devre akımı ve açık devre gerilimi şeklinde iki farklı yöntemle uygulanabilmektedir[28].

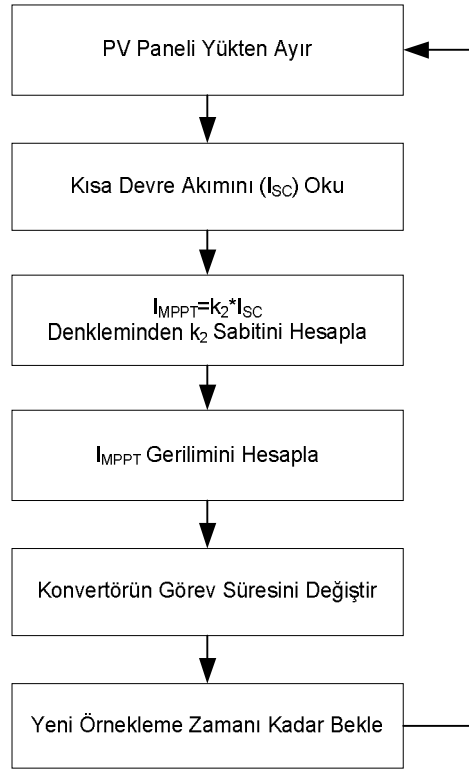
3.1.1.1. Kısa Devre Akımı Yöntemi

PV modülün kısa devre akımının (I_{SC}) maksimum güç noktasından ki akım (I_{MPPT}) ile orantısal ilişkisinden yola çıkılarak uygulanan bir yöntemdir. Eşitlik (3.1) ile verilen eşitlikte kısa devre akımı ve maksimum güç noktası akımı arasında ki ilişki görülmektedir.

$$I_{MPPT} = k_2 I_{SC} \quad (3.1)$$

MPPT akımının hesaplanabilmesi Şekil 3.1'de görülen kısa devre akımı yöntemi çalışma diyagramında ki işlem basamakları yürütülmektedir. İlk etapta PV panel belirli periyotlarda yükten ayrılıp kısa devre edilecektir. Ardından kısa devre akımı

ölçülecek ve sabit k_2 çarpanı da işleme dahil edilerek maksimum güç noktası akımı matematiksel ifade yardımıyla hesaplanacaktır. Hesaplanan bu değer referans değer olarak atanacak ve denetleyicinin referans işareti olacaktır. Belirlenen sürelerde bu işlemler tekrarlanacaktır.



Şekil 3.1. Kısa devre akımı yöntemi çalışma diyagramı.

Basit bir yöntem olan kısa devre akımı yöntemi kompleks devreler gerektirmemesi avantajlarına karşılık, kısa devre akımını ölçebilmek için belirli periyotlarda yükün panelden ayrılma zorunluğu ve o anda yaşanan enerji kaybı, k_2 sabitinin belirlenmesi, panel yüzeyinde oluşan kirlilik vb. durumların k_2 sabitinde meydana getirecekleri değişiklikler dezavantajlarını oluşturmaktadır [29].

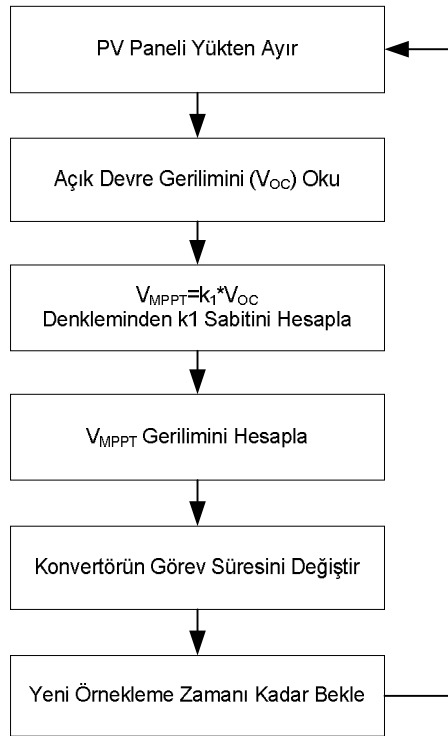
3.1.1.2. Açık Devre Gerilimi Yöntemi

PV modülün açık devre geriliminin (V_{OC}) maksimum güç noktasında ki gerilim (V_{MPP}) ile orantısal ilişkisinden yola çıkılarak uygulanan bir yöntemdir. Eşitlik (3.2)

ile verilen eşitlikte açık devre gerilimi ve maksimum güç noktası gerilim arasında ki ilişki görülmektedir.

$$V_{MPPT} = k_1 V_{OC} \quad (3.2)$$

MPPT geriliminin hesaplanabilmesi için Şekil 3.2’de görülen açık devre gerilimi yöntemi çalışma diyagramında ki gibi işlem basamakları yürütülmektedir. İlk etapta PV panel belirli periyotlarda yükten ayrılacaktır. Ardından açık devre gerilimi ölçülecek ve sabit k_1 çarpanı da işleme dahil edilerek maksimum güç noktası gerilimi matematiksel ifade yardımıyla hesaplanacaktır. Hesaplanan bu değer referans değer olarak atanacak ve denetleyicinin referans işareti olacaktır.



Şekil 3.2. Açık devre gerilimi yöntemi çalışma diyagramı.

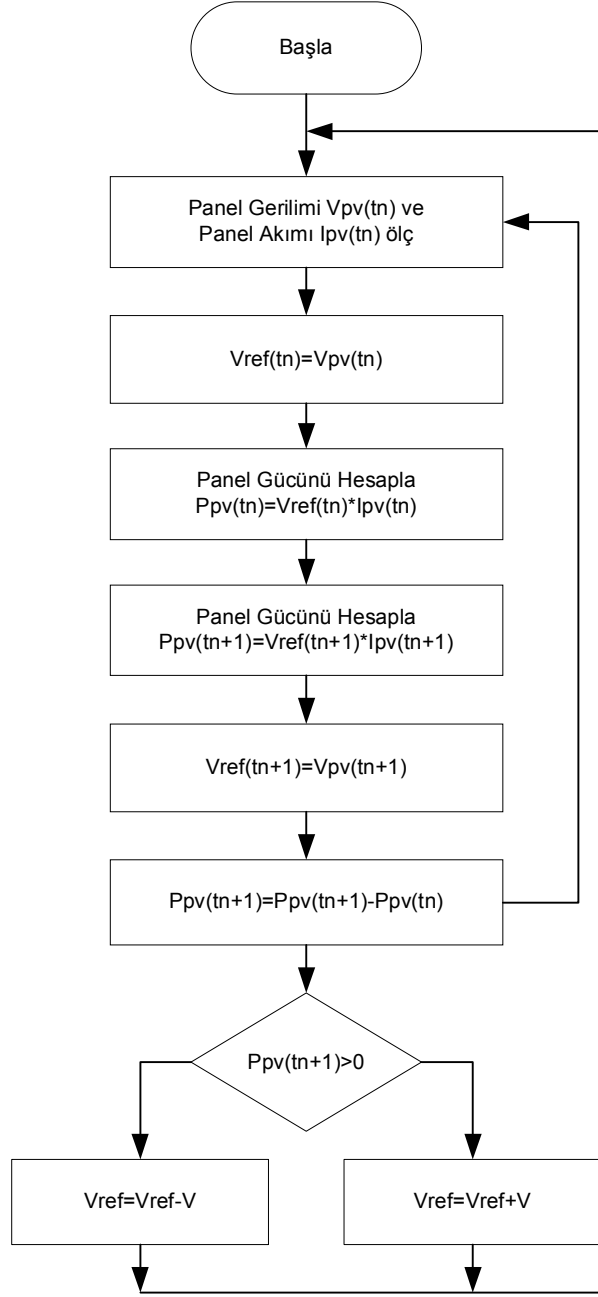
Bu yöntem kısa devre akımı yönteminde olduğu gibi kolay ve kompleks devreler gerektirmemektedir. Fakat açık devre gerilimini ölçüm işlemi PV panelin yükten ayrılma zorunluluğu ve bu esnada yaşanan enerji kaybı dezavantaj oluşturmaktadır [29].

3.1.2. Doğrudan Kontrol Algoritmaları

Doğrudan kontrol yöntemi sürekli olarak PV akım ve geriliminin okunarak o anki ışınım ve sıcaklık değerlerinde maksimum güç noktasına ulaşmak için uygulanan yöntemdir. Dolaylı kontrol algoritmalarında olduğu gibi sabit çarpanlar, kısa devre akımı ve açık devre gerilimi ile maksimum güç noktası takip edilmek yerine gerçek MPPT noktası bulunmaya çalışır [28].

3.1.2.1. Değiştir-Gözle (Perturbation and Observation-P&O) Algoritması

Değiştir - gözle algoritması doğrudan kontrol algoritmaları içinde en sık kullanılan kontrol algoritmasıdır. Çeşitli akış diyagramları ile uygulanan bu yöntem de sürekli olarak çıkış gücü izlemesi yapılır. Gücün değişimine göre kullanılan denetleyicinin referans işareti arttırılıp azaltılarak maksimum çıkış gücü alınması hedeflenmektedir. Şekil 3.3'de P&O algoritmasının çalışma diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.3. P&O algoritması çalışma diyagramı.

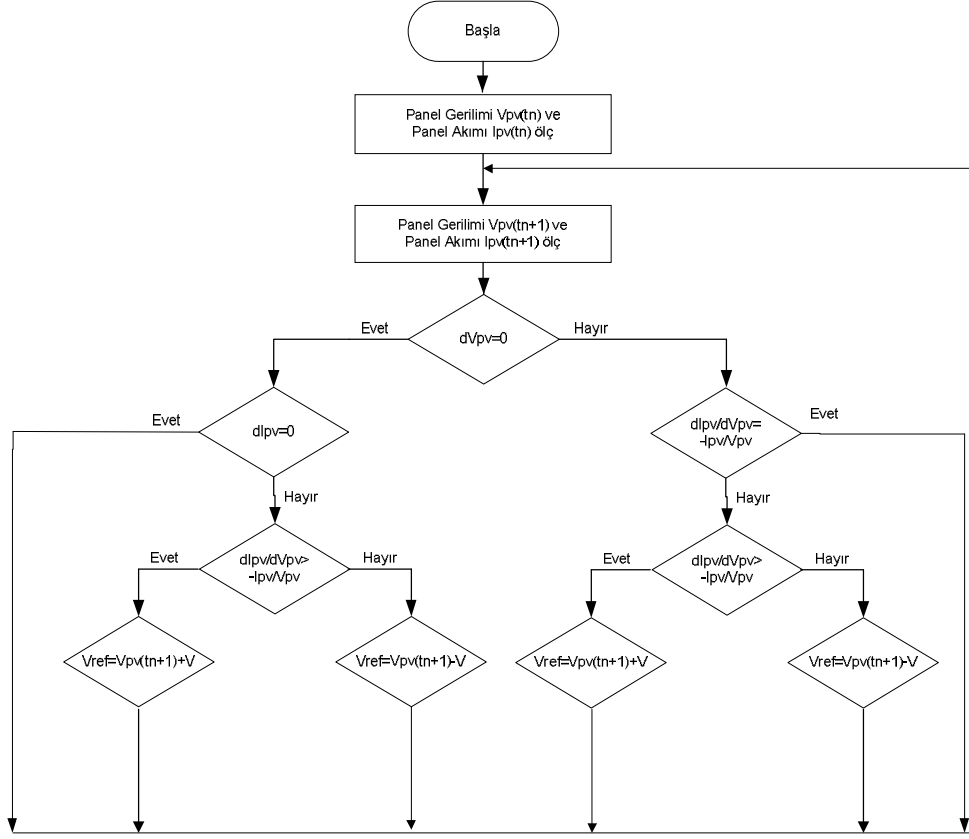
Maksimum güce ulaşmak için akım yâda gerilim değerlerinden birisi referans olarak seçilebilir. Şekil 3.3’de verilen çalışma diyagramında, ilk etapta panel akımı ve gerilimi okunarak panel gücü hesaplanır. Ölçülen panel gerilimi referans gerilim değeri olarak alınır. İkinci etapta PV sistemin gücü belirlenen miktar kadar arttırılır ve tekrar panelin gücü ölçülür. Bir önceki güç değeri ile bir sonraki güç değeri ölçülerek karşılaştırılır. Fark pozitif ise maksimum güç noktasına yaklaşıldığı anlamına gelmekte ve gücün değişiminin pozitif eğimli olduğu süre boyunca panel

gerilim değeri arttırılarak işlem yapılır. Güçteki fark negatif ise maksimum güç noktasından uzaklaşıldığı anlamına gelir ve panel gerilim değeri belirlenen miktarlarda azaltılarak sürekli olarak maksimum güç noktasında çalışmak amaçlanır [4].

P&O yönteminde sistem sürekli olarak maksimum güç noktasına ulaşabilmek için değiştir-gözle işlemi yapacaktır. Maksimum güç noktasına ulaşıldığı durumda bile referans değerler sürekli değişecek ve sabit bir noktada çalışma mevcut olmayacaktır. Bunun sonucunda MPP noktasında sürekli salınım yapacak ve güç kaybına neden olacaktır. Ayrıca hızlı değişen atmosferik koşullarda yavaş tepki vermektedir [29].

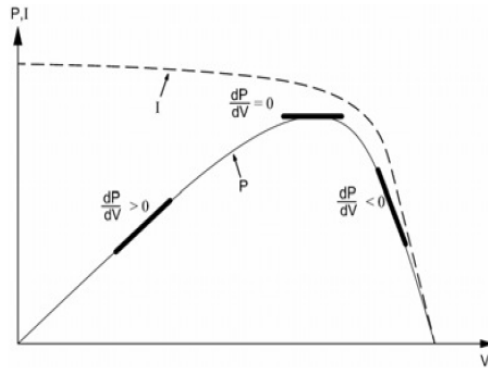
3.1.2.2. Artan İletkenlik Yöntemi (Incremental Conductance (IC) Method)

Güneş paneli çıkış gücü eğimini referans alan, panelin akım ve geriliminde ki anlık ölçüm sonuçlarındaki artışlarına göre PV yapının iletkenliğinin gözlemlenmesi esasına dayanan bir yöntemdir. Şekil 3.4’de IC algoritması çalışma diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.4. IC algoritması çalışma diyagramı.

Şekil 3.5’de verilen artan iletkenlik yöntemi çalışma eğrisini göre; PV panel çıkış gücü eğimi sıfır (0) ise maksimum güç noktasında, pozitif ise maksimum güç noktasının solunda, negatif ise maksimum güç noktasının sağında bir noktada bulunulduğu anlaşılır.



Şekil 3.5. Artan iletkenlik yöntemi çalışma eğrisi.

IC yönteminin iletkenlik yöntemi Eşitlik (3.3) ile verilmiştir. Bu eşitlikte gücün gerilime göre türevi alınıp sifıra eşitlendiğinde iletkenlik denklemi elde edilmiş olur.

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = I_{PV} \frac{dV_{PV}}{dV_{PV}} + V_{PV} \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} = I_{PV} + V_{PV} \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} = 0 \quad (3.3)$$

Gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra Eşitlik (3.4) durumuna gelir. Eşitliğin sol tarafı ani iletkenliğin tersini, sağ tarafı ise artan iletkenliği tanımlamaktadır.

$$-\frac{I_{PV}}{V_{PV}} = \frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} \quad (3.4)$$

Maksimum güç noktasına ulaşmak için panel gerilimi referans alındığında;

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} > 0 \quad (3.5)$$

Eşitlik (3.5)'de verildiği gibi ise maksimum güç noktası eğrisinin solunda bulunulduğu için referans V_{PV} gerilimi arttırılmakta ve denklemin sifıra eşit olduğu duruma ulaşılmaya çalışılmaktadır.

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = 0 \quad (3.6)$$

Eşitlik (3.6)'da verildiği gibi ise maksimum güç noktasında bulunulduğu için referans V_{PV} gerilimi değiştirilmemekte ve aynı kalmaktadır.

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} < 0 \quad (3.7)$$

Eşitlik (3.7)'de verildiği gibi ise maksimum güç noktası eğrisinin sağında bulunduğu için referans V_{PV} gerilimi azaltılmakta ve denklemin sifıra eşit olduğu duruma ulaşılmaya çalışılmaktadır [4,30].

3.2. ZEKİ ALGORİTMALAR

3.2.1. Yapay Sinir Ağları (YSA)

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninde ki biyolojik sinir sisteminin işleyişini taklit ederek öğrenme, hatırlama ve genelleme gibi yeteneklerin sistemlere kazandırılmasını sağlayan bilgi işleme sistemidir. Antik yunan düşünürleri Plato ve Aristoteles'le başlayan insan beyni ve düşünebilmeye ilişkin sorgulamalar 18. yüzyılda Descartes ile devam etmiştir.

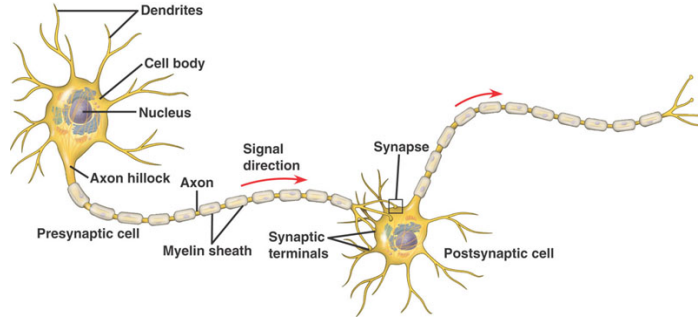
Beynin biyolojik sinir sisteminden hareket edilerek matematiksel modeli çıkartılmaya çalışılmıştır. Beynin sahip olduğu üstün özellikler yapay sinir hücreleri ve çeşitli ağ yapıları ile taklit edilmeye ve beynin bir görevi yerine getirme davranışı YSA ile modellenmeye çalışılmaktadır. YSA'da çeşitli şekillerde birbirlerine bağlı olan yapay sinir hücreleri geliştirilen çeşitli algoritmalarla öğrenme sürecine tabi tutulmaktadır. Öğrenen ağ bilgi toplama, hücreler arasında ki ağırlıklar kullanılarak bilgi saklama ve bu veriler ışığında genelleme yeteneğine sahip olurlar.

3.2.1.1. Biyolojik Sinir Sistemi ve Sinir Hücresi (Nöron)

Biyolojik sinir sistemini genel olarak alıcı sinirler, tepki sinirleri ve merkezi beyin ağı/beyin oluşturur. Alıcı sinirler'ler (Receptor) çevreden gelen sinyalleri elektriksel sinyallere çevrilir ve beyine iletilir. Beynin elektriksel sinyal cevabı ise tepki sinirleri ile uygun tepkilere dönüştürülür. Bu üç bileşen ile sürekli olarak ileri ve geri besleme yapılarak sinyallerin alınması ve beyinde değerlendirilerek uygun çıkış tepkilerine dönüştürülmesi sağlanır.

YSA oluşumu itibari ile biyolojik sinir hücresi (nöron) ile doğrudan benzerlik göstermektedir. Şekil 3.6'da bir biyolojik sinir hücresinin genel yapısı görülmektedir.

Genel olarak dendrit, hücre gövdesi, axon ve synapse olmak üzere dört bölümden oluşur.



Şekil 3.6. Biyolojik sinir hücresinin genel yapısı.

Dendrit: Diğer sinir hücrelerinden, bulunulan hücreye girdilerin alınmasını sağlayan, ağaç köküne benzeyen yapıdır.

Hücre Gövdesi: Merkezinde nucleus adı verilen ve hücrenin yaşamsal faaliyetlerini yerine getiren kısmıdır. Dendritlerin uçlarında ki bağlantı kısmı olan synapse'lar tarafından dendrite gelen bilgiler axon üzerinde elektriksel çıktı oluşturur. Tüm bilgilerin sayısal değerleri belirlenen eşik değeri geçtiğinde nöron tarafından değerlendirilerek çıkış elde edilmiş olur.

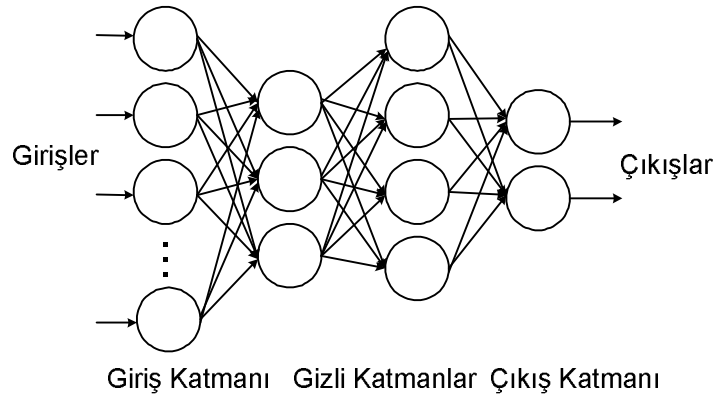
Axon: Hücre gövdesine bağlı ve verileri göndermeye yarayan uzantıdır. Axonda ucunda sinaptik bağlantılar bulunan çeşitli çıkıntı ve uzantılara sahiptir.

Snapse: Axon'daki elektriksel iletinin diğer hücrelere aktarılması için dendritler üzerinde bulunan bağlantı noktalarıdır.

3.2.1.2. Yapay Sinir ağları

Biyolojik sinir sisteminde diğer sinir hücrelerinden bilgiler snapsler vasıtasıyla dendritlere alınarak hücre gövdesine iletilir. Snapslerde güçlendirilen yâda zayıflatılan sinyaller hücre gövdesinde değerlendirilir. Elde edilen sinyallerin seviyesi eşik değerini aşarsa axon uyarılır, ilettime geçer ve aktif duruma gelir. Eşik değeri aşılamazsa sinir pasif durumda kalır.

Biyolojik sinir sistemi binlerce sinirden yani nörondan oluşmakta ve hepsinin birbiri ile etkileşimi ağ yapısını oluşturmaktadır. Bu ağ yapısının modelini oluşturmak için yapay sinir ağları benzetimi geliştirilmiştir. Bu benzetimde nöronların sırasıyla birbirine bağlanmaları katmanları, bu katmanlarında farklı şekillerde birbirleriyle bağlanmaları çeşitli ağ yapılarını oluşturmuştur. Bir yapay sinir ağı Şekil 3.7’de görüldüğü gibi giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı olarak üç bölümden oluşmaktadır.



Şekil 3.7. Yapay sinir ağının bölümleri.

Giriş katmanı dış dünyadan aldığı bilgileri ara katlara iletirler. Giriş katmanından alınan veriler bilgiler bir yâda birden fazla sayıda olabilen ara katmanda işlenerek çıkış katmanına gönderilir. Çıkış katmanı giriş verilerine göre işlenen bilgilerden üretilen verileri dış dünyaya iletir.

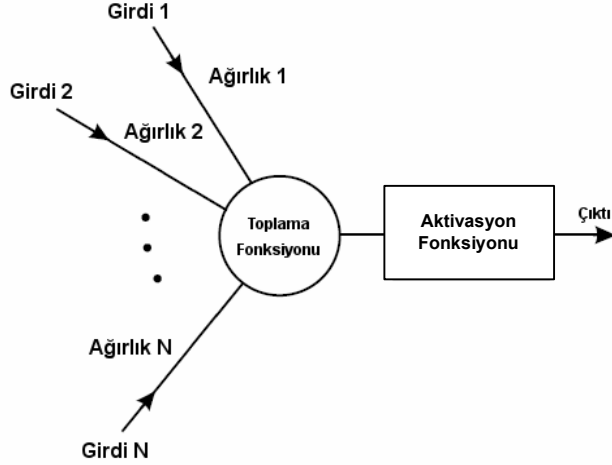
Yapay Sinir Hücresinin Genel Yapısı

Biyolojik sinir hücresinin benzetimi neticesinde oluşturulan yapay sinir hücresi temel olarak Şekil 3.8.’de görüldüğü gibi;

- ❖ Girdiler
- ❖ Ağırlıklar
- ❖ Toplama fonksiyonu

- ❖ Aktivasyon fonksiyonu
- ❖ Çıktı

olmak üzere beş kısımdan oluşmaktadır.



Şekil 3.8. Yapay sinir hücresinin genel yapısı.

Biyolojik sinir hücresinden esinlenerek oluşturulan yapay sinir hücresinin biyolojik sinir hücresi ile karşılaştırılması Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Biyolojik sinir hücresi ile yapay sinir hücresinin karşılaştırılması.

Yapay Sinir Ağları	Biyolojik Sinir Ağları
Yapay sinir hücresi	Biyolojik sinir hücresi, Nöron
İşlem yapan elemanlar arasındaki bağlantı ağırlıkları	Sinaps
Toplama fonksiyonu	Dendrit
Aktivasyon fonksiyonu	Hücre gövdesi
İşlem yapan elemanın çıktısı	Akson
Sinirsel hesaplama sistemi	Biyolojik sinir sistemi

Girdiler: Ağın öğrenmesini sağlamak amacıyla yapay sinir hücresine dışarıdan gelen bilgilerdir.

Ağırlıklar: Değişken yâda sabit değer alabilmekle birlikte hücreye giren bilgilerin matematiksel katsayısını yani göreceli değerini belirleyen değerlerdir. Yapay sinir ağlarında dış dünyadan gelen girdiler ağırlıklar üzerinden devreye alınmakta ve hücrelerin diğer hücreler ile iletişimini sağlayan bağlantılarda farklı ağırlık değerlerine sahip olmaktadır.

Toplama Fonksiyonu: Giriş verilerinin kendi ağırlıkları ile çarpılıp toplanmasından oluşan ve yapay sinir hücresine gelen net girdiyi hesaplayan fonksiyondur. Eşitlik (3.8)'de hücrenin net girdisi, Eşitlik (3.9)'da ise yapay sinir hücresinin çıktısı ifade edilmiştir. Çizelge 3.2'de Eşitlik (3.8) ve (3.9)'da verilen semboller ve açıklamaları verilmiştir.

$$v = \sum x_i w_i + \theta \quad (3.8)$$

$$y = F(v) \quad (3.9)$$

Çizelge 3.2. Eşitlik (3.8) ve (3.9)'da verilen semboller ve açıklamaları.

Sembol	Açıklaması
v	Hücrenin net girişi
x	Hücrenin net giriş vektörü
w	Hücre ağırlıkları matrisi
y	Hücre çıktısı

Aktivasyon Fonksiyonu: Toplama fonksiyonu ile hesaplanan net girdiyi çeşitli şekilleri bulunan uygun işlemde geçirerek yapay sinir hücresinin çıktısını belirleyen fonksiyondur. En uygunu kullanıcının denemeleri neticesinde belirlenecek olan aktivasyon fonksiyonlarının farklı tipleri bulunmakta ve ağın ne amaçla kullanıldığına göre belirlenmektedir. Doğrusal, sigmoid ve tanjant hiperbolik en sık kullanılan aktivasyon fonksiyonlarıdır.

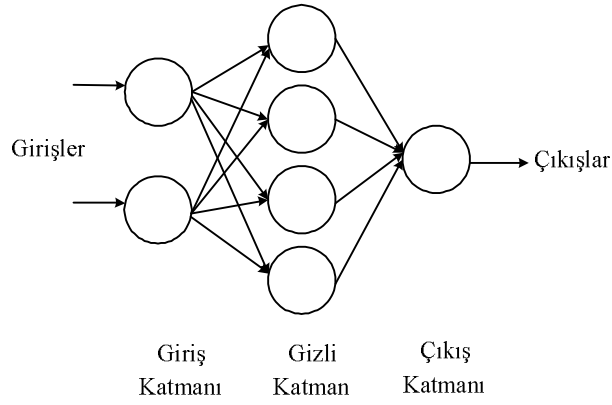
Çıktı: Aktivasyon fonksiyonu sonucunda elde edilen değer yapay sinir ağının çıktı değerini oluşturmaktadır.

3.2.1.3. Yapılarına Göre Yapay Sinir Ağları

Yapılarına göre yapay sinir ağları ileri beslemeli (feedforward) ağlar ve geri beslemeli (feedback) ağlar olarak iki sınıfta incelenirler.

İleri Beslemeli (Feedforward) Ağlar

Giriş katmanından çıkış katmanına doğru tek yönde bilgi iletimi yapılan ağlardır. Bu ağlara örnek olarak çok katmanlı perseptron (Multi Layer Perseptron-MLP) ve LVQ (Learning Vector Quantization) ağları örnek olarak verilebilir. Şekil 3.9'da ileri beslemeli bir ağ yapısı örülmektedir.

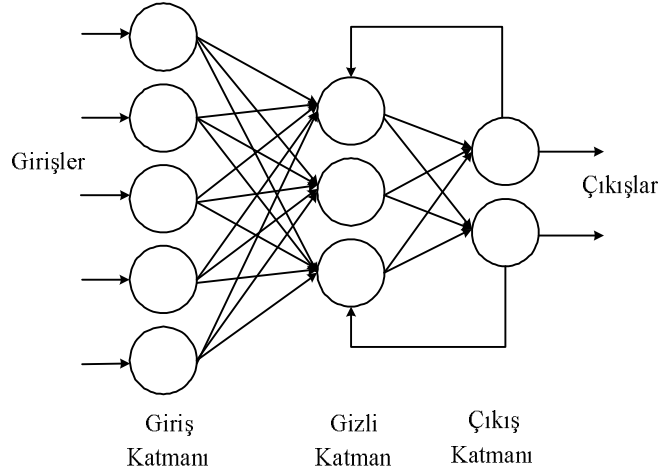


Şekil 3.9. İleri beslemeli ağ yapısı.

Şekilden görüldüğü gibi bir katmanda bulunan hücrenin çıktısı bir sonraki katmana ağırlık üzerinden iletilir. Giriş katmanı dış dünya verilerini direk olarak orta katmana iletir. Orta ve çıkış katmanında işleme tabi tutulan veriler yapay sinir ağlarının çıkışını oluşturur.

Geri Beslemeli (Feedback) Ağlar

Çıkış yâda ara katman çıkışlarının girişe yâda daha önceki ara katmanlara geri beslendiği ağ yapısıdır. Şekil 3.10'da geri beslemeli bir ağ yapısı görülmektedir.



Şekil 3.10. Geri beslemeli ağ yapısı.

Bu ağ yapısında hem ileri hem de geri yönde aktarılan girişler ile anlık çıkış hem o anki hem de önceki girişleri göstermektedir. Tahin uygulamaları için uygun olan bu ağlara Hopfield, SOM (Self Organizing Map), Elman ve Jordan ağları örnek olarak verilebilir.

3.2.2. Bulanık Mantık (BM)

Çıkış noktası belirsiz ve kesin olmayan durumların ifadesi olan bulanık mantık 1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. Bulunulan konumdan istenilen konuma ulaşabilmek için insan sezgileri ve tecrübelerinin benzetiminden yararlanmayı amaçlayan bu algoritma matematiği günlük yaşama uyarlayan bir kontrol stratejisidir. Makinelerin insanların deneyim ve sezgilerine dayanarak çalışabilme yeteneği kazandırılmaktadır. Bunu yaparken sayısal verilerin yerine belirli matematiksel temellere dayanarak çalışan ve bulanık mantık olarak isimlendirilen sembolik veriler kullanılmaktadır.

Gündelik hayatta insanoğlu pek çok sorunla karşılaşmakta ve deneyimlerinden yararlanarak bu sorunlara çözüm bulmaktadırlar. Fakat bazen bu sorunların çözümü belirli problemleri içerdiği için rahatlıkla çözülmekte, bezen de sorunlar belirsizlik içerdiği için çözüm süreci zor olmaktadır. Belirsizliği modern hayatla bulanık mantık adıyla tanıştıran Zadeh belirli olmayan sınır değerlerine sahip kümeleri bulanık küme teorisi olarak ortaya koymuştur.

Klasik mantık (0,1) olarak iki değer alabilirken, bulanık mantık [0,1] arasında farklı değerler almaktadır. Çünkü gündelik hayatta kullanılan sözel ve sayısal ifadeler sadece 0 ve 1 gibi iki kavram ile değil bu iki kavramın arasında ki bulanık değerler ile ifade edilmektedir. Örneğin genellikle sıcak, soğuk ve bulutlu gibi net kavramların yerine fazla sıcak, biraz soğuk ve çok bulutlu gibi söylemlerde olduğu gibi fazla, biraz ve çok gibi bulanık sözel değişkenler kullanılmaktadır. Ortamın ısı arttığında ısıyı biraz düşür, ısı düşüğünde ise ısıyı biraz arttır komutları verilir. Bu bulanık dilsel değişkenler insan beyninin kesin olmayan olayları nasıl değerlendirdiği ve karar verdiğiine ilişkin örneklerdir. Bulanık mantık bu dilsel değişkenleri uzman deneyimlerinden yararlanarak bir araya getirilmekte, algoritmaya dönüştürülmekte ve otomatik kontrol sağlanmaktadır.

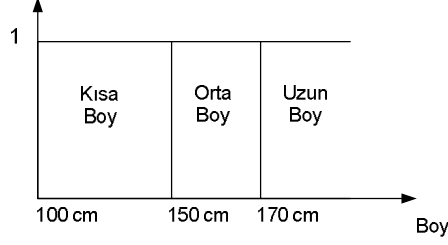
Zadeh insan düşüncesinin büyük bir kısmının kesin ifadeler içermediğini ortaya koyarak klasik kontrol uygulamalarında karşılaşılan zorluklara alternatif olarak bulanık mantıkla çalışan sistemler geliştirilmektedir. Kesin ifadeler yerine matematiksel modeli olmayan ve eksik verilerle işlem yapabilen yaklaşık düşünme biçimi kullanılmaktadır.

3.2.2.1. Bulanık Mantık ve Bulanık Küme

Klasik kümelerde o kümenin elemanı değil ise 0, elemanı ise 1 üyelik değerini almaktadır. Fakat gündelik hayattaki kavramlar sadece iki 0 ve 1 gibi iki keskin sınır ile değil bu sınırlar arasında ki üyelik değerleri ile ifade edilmektedir. Örneğin insan sıcak ve soğuk kavramlarının yanında biraz sıcak, çok soğuk gibi dilsel değişkenleri kullanılmakta ve 0 ile 1 arasında üyelik değerleri vermektedir. Bulanık mantıkta gündelik yaşamdan yola çıkarak insanların nesnelere tanımlamak için kullandığı ifadeler, 0 ile 1 arasında atadığı üyelik değerleri ve insan davranışlarının benzetimidir.

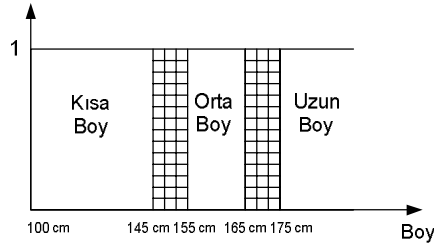
Şekil 3.11'de klasik küme kavramı ile ifade edilen boy uzunlukları kümesi verilmiştir. 100 cm ile 150 cm arasında ki insanlar kısa boylu, 150 cm ile 170 cm arasında ki insanlar orta boylu, 170 cm ve daha uzun boya sahip olanlar uzun boylu

olarak nitelendirilmektedir. Örneğin 149 cm kısa boy, 151 cm orta boy iken 169 cm’de orta boy olarak kabul edilmektedir.



Şekil 3.11. Klasik küme kavramı ile boy uzunlukları kümesi.

Fakat boyu 149 cm olan kişi orta boylu olarak kabul edilebilirken, 151 cm olan kişi kısa boylu olarak kabul edilebilir. Aynı şekilde 169 cm uzun boy, 171 cm orta boy olarak kabul edilebilir. Bu açıdan düşünülürse bu sınır değerler arasında çok fark olmadığı ve her iki kümeye üye olunabileceği ortaya çıkmaktadır. Bu durum Şekil 3.12 ile ifade edilebilir.



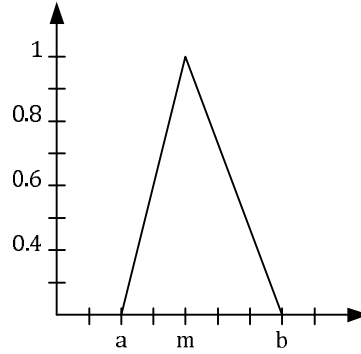
Şekil 3.12. Klasik küme kesişimi

Boyu 145 cm ve 155 cm arasında olan kişiler hem kısa boylu hem de orta boylu, boyu 165 cm ve 175 cm arasında olan kişiler ise hem orta boylu hem de uzun boylu olarak kabul edilebilmektedir. Yani taralı alan ile gösterilen aralıklarda iki gruba üye olunmakta ve üyelik derecesi 1 olmaktadır. Bulanık küme kavramı bu sorunlara çözüm bulmak için üretilmiştir. $\{0,1\}$ olarak iki değer yerine küçülen değerler için 0'a doğru azalan değerler, büyüyen değerler için 1'e doğru büyüyen değerler verilir ve $[0,1]$ arasında değişen üyelik değerleri ile üyelik işlevi görevi yerine getirilir. Herhangi bir X kümesinde yer alan A bulanık kümesinin μ_A üyelik işlevi $\mu_A: X \rightarrow [0,1]$ şeklinde tanımlanmaktadır [30].

3.2.2.2. Üyelik İşlevi Çeşitleri

Üyelik derecelerinin $[0,1]$ aralığında değişiminin ölçüsü üyelik fonksiyonları tarafından belirlenir. Üçgen, yamuk ve çan eğrisi olmak üzere birçok üyelik fonksiyonu kullanılmaktadır. Kullanılan üyelik fonksiyonunun şekli, kümenin ifade etmek istediği uygulama alanına göre değişiklik göstermektedir. Üyelik fonksiyonları ile bulanık kümenin grafiksel gösterimi sağlanır. Grafikte y eksenini $[0,1]$ aralığında değişen üyelik derecelerini gösterirken, x eksenini söylem evrenini temsil etmektedir.

Üçgen Üyelik Fonksiyonu: Üçgen üyelik fonksiyonunda “a” başlangıç noktası, “b” bitiş noktası, “m” ise a ile m noktası arasında bulunan bir noktayı temsil etmektedir. Şekil 3.13’de üçgen üyelik fonksiyonunun genel yapısı görülmektedir.



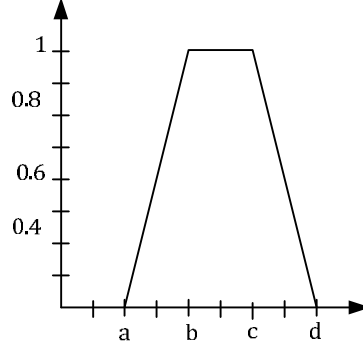
Şekil 3.13.Üçgen üyelik fonksiyonunun genel yapısı [31].

Üçgen üyelik fonksiyonu μ_A Eşitlik (3.10) ile ifade edilmektedir [31].

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a}, & a < x \leq m \\ \frac{b-x}{b-m}, & m < x \leq b \\ 0 & x \geq b \end{cases} \quad (3.10)$$

Yamuk Üyelik Fonksiyonu: Yamuk üyelik fonksiyonunda “a” başlangıç noktası, “d” bitiş noktası, “b” tepe değerin başlangıç noktası ve “c” ise tepe değerin bitiş

noktasını temsil etmektedir. Şekil 3.14’de yamuk üyelik fonksiyonu ve a, b, c, d değişkenleri arasında ki $a < b < c < d$ ilişkisi görülmektedir.



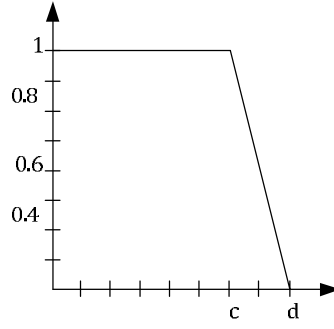
Şekil 3.14. Yamuk üyelik fonksiyonunun genel yapısı [31].

Yamuk üyelik fonksiyonu μ_A Eşitlik (3.11) ile ifade edilmektedir.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & (x \leq a), (x > d) \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x < c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \end{cases} \quad (3.11)$$

Yamuk üyelik fonksiyonu R üyelik fonksiyonu ve L üyelik fonksiyonu olarak iki özel biçimde olabilmektedir [31].

R Üyelik Fonksiyonu: R üyelik fonksiyonunda “a” başlangıç noktası ve “b” tepe değer başlangıç noktası eksi sonsuza eşittir. Şekil 3.15’de yamuk üyelik fonksiyonunun genel yapısı görülmektedir.

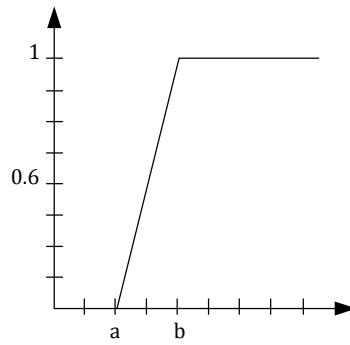


Şekil 3.15. R üyelik fonksiyonunun genel yapısı [31].

R üyelik fonksiyonu μ_A Eşitlik (3.12) ile ifade edilmektedir [31].

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x > d \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 1, & x < c \end{cases} \quad (3.12)$$

L Üyelik Fonksiyonu: L üyelik fonksiyonunda ve “c” ise tepe değer bitiş noktası ve “d” bitiş noktası artı sonsuza eşittir. Şekil 3.16’da L üyelik fonksiyonunun genel yapısı görülmektedir.

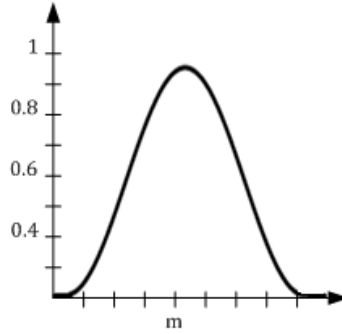


Şekil 3.16. L üyelik fonksiyonunun genel yapısı [31].

L üyelik fonksiyonu μ_A Eşitlik (3.13) ile ifade edilmektedir [31].

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & x > b \end{cases} \quad (3.13)$$

Gauss Üyelik Fonksiyonu: Gauss üyelik fonksiyonunda “m” merkez değer ve “k” standart sapmayı temsil etmektedir. 3.17’de gauss üyelik fonksiyonu görülmektedir. Standart sapmanın sıfırdan büyük olması ($k > 0$) istenmekte ve k küçüldükçe çan daha da daralmaktadır.



Şekil 3.17. Gauss üyelik fonksiyonunun genel yapısı [31].

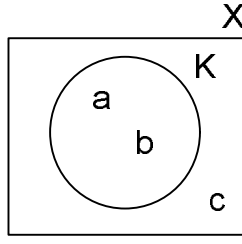
Gauss üyelik fonksiyonu μ_A Eşitlik (3.14) ile ifade edilmektedir [31].

$$\mu_A(x) = e^{-\frac{(x-m)^2}{2k^2}} \quad (3.14)$$

3.2.2.3. Klasik Küme Kavramı ve Klasik Kümelerde İşlemler

Klasik kümelerde bulanık kümelerin aksine elemanlar sadece $\{0,1\}$ değerlerini alırlar. Eğer bir eleman o kümenin elemanı ise 1 değerini, o kümenin elemanı değilse 0 değerini alır. Şekilde bir X evrensel kümesi görülmektedir.

Bir X evrensel kümesi $X = \{K, c\}$ elemanlarından, X kümesinin alt kümesi olan K kümesi ise $K = \{a, b\}$ elemanlarından oluşmaktadır. Şekil 3.18’de klasik X evrensel kümesi görülmektedir.



Şekil 3.18. Klasik X evrensel kümesi.

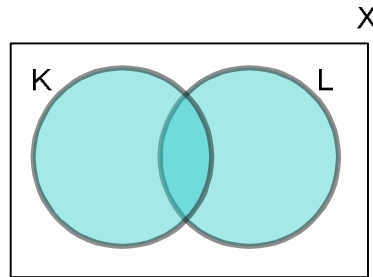
Klasik küme kavramı içinde K kümesi incelendiğinde a ve b elemanı K kümesinin elemanıdır ve 1 üyelik derecesine sahip olur. c elemanı ise K kümesinin elemanı olmadığı için 0 üyelik derecesine sahiptir. K kümesi $\mu_K = \{1/a, 1/b, 1/c\}$ ile ifade edilmektedir.

X evrensel kümesinin iki alt kümesi K ve L kümeleri ile birleşme, kesişme, tümlene ve fark işlemleri yapılabilmektedir.

Kümelerde Birleşme İşlemi

$$K \cup L = \{x \mid x \in K \text{ veya } x \in L\} \quad (3.15)$$

Eşitlik (3.15)'de tanımlanan K ve L kümelerinin bütün elemanlarının oluşturduğu kümeye birleşim kümesi denir. Birleşim işlemi $K \cup L$ şeklinde sembolize edilir. K ve L kümesinin birleşimi Şekil 3.19'da verilmiştir.

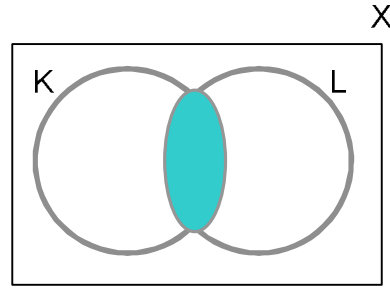


Şekil 3.19. K ve L kümesinin birleşimi.

Kümelerde Kesişme İşlemi

$$K \cap L = \{x \mid x \in K \vee x \in L\} \quad (3.16)$$

Eşitlik (3.16)'da tanımlanan hem K hem de L kümelerinin içinde bulunan elemanların oluşturduğu kümeye kesişim kümesi denir. Kesişim işlemi $K \cap L$ şeklinde sembolize edilir. K ve L kümesinin kesişimi Şekil 3.20'de verilmiştir.

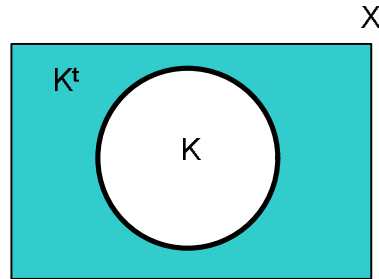


Şekil 3.20. K ve L kümesinin kesişimi.

Kümelerde Tümleme İşlemi

$$K^t = \{x \mid x \notin K \vee x \in X\} \quad (3.17)$$

Eşitlik (3.17)'de tanımlanan X evrensel kümesinde bulunan fakat K kümesinde bulunmayan kümeye K'nın X'e göre tümlenyeni denir. Tümleme işlemi K^t şeklinde sembolize edilir. K'nın tümleme gösterimi Şekil 3.21'de verilmiştir.

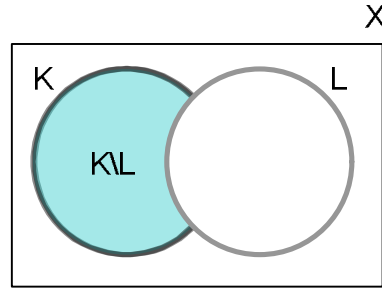


Şekil 3.21. K kümesinin tümlenyeni.

Kümelerde Fark İşlemi

$$K' = \{x \mid x \in K \vee x \notin L\} \quad (3.18)$$

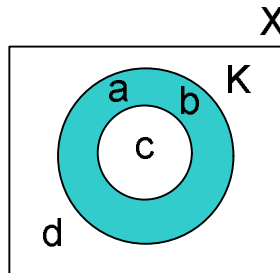
Eşitlik (3.18)'de tanımlanan K kümesinin elemanı olmasına karşın, L kümesinin elemanı olmayan öğelerin oluşturduğu kümeye K ile L kümesinin farkı denilir. Fark işlemi $K \setminus L$ şeklinde sembolize edilir. K fark L kümesi Şekil 3.22'de verilmiştir.



Şekil 3.22. K ve L kümesinin kesişimi.

3.2.2.4. Bulanık Küme Kavramı ve Bulanık Kümelerde İşlemler

Bulanık kümelerde klasik kümelerin aksine elemanlar sadece 0 ve 1 olmak üzere iki değer yerine, $[0,1]$ aralığında değişen üyelik değerleri alırlar. Şekilde 3.23'de bir X evrensel kümesi görülmektedir. X evrensel kümesi \tilde{K} bulanık kümesini içermektedir. d elemanı \tilde{K} bulanık kümesinin elemanı olmadığı için üyelik derecesi 0, c elemanı \tilde{K} bulanık kümesinin tam elemanı olduğu için üyelik derecesi 1'dir. Fakat a ve b elemanları \tilde{K} bulanık kümesine $[0,1]$ aralığında belirli bir orada üyedirler.



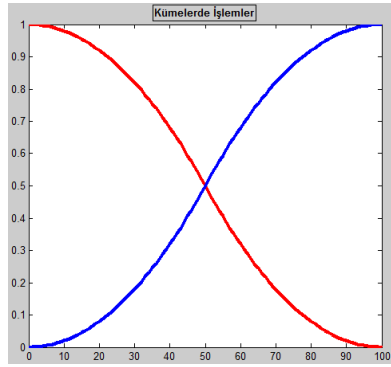
Şekil 3.23. Bulanık X evrensel kümesi.

X evrensel kümesinin iki alt kümesi \tilde{K} ve \tilde{L} kümeleri ile birleşme, kesişme ve tümlenme işlemleri açıklanacaktır.

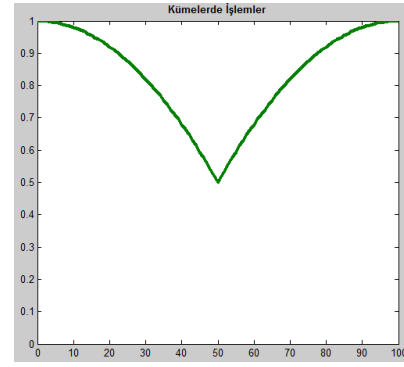
Bulanık Kümelerde Birleşim İşlemi

$$\mu_{\tilde{K} \cup \tilde{L}}(x) = \text{MAX}(\mu_{\tilde{K}}(x), \mu_{\tilde{L}}(x)) \quad x \in X \quad (3.19)$$

Eşitlik (3.19)'da tanımlanan üyelik fonksiyonuna \tilde{K} ve \tilde{L} bulanık kümelerinin birleşim kümesi denir. \tilde{K} ve \tilde{L} kümeleri ile birleşim işlemi üyelik derecesi büyük olan seçilerek yapılır. Birleşim işlemi $\tilde{K} \cup \tilde{L}(x)$ şeklinde sembolize edilir. K ve L kümesinin birleşimi Şekil 3.24'de verilmiştir.



a) K ve L kümesi.



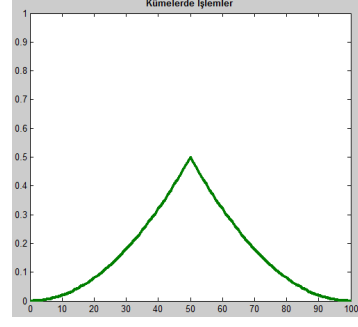
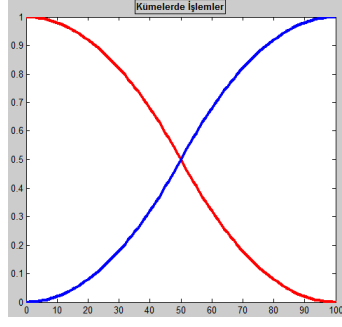
b) K ve L kümesinin birleşimi.

Şekil 3.24. Bulanık kümelerde birleşim.

Bulanık Kümelerde Kesişim İşlemi

$$\mu_{\tilde{K} \cap \tilde{L}}(x) = \text{MIN}(\mu_{\tilde{K}}(x), \mu_{\tilde{L}}(x)) \quad x \in X \quad (3.20)$$

Eşitlik (3.20)'de tanımlanan üyelik fonksiyonuna \tilde{K} ve \tilde{L} bulanık kümelerinin kesişimi kümesi denir. \tilde{K} ve \tilde{L} kümeleri ile kesişim işlemi üyelik derecesi küçük olan seçilerek yapılır. Kesişim işlemi $\tilde{K} \cap \tilde{L}(x)$ şeklinde sembolize edilir. K ve L kümesinin kesişimi Şekil 3.25'de verilmiştir.



a) K ve L kümesi.

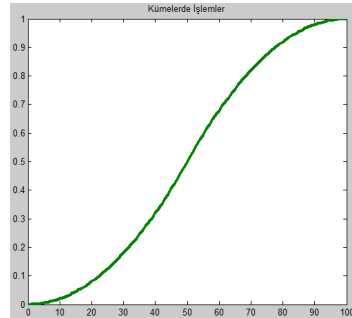
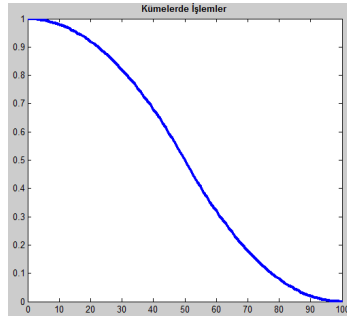
b) K ve L kümesinin kesişimi.

Şekil 3.25. Bulanık kümelerde kesişim.

Bulanık Kümelerde Tümleme İşlemi

$$\mu_{\tilde{K}^C}(x) = 1 - \mu_{\tilde{K}}(x) \quad (3.21)$$

Eşitlik (3.21)'de tanımlanan üyelik fonksiyonuna \tilde{K} bulanık kümesinin tümlen kümesi denir. Örneğin \tilde{K} bulanık kümesi 0,3 üyelik derecesine sahipse tümleninin üyelik derecesi 0,7 şeklinde hesaplanmaktadır. K kümesinin tümleniyi Şekil 3.26'da verilmiştir.



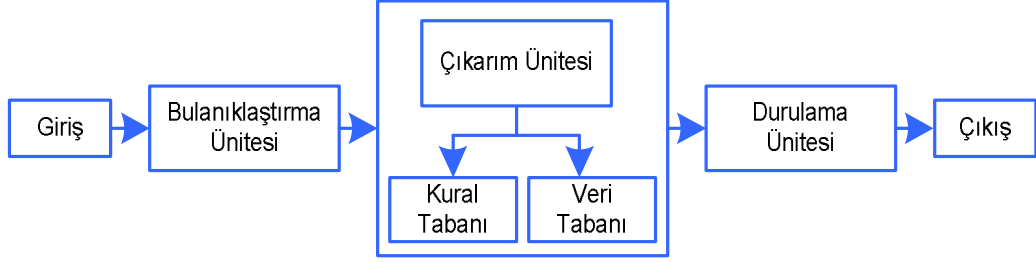
a) K kümesi.

b) K kümesinin tümleniyi.

Şekil 3.26. Bulanık kümelerde tümleme işlemi.

3.2.2.5. Bulanık Mantık Kontrollü Sistemlerin Genel Yapısı

Bulanık mantık kontrollü sistemler genel olarak Şekil 3.27’de görüldüğü gibi bulanıklaştırma ünitesi, çıkarım ünitesi ve durulama ünitesi olarak üç ana birimden oluşur.



Şekil 3.27. Bulanık mantık kontrollü sistemlerin genel yapısı.

Bulanık kontrollü sistem tasarımı çeşitli aşamalarda gerçekleştirilir.

- ❖ Tasarımın ilk aşaması problemin tanımlanması ve bulanık kontrol ile çalışacak modelin genel özelliklerinin belirlenmesidir.
- ❖ İkinci aşamada üyelik tipleri ve sınır değerleri belirlenir.
- ❖ Üçüncü aşamada üyelik fonksiyonları belirlenir. Uygulamada üçgen, yamuk ve gauss olarak çeşitli üyelik fonksiyonları kullanılmaktadır.
- ❖ Dördüncü aşama ise uzman deneyimlerinden faydalanılarak bulanık kurallar oluşturulur.
- ❖ Parametreleri belirlenen ve kural tabanına göre çıkarım yapılan bulanık değerler durularak çıkış elde edilir

Bulanıklaştırma Ünitesi

Bulanıklaştırma ünitesinin amacı gerçek giriş değişkeni değerlerinin bulanık değişkenlere dönüştürülmesidir. Uzman deneyimlerinden yararlanılarak yavaş, hızlı ve çok hızlı gibi dilsel değerler giriş sayısal değerlere verilir. Üyelik işlevleri vasıtasıyla giriş değişkenlerinin ait olduğu ve üçgen, yamuk ve gauss şeklinde bulanık kümeler ve üyelik dereceleri belirlenir.

Çıkarım Ünitesi

Çıkarım ünitesinde kural tabanı ve veri tabanı birleşerek bulanık mantık kontrollü sistemin bilgi tabanını oluşturmaktadır. Veri tabanında giriş değerlerinin bulanık küme işlevleri gibi bulanık veri kullanımına ilişkin tanımlamalar yer alır. Kural tabanında ise bulanık kontrolörün davranışlarını belirleyen şart ifadelerini içermektedir. Bulanık denetim kuralları “eğer ... ise ... - (if-then)” şeklinde tanımlanarak kural tablosu oluşturulur. Veri tabanı ve kural tabanı ile birlikte meydana gelen çıkarım ünitesi bulanık mantık kontrolün merkezini oluşturmaktadır. Bu kısımda insan düşüncesinin karar vermek için çıkarım yapma sürecinin benzetimi yapılmaya çalışılmakta ve bulanık çıkarım yapılmaktadır.

Durulama (Berraklaştırıcı) Ünitesi

Çıkarım ünitesinden gelen bulanık çıkarımların kontrolü yapılan sisteme verilmeden önce giriş değerleri gibi gerçek sayı değerlerine dönüştürüldüğü üniteye durulama yâda berraklaştırma ünitesi adı verilir. Maksimum üyelik yöntemi, ağırlık merkezi yöntemi, ağırlık ortalaması yöntemi ve mean-max üyelik yöntemi olmak üzere çeşitli durulama yöntemleri kullanılmaktadır.

3.2.3. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu

Parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) çok parametrelili lineer olmayan problemlerinin çözümünde kuş sürülerinin yiyecek arama davranışlarından esinlenerek ortaya atılmış bir optimizasyon tekniğidir. 1995 yılında Dr.Eberhart ve Dr.Kennedy tarafından geliştirilmiştir. Popülasyon temelli bu sezgisel optimizasyon tekniği kuş veya balık sürülerinin sosyal davranışlarından esinlenerek geliştirilmiştir. PSO’da problemlere çözüm arama, kuşların yerini bilmedikleri yiyeceğe en yakın kuşu referans alarak ulaşmaya çalışmaları arasında benzerlik kurulmaktadır. Her bir kuş parçacık olarak adlandırılmakta ve her parçacığın konumu bir fonksiyonda saklanarak parçacıkların yiyeceğe göre konumlarının uygunlukları ölçülmektedir. Bu esnada her parçacık kendi hızı, konumu ve bu konuma ulaşmadan bir önceki durumunu hafızasında tutmalıdır. Çünkü bir sonraki en iyi çözüm için parçacıkların

bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. PSO algoritmasına rastgele bir çözümle başlanmakta ve güncellemelerle devam edilerek en iyi çözüme ulaşılmaya çalışılmaktadır. Parçacık konumları her güncelleme tekrarlamasını “ p_{best} ” ve “ g_{best} ” ten en iyi olanına göre yapar. “ g_{best} ” popülasyonda tüm parçacıklar tarafından o ana kadar elde edilen en iyi değer ve “ p_{best} ” ise parçacığın o ana kadar ulaşılmış olduğu en iyi çözümü ifade eder. D adet bilinmeyen parametre ve n adet parçacık olduğu düşünülürse parçacık matrisi Eşitlik 3.22’de verilmiştir.

$$x = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & \dots & \dots & x_{1D} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & \dots & \dots & x_{nD} \end{bmatrix}_{n \times D} \quad (3.22)$$

Bu matrister $x_i = \{x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{iD}\}$ şeklinde ifade edilen herhangi bir i. parçacık için konum ve hız güncellemelerinin yapılabilmesi için öncelikle “ p_{best} ” ve “ g_{best} ” değerlerinin bulunması gereklidir. Bir önceki en iyi uygunluk değerine sahip i. parçacığın konumu $p_{best_i} = \{p_{i1}, p_{i2}, p_{i3}, \dots, p_{iD}\}$, her iterasyonda her parçacık için tek olan g_{best_i} , $g_{best_i} = \{g_1, g_2, g_3, \dots, g_D\}$ ve i. parçacık için hızı ise $v_i = \{v_{i1}, v_{i2}, v_{i3}, \dots, v_{iD}\}$ şeklinde ifade edilmektedir.

“ p_{best} ” ve “ g_{best} ” olarak en iyi iki değer bulunduktan sonra Eşitlik (3.23) ve Eşitlik (3.24)’e göre konum ve hız güncellemeleri yapılır. Burada c_1 parçacığın kendi tecrübelerine dayanarak hareket ettiği öğrenme faktörü, c_2 sürüdeki diğer parçacıklara göre hareket edilen öğrenme faktörüdür.

$$v_i^{k+1} = v_i^k + c_1 \cdot rand_1^k \cdot (p_{best_i}^k - x_i^k) + c_2 \cdot rand_2^k \cdot (g_{best}^k - x_i^k) \quad (3.23)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \quad (3.24)$$

PSO'da az sayıda parametre ve bunların ayarlanmasına ihtiyaç duyulur. İlgilenilen probleme göre parçacık boyutu ve aralıkları değişmektedir. Parçacık sayısı ise genelde 10 alınmakla birlikte 20 ile 40 arasında alınması yeterli olmaktadır. Ayrıca parçacığın değiştiği konum aralığına göre maksimum hız değişikliği hesaplanmaktadır. Örneğin (-10,10) aralığında değişen bir parçacık için $V_{max}=20$ olmaktadır. c_1 ve c_2 öğrenme faktörleri [0,4] aralığında değişmektedir. Birbirine eşit seçilen bu iki parametre genelde 2 alınarak uygulanmaktadır. k iterasyon sayısını belirtmek üzere $rand_1^k$ ve $rand_2^k$ (0,1) aralığında rastgele sayılardır [32,33]. Sürekli olarak yeni konum değerleri hesaplanmakta, bu değerler kullanılarak pbest ve gbest değerleri güncellenmektedir. İstenilen iterasyon sayısı yâda istenilen değer elde edilene kadar algoritma çalışmakta bu durdurma kriterlerinden biri ile algoritma sonlandırılabilir.

Türev bilgisine ihtiyaç duymaması, kullanımında ayarlanması gereken parametre sayısının az olması ve kısmi güneşlenme durumlarında maksimum güç noktası takibinde çok kullanışlı olması PSO'nun önemli avantajlarıdır [33,34]. Çok çeşitli uygulamalar da PSO algoritması kullanılarak maksimum güç noktası takibi başarıyla gerçekleştirilmiştir [17,35].

BÖLÜM 4

ZEKİ ALGORİTMALAR İLE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ

Enerji kaynaklarının yetersizliği ve artan talebin karşılanamaması nedeniyle yeni kaynakların arayışı ve bu kaynaklardan enerji üretimi konusunu sürekli gündemi meşgul etmektedir. Bu kaynaklar içinde popülaritesi sürekli artan PV sistemler ile ilgili çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir. PV sistemler ilk kullanım aşamasında direkt olarak akü grubuna bağlanarak akülerde enerji depolanmıştır. Fakat bu, aküye direkt bağlı PV sistemlerin daha fazla güç üretebilme kapasitesi varken, daha düşük enerji üretme anlamına gelmektedir. Bunun için PV sistemler ile akü grubu yada yük arasında DA/DA dönüştürücü sistemler kullanılmaktadır. Bu dönüştürücü sistemler ile PV paneller akü geriliminde çalışmak zorunda kalmamakta o anki ışınım ve sıcaklık şartları altında üretebileceği en yüksek gerilimi üretmektedir. Değişik ışınım ve sıcaklık şartları altında PV panellerin ürettiği akım ve gerilimlerin değişimi ile I-V ve P-V karakteristikleri elde edilmektedir. PV panel karakteristiklerinin sınır noktalarını, panelin üretebileceği en yüksek akım ve gerilim olan kısa devre akımı ve açık devre gerilimi belirlemektedir. Fakat panelden kısa devre akımı geçtiğinde panel gerilimi, panel uçlarından açık devre gerilimi okunduğunda ise panel akımı sıfır olmaktadır. PV sistemlerin üretebileceği güç ışınım ve sıcaklığa bağlı olarak değişmekte, fakat PV sistemlerden o anki çevre şartlarında üretilebilecek maksimum güç elde edilmesi amaçlanmaktadır. Değişik ışınım ve sıcaklık şartları altında ki P-V eğrisi incelendiğinde sadece bir noktada maksimum güç elde edildiği görülmektedir. PV sistemler ile akü/yük grubu arasına yerleştirilen DA/DA konvertör ile o anki ışınım ve sıcaklık şartları altında sürekli en yüksek güç noktasında çalışmak amaçlanmaktadır. Bunun için konvertörün görev oranı sürekli maksimum güç noktasına ulaşmak amacıyla güncellenmekte ve en yüksek güç üretilmeye çalışılmaktadır. Maksimum güç noktasını takip eden birçok algoritma kullanılmaktadır. Fakat klasik algoritmalar yerine bu sistemlere insan gibi, düşünme ve karar verme yeteneği kazandırmak için zeki algoritmalar ile çalışmalar yapılmakta ve maksimum güç noktası takibi yapılmaya çalışılmaktadır.

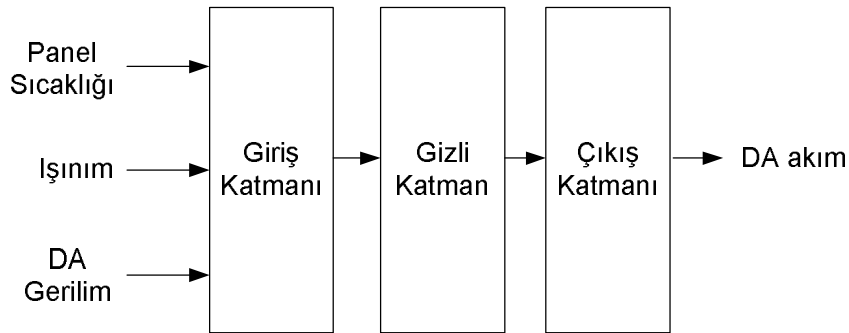
Bu çalışmada zeki algoritmalar sınıfında yer alan yapay sinir ağları, bulanık mantık ve parçacık sürüsü optimizasyonu ile maksimum güç noktası takibi yapılabilmesi için her ağın eğitim süreçleri ve aşamaları anlatılmıştır.

4.1. YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ

Yapay sinir ağları ile maksimum güç noktası takibinin en önemli noktasını eğitim ve test verilerinin belirlenmesi oluşturmaktadır. Ağın öğrenme ve genelleme yeteneğinin kazanmasında ve zeki davranmasında en önemli kriter olan veri setinin belirlenmesi birinci aşamayı oluşturmaktadır. İkinci aşamada MATLAB'ın “nntool” toolbox'ı ile ağın tasarımı ve eğitilmesi gerçekleştirilmektedir. Son aşama olarak elde edilen zeki ağ maksimum güç noktası takibi işlemi için kullanılacaktır.

4.1.1. Eğitim ve Test Verilerinin Hazırlanması ve Verilerin Normalize Edilmesi

PV panellerde YSA ile maksimum güç noktası takibi yapılabilmesi için panel sıcaklığı, ışınım, panel akımı, panel gerilimi gibi panelin değişik şartlar altındaki çalışma verilerine ihtiyaç vardır. Bu çalışmada Şekil 4.1'de görüldüğü gibi panel sıcaklığı, ışınım ve DA gerilim giriş verisi, DA akım ise tahmin edilecek YSA çıkış verisi olarak kullanılacaktır.



Şekil 4.1. Tasarlanan sistemin giriş ve çıkış verileri.

Bu çalışmada iki adet veri grubu oluşturulmuştur. Birinci grup giriş ve çıkış değerleri ağa gösterilerek ağın eğitimini sağlayan eğitim veri grubudur. Eğitim verileri 30 Kasım 2013 tarihinde 09:30-16:25 saatleri arasında 5 dakika aralıklarla kaydedilen

87 adet veriden oluşmaktadır. Şekil 4.2’de eğitim verilerinin excel formatında ki hali görülmektedir.

1	Date	Time	Sıcaklık	Işınım	DC Gerilim	DC Akım
2	30.10.2013	09:00	13,4	466	6	1,1
3	30.10.2013	09:05	13,7	473	7	1,2
4	30.10.2013	09:10	14	480	8	1,4
5	30.10.2013	09:15	14,4	489	9	1,5
6	30.10.2013	09:20	14,8	497	11	1,6
7	30.10.2013	09:25	15,2	503	12	1,8
8	30.10.2013	09:30	15,6	509	13	1,9
9	30.10.2013	09:35	15,7	511	14	2
10	30.10.2013	09:40	15,9	512	16	2,2
11	30.10.2013	09:45	16,1	518	18	2,3
12	30.10.2013	09:50	16,3	525	20	2,5
13	30.10.2013	09:55	16,6	530	22	2,6
14	30.10.2013	10:00	16,8	535	23	2,8
15	30.10.2013	10:05	17,1	537	25	2,9
16	30.10.2013	10:10	17,4	539	27	3,1
17	30.10.2013	10:15	17,6	544	28	3,1
18	30.10.2013	10:20	17,7	549	30	3,3
19	30.10.2013	10:25	17,8	551	31	3,4
20	30.10.2013	10:30	18,2	552	33	3,5
21	30.10.2013	10:35	18,7	555	34	3,6
22	30.10.2013	10:40	19,2	557	36	3,7
23	30.10.2013	10:45	19,4	560	37	3,8
24	30.10.2013	10:50	19,5	562	38	3,8

Şekil 4.2. Eğitim verileri.

İkinci veri grubu eğitim verileri ile eğitilen ağın ne kadar öğrendiğini belirlemek için kullanılan test verileridir. Test verisi için 31 Kasım 2013 tarihinde 09:30-16:25 saatleri arasında 5 dakika aralıklarla kaydedilen 87 adet veri kullanılacaktır. Şekil 4.3’de test verilerinin excel formatında ki hali görülmektedir.

1	Date	Time	Sıcaklık	Işınım	DC Gerilim	DC Akım
2	31.10.2013	09:00	17,10	539	6	1,1
3	31.10.2013	09:05	17,35	540	7	1,3
4	31.10.2013	09:10	17,60	541	8	1,4
5	31.10.2013	09:15	17,90	545	9	1,5
6	31.10.2013	09:20	18,20	549	11	1,6
7	31.10.2013	09:25	18,45	549	12	1,8
8	31.10.2013	09:30	18,70	549	13	1,9
9	31.10.2013	09:35	18,95	553	14	2
10	31.10.2013	09:40	19,20	556	16	2,2
11	31.10.2013	09:45	19,45	557	17	2,3
12	31.10.2013	09:50	19,70	558	19	2,4
13	31.10.2013	09:55	19,95	559	21	2,6
14	31.10.2013	10:00	20,20	559	23	2,7
15	31.10.2013	10:05	20,50	560	24	2,9
16	31.10.2013	10:10	20,80	559	26	3
17	31.10.2013	10:15	21,20	557	28	3,1
18	31.10.2013	10:20	21,60	554	30	3,3
19	31.10.2013	10:25	21,75	554	32	3,4
20	31.10.2013	10:30	21,90	554	33	3,5
21	31.10.2013	10:35	22,05	550	35	3,6
22	31.10.2013	10:40	22,20	547	36	3,7
23	31.10.2013	10:45	22,70	544	37	3,8
24	31.10.2013	10:50	23,20	541	38	3,8

Şekil 4.3. Test verileri.

4.1.1.1. Eğitim İçin Girdi Ve Çıktı Verileri

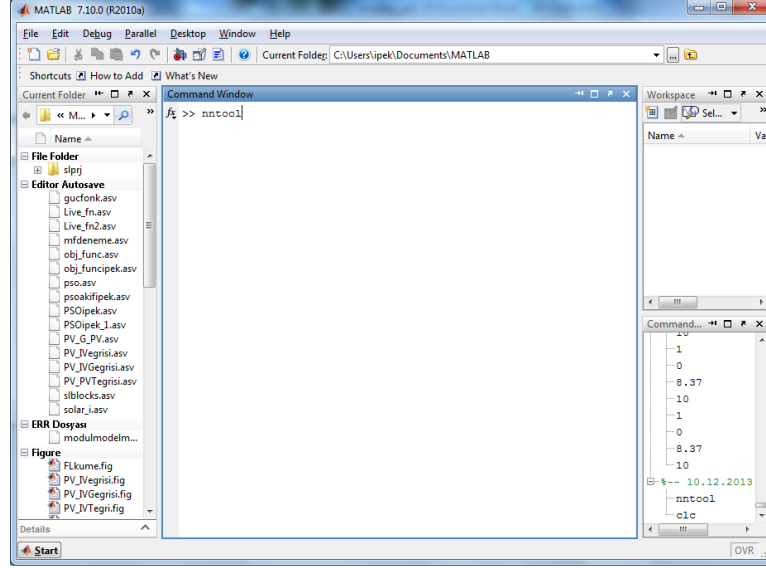
Ham eğitim verileri direk kullanılmaksızın ysa'nın verimini arttırmak için belirli aralıklara normalize edilmektedir. Eğitim verileri MATLAB'a girilmeden önce 0-1 aralığına normalize edilmiştir. Çizelge Ek A.1'de normalize edilmiş eğitim verileri giriş ve çıkış verileri olarak iki bölüme ayrılarak sunulmuştur.

4.1.1.2. Test İçin Girdi Ve Çıktı Verileri

Eğitim verilerinde olduğu gibi YSA'nın verimini arttırmak için test verileride belirli aralıklara normalize edilmektedir. Test verileri MATLAB'a girilmeden önce 0-1 aralığına normalize edilmiştir. Çizelge Ek A.2'de normalize edilmiş test verileri giriş ve çıkış verileri olarak iki bölüme ayrılarak sunulmuştur.

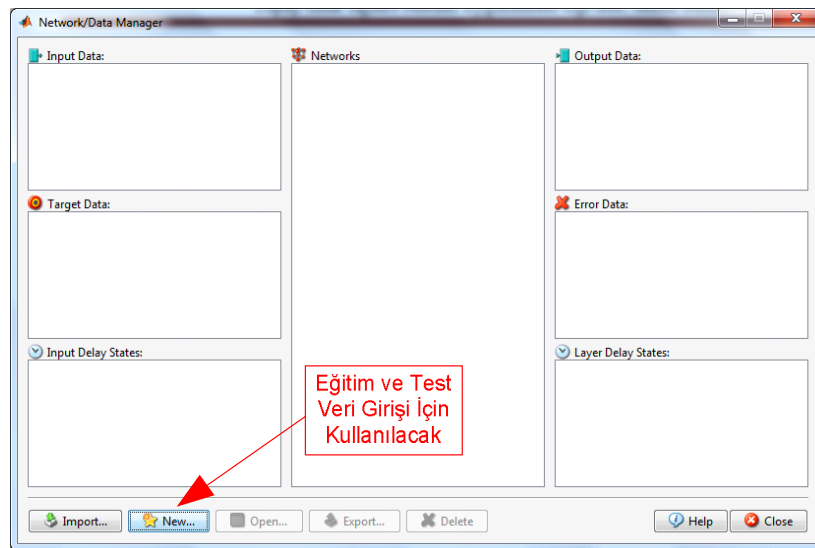
4.1.2. MATLAB NNTOOL İle Ağın Eğitilmesi

MATLAB ile YSA eğitimi yapabilmek için komut ortamına 'nntool' komutu yazılır. Şekil 4.4'de Matlab ortamında YSA toolbox'ın çağırılma komutu görülmektedir.



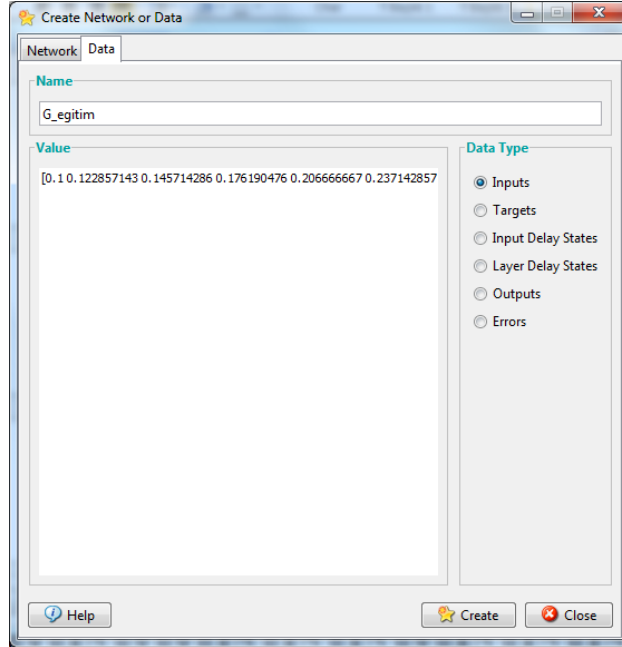
Şekil 4.4. Matlab ortamında ysa toolbox'ın çağırılması.

"nntool" komutu işlendiğinde Şekil 4.5'de görülen 'Network/Data Manager' ekranı gelmektedir. Eğitim ve test verilerinin girişi için 'New' butonuna tıklanmaktadır.



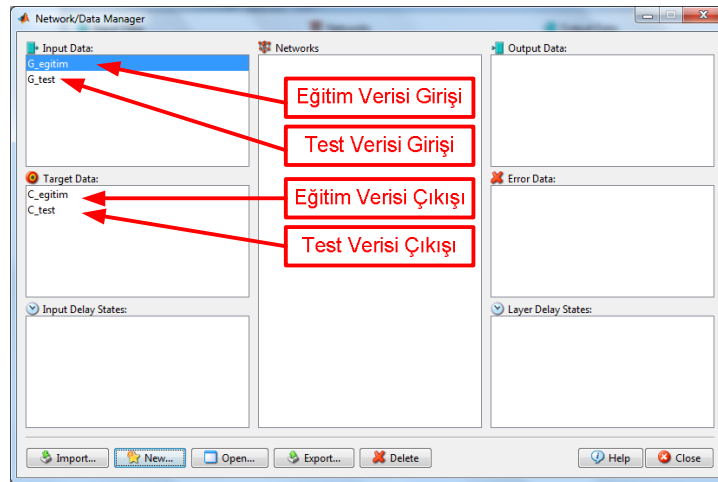
Şekil 4.5. 'nntool' penceresi.

'New' butonu ile Şekil 4.6'da görüldüğü gibi 'Create Network or Data' ekranı açılmaktadır. Buradan 'data' sekmesine geçilerek eğitim ve test verilerinin girişi yapılmaktadır.



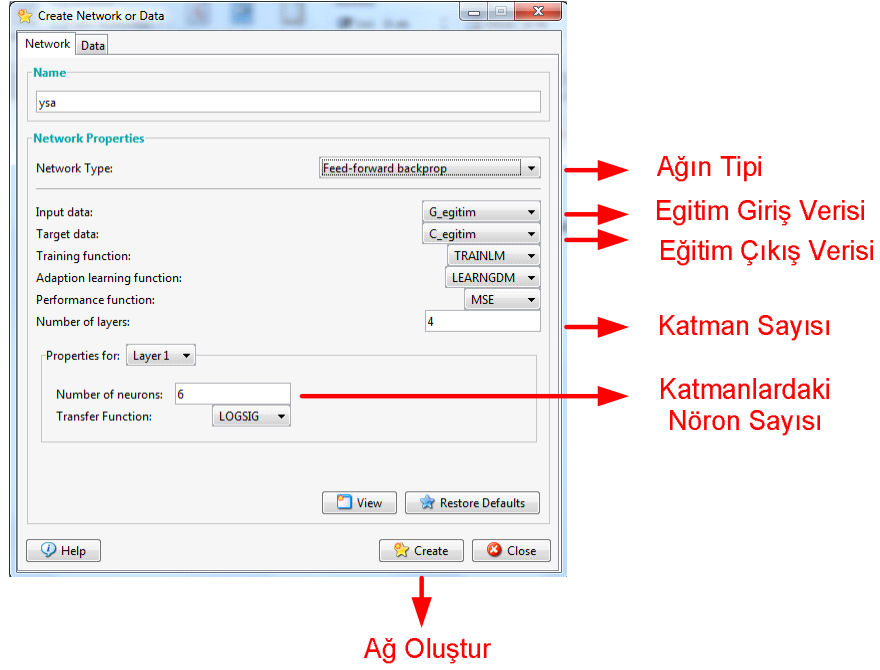
Şekil 4.6. Eğitim ve test verilerinin girilmesi.

Eğitim ve test verileri için giriş ve çıkışlar, Şekil 4.7'de görüldüğü gibi "Network Data Manager" ekranında ayrı ayrı oluşturulan diziler şeklinde tanımlanmıştır.



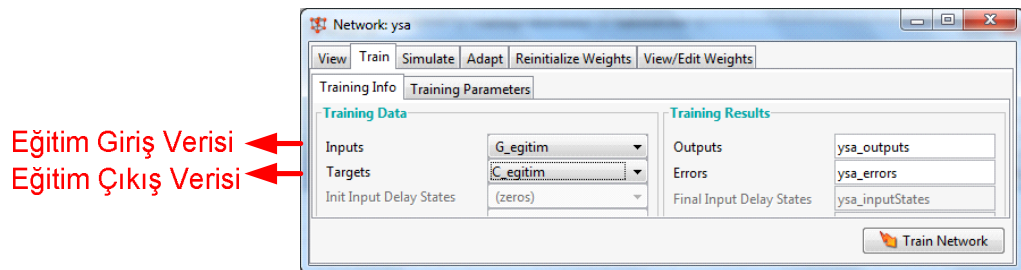
Şekil 4.7. Eğitim ve test verilerinin girilmesi.

“Create Network or Data” ekranından “Network” sekmesine geçilerek eğilecek ağın parametre ayarları yapılır. Şekil 4.8’de görülen bu sekmede, ağın ismi, ağın tipi, katman sayısı, her katmanda yer alacak nöron sayısı ve aktivasyon fonksiyonları gibi YSA’nın çalışma performansını etkileyen parametreler belirlenir. “Create” komutu ile ayarları yapılan ağ eğitime hazır duruma getirilir.



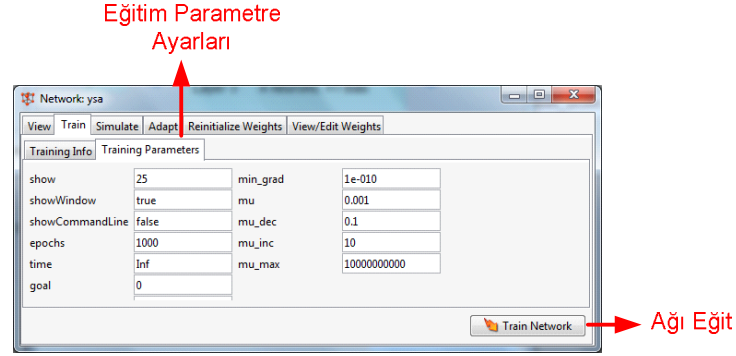
Şekil 4.8. Ağın tasarım parametrelerinin girilmesi.

“ysa1” ismi ile oluşturulan ağda eğitim parametrelerinin seçimi şekil 4.9’da verilen ekran ile yapılmaktadır. “Train” sekmesinden eğitim işleminde kullanılacak giriş ve çıkış dosyalarının seçimi yapılmaktadır.



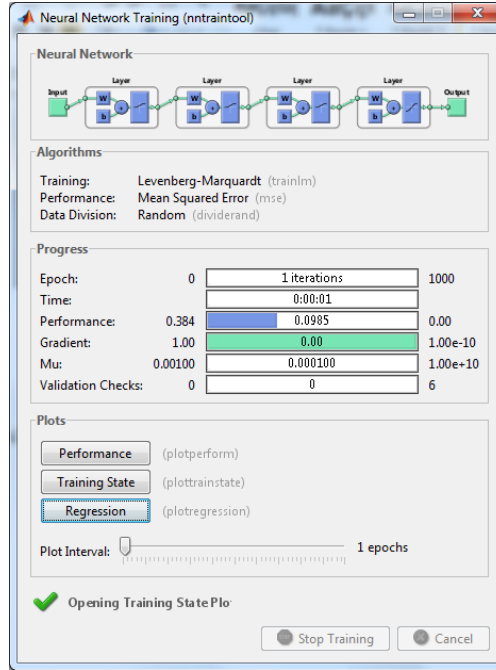
Şekil 4.9. Eğitim verileri için giriş ekranı.

Eğitim dosyaları seçildikten sonra ‘Training Parameters’ sekmesinden maksimum iterasyon sayısı, iterasyonun durdurulabilmesi için ulaşılması gereken minimum hata gibi eğitim parametrelerinin seçimi Şekil 4.10’da ki ekrandan yapılmakta ve ‘‘Train Network’’ komutu ile ağın eğitimine başlanmaktadır.



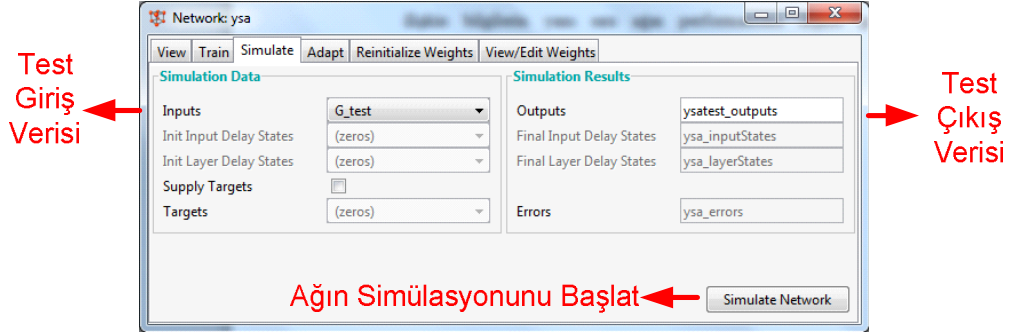
Şekil 4.10. Eğitim verileri ile ağın eğitimi.

Ağın eğitimi tamamlandığında Şekil 4.11’deki ekran oluşmaktadır. Bu ekranda ağa ilişkin bilgilerin yanı sıra ağın performansına ilişkin grafik ile izleme de yapılabilir.



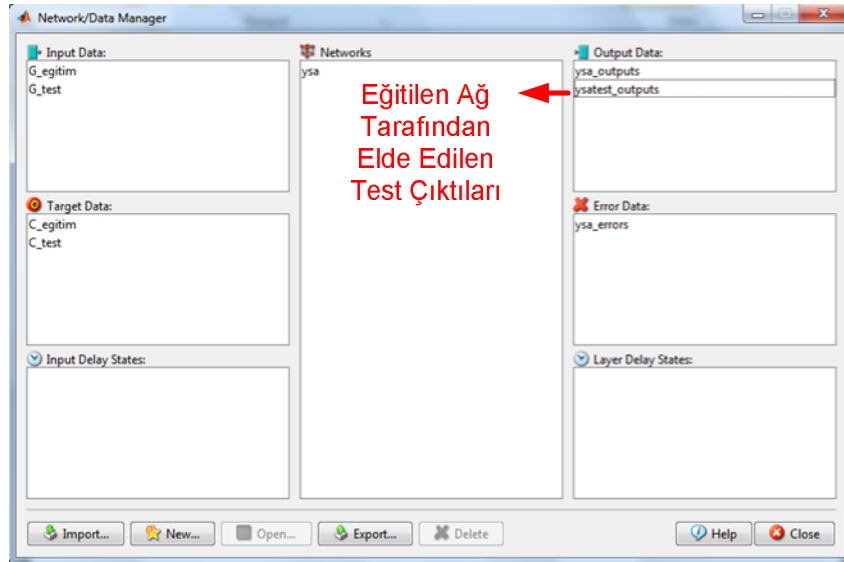
Şekil 4.11. Eğitimi tamamlanan ağ.

Eğitimi tamamlanan ağın օđrenme kapasitesinin օlçulmesi için Şekil 4.12’de verilen ‘‘Simulate’’ sekmesinden test giriş verisinin giriş yapılarak test verileri ile ağın simulasyonu yapılır.



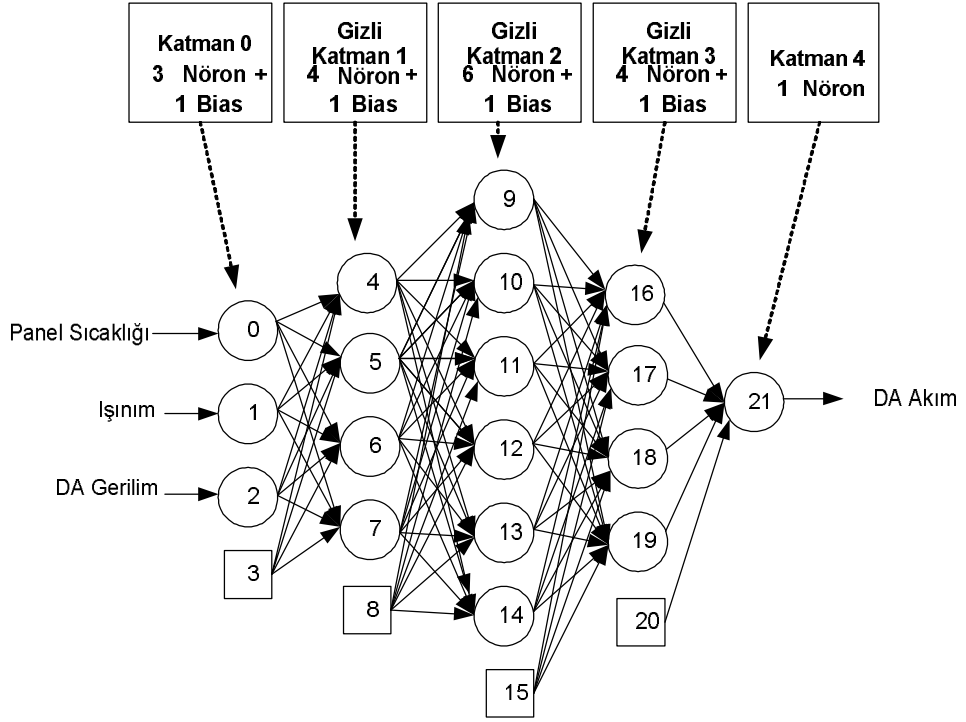
Şekil 4.12. Eğitilen ağın test verileriyle simülasyonunun yapılması.

Eğitilen ve test verilerinin giriş kısmı uygulanarak elde edilen test çıkış test verileri kaydedilir. Şekil 4.13’de YSA tarafından elde edilen test çıkış veri dizini gօrulmektedir.



Şekil 4.13. YSA tarafından elde edilen test çıkış veri dizini.

Çeşitli eğitim ve test işlemlerinden geçerek en iyi sonuç veren ağın genel yapısı Şekil 4.14’de gօrulmektedir.



Şekil 4.14. Eğitilen ağıın genel yapısı.

Eğitilen ağıın katmanlar arası ağıırlık değerleri Çizelge EK A.3’de verilmiştir.

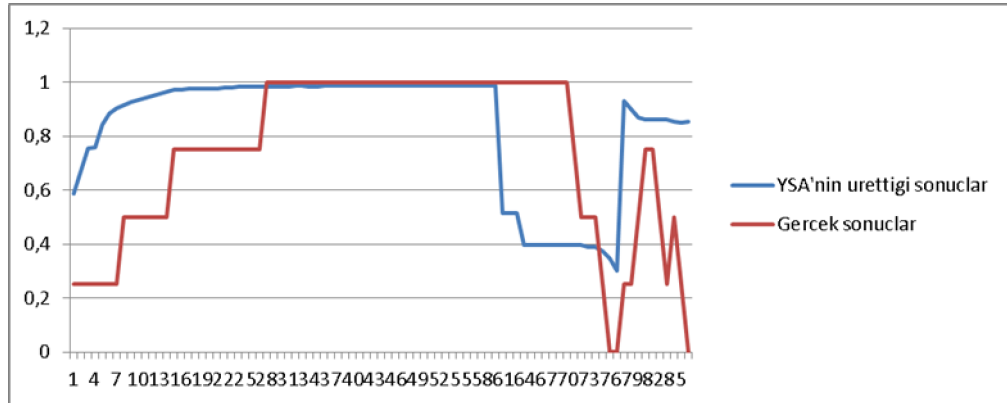
4.1.3. Yapay Sinir Ağıları Ve Maksimum Güç Noktası Takibi

Yapay sinir ağıları kullanılarak yapılacak maksimum güç noktası takibi işleminde en önemli noktayı eğitim verileri ile eğitilen ağıın test verilerine tepkisi belirlemektedir. Bu çalışma da 24 farklı eğitim ve test işleminde sonra optimum çözümlü veren ağı elde edilmiştir. Gerçek test verilerine karşın eğitilen ağıın tahmin ettiği veriler Şekil 4.15.’de görölmektedir.

1	Veri No	YSA'nin urettigi sonuclar	Gercek sonuclar
2	1	0,0832	0,25
3	2	0,0832	0,25
4	3	0,0832	0,25
5	4	0,1565	0,25
6	5	0,2447	0,25
7	6	0,2499	0,25
8	7	0,2506	0,25
9	8	0,2451	0,5
10	9	0,4998	0,5
11	10	0,4998	0,5
12	11	0,4998	0,5
13	12	0,4998	0,5
14	13	0,498	0,5
15	14	0,5	0,5
16	15	0,5012	0,75
17	16	0,7496	0,75
18	17	0,7496	0,75
19	18	0,7496	0,75
20	19	0,7496	0,75
21	20	0,7495	0,75
22	21	0,7495	0,75
23	22	0,7495	0,75
24	23	0,7494	0,75

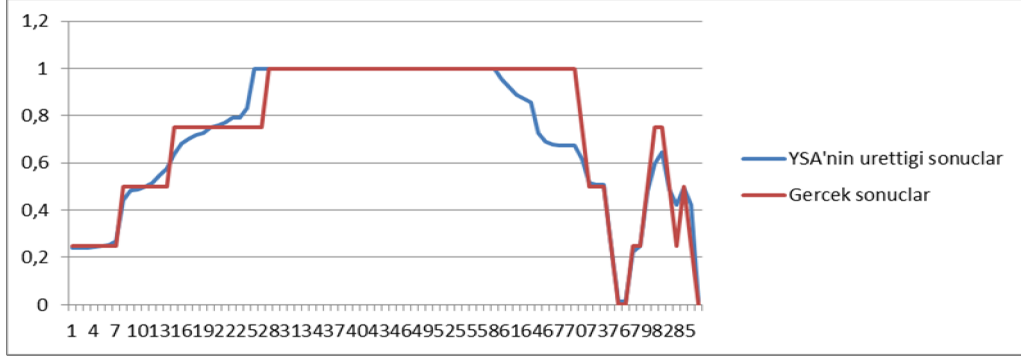
Şekil 4.15. Gerçek Test verileri ve YSA'nın ürettiği test veri sonuçları.

24 farklı eğitim safhasında gerçek test veri sonuçlarına, ysa'nın ürettiği sonuçlarda farklılık göstermiştir. Şekil 4.16 sırasıyla 1., 4., 17. ve 24. eğitim sonucunu göstermektedir.

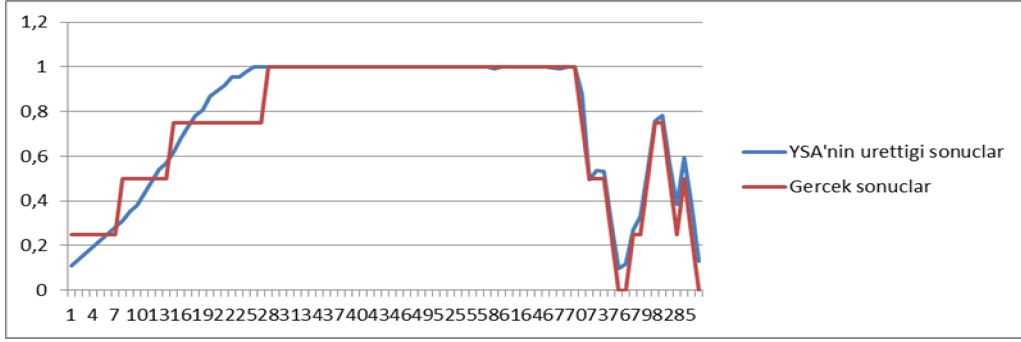


a) 1. Eğitim sonucu.

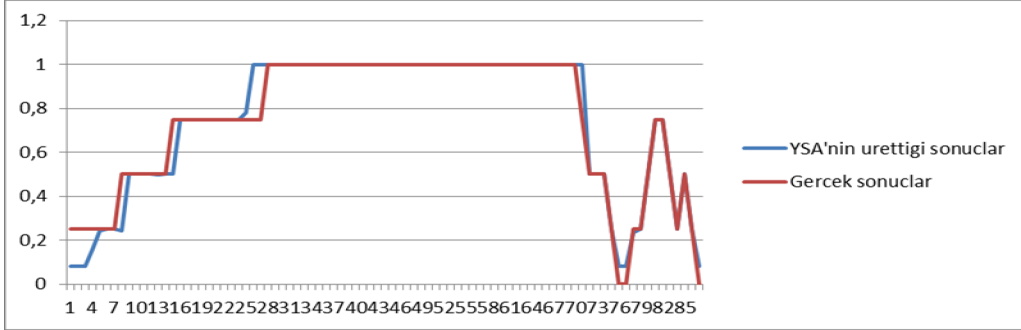
Şekil 4.16. Eğitim sonuçları ve karşılaştırmaları.



b) 4. Eğitim sonucu.



c) 17. Eğitim sonucu.



d) 24. Eğitim sonucu.

Şekil 4.16. (devam ediyor).

Optimum çözüm sonucu olan 24. karşılaştırma grafiği incelendiğinde, 30 Kasım 2013 verileri ile eğitilen ağın öğrenme yeteneği 31 Kasım 2013 verileri ile test edilmiştir. Ağ çıktısı olarak alınan akım PV sistemlerin o anki ışınım ve sıcaklık şartları altında üretmesi gereken maksimum akımdır. Grafik incelendiğinde kısmi gölgelenme gibi akımın ani düşüş durumlarında bile PV sistemlerin maksimum akımda, dolayısıyla maksimum güç noktasında çalışması sağlanmıştır. Eğitilen ağın

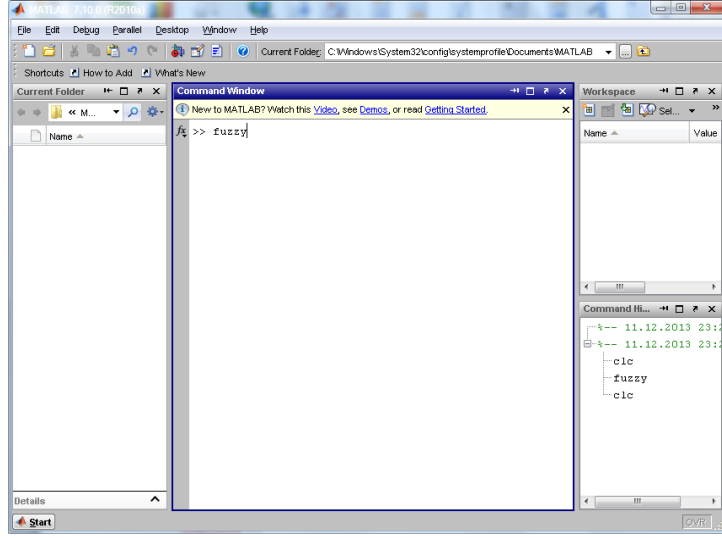
çıktısı, PV sistemlerin maksimum güç noktasına ulaşmak için kullanacağı maksimum referans akım değeridir. YSA'nın hesapladığı akım değeri, PV sistemlerin devamına bağlanacak DA/DA boost konvertörün referans akım değeri olarak alınacaktır. Arada ki farka göre konvertörde görev süresi değişikliğine gidilecek ve sürekli olarak maksimum güç noktasında çalışılacaktır.

4.2. BULANIK MANTIK İLE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ

4.2.1. MATLAB ortamında “FIS Editor” Toolbox’ı İle Bulanık Mantık Eğitimi

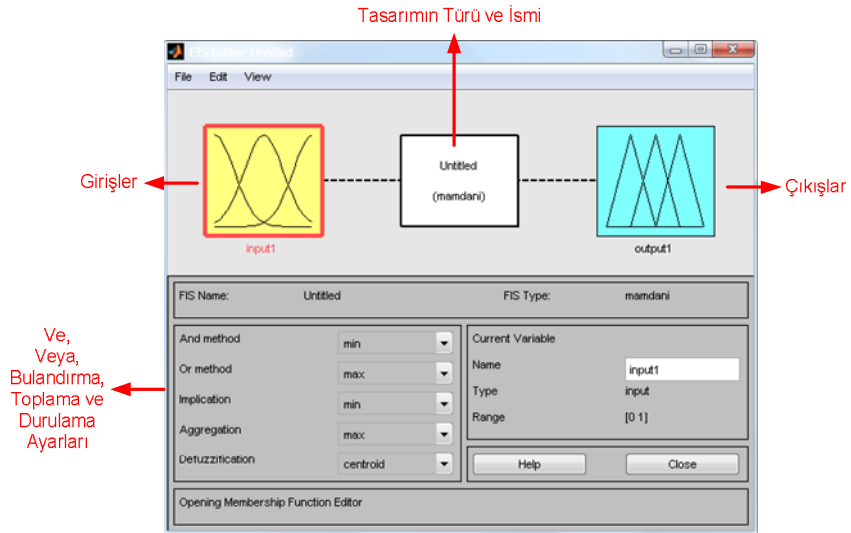
Bilgisayarların 0-1 mantığı, verileri sadece sıfır ve bir olarak iki gruba ayırdığı için gerçek dünya ile örtüşmemektedir. Günlük yaşamda karşılaşılan problemler sadece bu iki küme ile değil, bu değerler arasında değişen birçok durum ile ifade edilmektedir. Örneğin bir klima ile havalandırma sistemi düşünüldüğünde hava için sıcak ve soğuk kavramlarının yanında serin, ılık ve çok sıcak girdi kavramları da kullanılmaktadır. Hava sıcaklığına göre ortamın ısını ayarlayan motor çok yavaş, yavaş, hızlı ve çok hızlı olarak gruplandırılabilir. Ortam çok sıcak olduğunda ortamın ısını normal durumuna geri getirmek için motor çok hızlı çalışmaktadır. Bu şekilde gerçek sistemler matematiksel modellerle ifade edilerek kontrol edilmek yerine, dilsel değişkenlerle bulanık kümeler şeklinde tanımlanarak kontrol edilmektedir. Bulanık mantık matematiksel model ve özel bir uygulama algoritması olmadan uzman bilgi ve deneyimlerinden yararlanarak çalışmaktadır. İnsanların düşünme yeteneğinin modellenmesi amacıyla oluşturulan bulanık mantık “eğer ... ise ...” kurallarına göre işlemektedir. Çünkü insanlarda bir konuda karar verirken o konu çerçevesinde eğer şu şöyleyse bu böyledir alternatifleri sonucunda karar süreci oluşmaktadır. Olasılıklar çerçevesinde sistemlerin matematiksel modeline ihtiyaç duyulmaksızın, insanların bir konu hakkında düşünme ve karar verme sürecinin modellenmesi bulanık mantığın çıkış noktasını oluşturmaktadır.

PV sistemlerden en yüksek güç elde etmek için kullanılan zeki algoritmalardan biri bulanık mantık ile yapılan maksimum güç noktası takibi uygulamasıdır. Bulanık mantık ile maksimum güç noktası takibi tasarımı için Şekil 4.17’de görüldüğü gibi MATLAB’a “fuzzy” komutu yazılır ve tasarım arayüzü çağrılır.



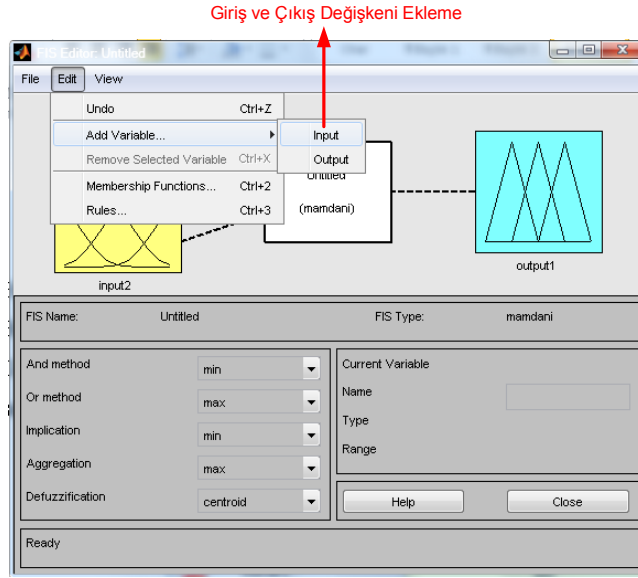
Şekil 4.17. Bulanık mantık tasarım arayüzünün çağırılması.

'Fuzzy' komutu ile çağrılan 'FIS Editor' penceresi Şekil 4.18'de görülmektedir. Birinci adım olarak bu pencereden ve, veya, bulandırma, toplama ve durulama ayarları yapılır. Ardından giriş ve çıkışları, aralıkları ve üyelik fonksiyonlarını belirlemek için input1'e çift tıklanarak "Membership Function Editor" penceresi görüntülenir.



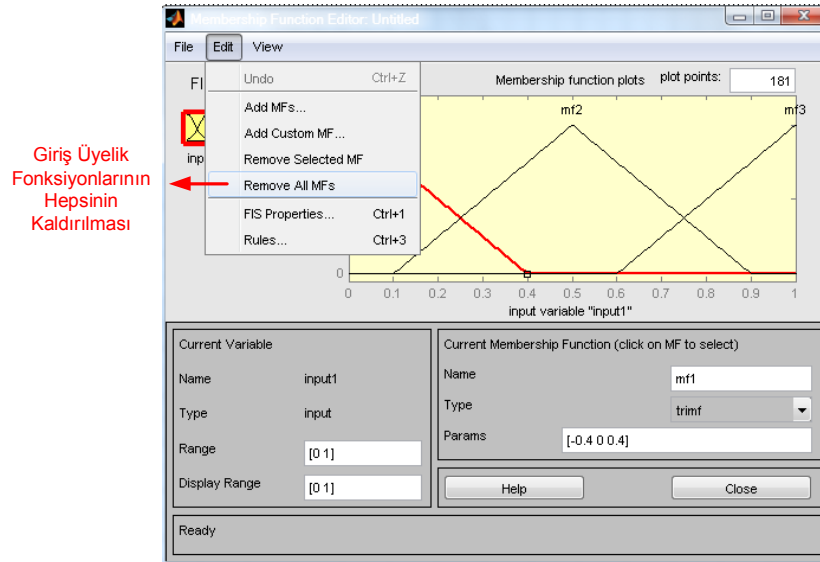
Şekil 4.18. 'FIS Editor' penceresi.

Bu çalışmada sıcaklık ve ışınım giriş verisi, DA akım çıkış verisi olarak alınacaktır. Sistem 2 giriş ve 1 çıkışa sahip olduğu için Şekil 4.19'da görüldüğü gibi bir adet daha giriş değişkeni eklenir.



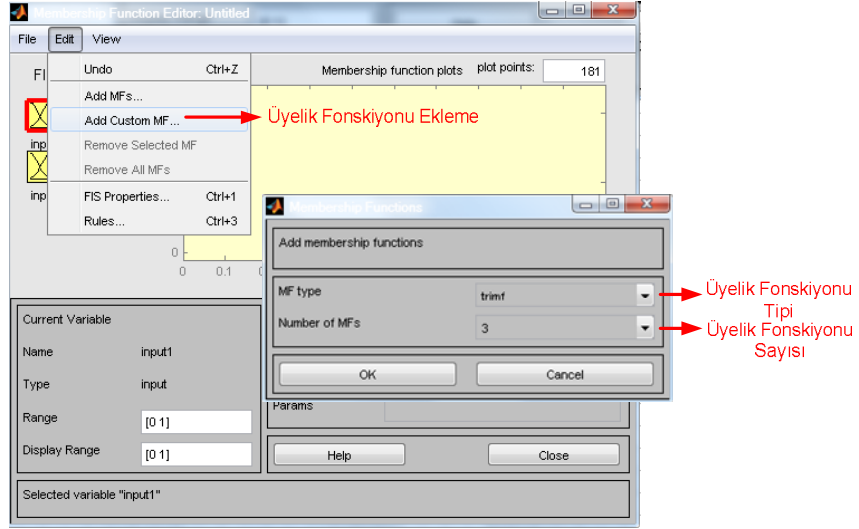
Şekil 4.19. Giriş ve çıkış değişkeni ekleme.

Giriş ve çıkış değişken sayılarına karar verildikten sonra bu verilerin değer aralıklarına göre sisteme tanımlanması gerekmektedir. Şekil 4.20’de görüldüğü gibi ilk etapta üyelik fonksiyonları kaldırılmaktadır.



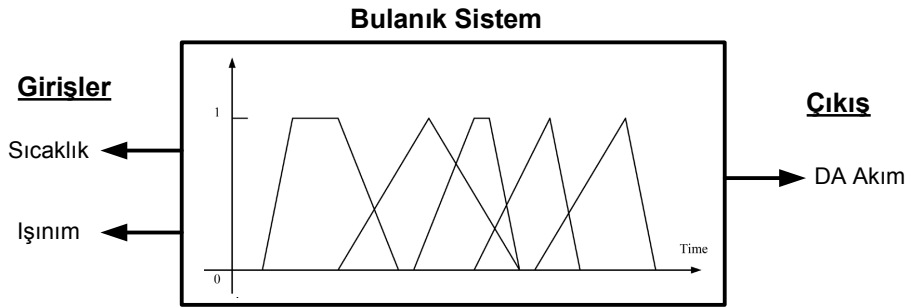
Şekil 4.20. Üyelik fonksiyonlarının kaldırılması.

Bütün giriş ve çıkışlar için Şekil 4.21’de görüldüğü gibi isim, üyelik fonksiyonu tipi, üyelik fonksiyonu sayısı ayarlamaları yapılır.



Şekil 4.21. Üyelik fonksiyonu ekleme, tipi ve sayısının belirlenmesi.

Giriş verisi olarak ışıınım ve sıcaklık bulanık sisteme öğretilmekte, sistem çıkışı olarak ise o anki ışıınım ve sıcaklık şartları altında konvertörün olması gereken maksimum güç noktasında ki referans akımı üretilmektedir. Tasarlanan sistemin genel yapısı Şekil 4.22’de görülmektedir.



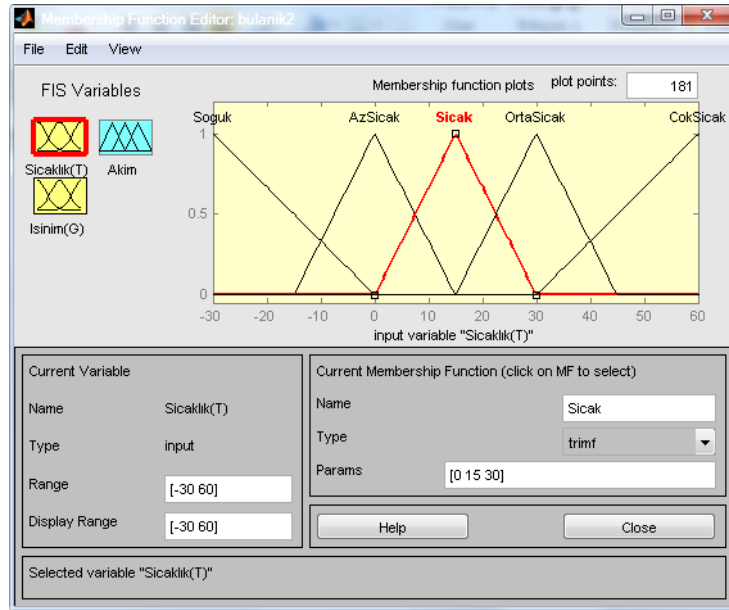
Şekil 4.22. Tasarlanan bulanık sistemin genel yapısı.

Sistemin 1. giriş verisi sıcaklıktır. Çizelge 4.1’de sıcaklığın -30 °C’den +60 °C’ye kadar soğuk, az sıcak, sıcak, orta sıcak ve çok sıcak şeklinde dilsel değişkenlere ayrılması ve değer aralıkları görülmektedir.

Çizelge 4.1. Sıcaklık dilsel değişkenleri ve değer aralıkları.

Dilsel Değişkenler	Minimum Değer (°C)	Maksimum Değer (°C)
Soguk	-30	0
AzSicak	-15	15
Sicak	0	30
OrtaSicak	15	45
CokSicak	30	60

Uzman bilgisi ve deneyiminde yararlanılarak oluşturulan sıcaklık girdisi Çizelge 4.1 doğrultusunda Şekil 4.23’de ki giriş kısmına dilsel değişkenleri ve değer aralıkları ile girilir.



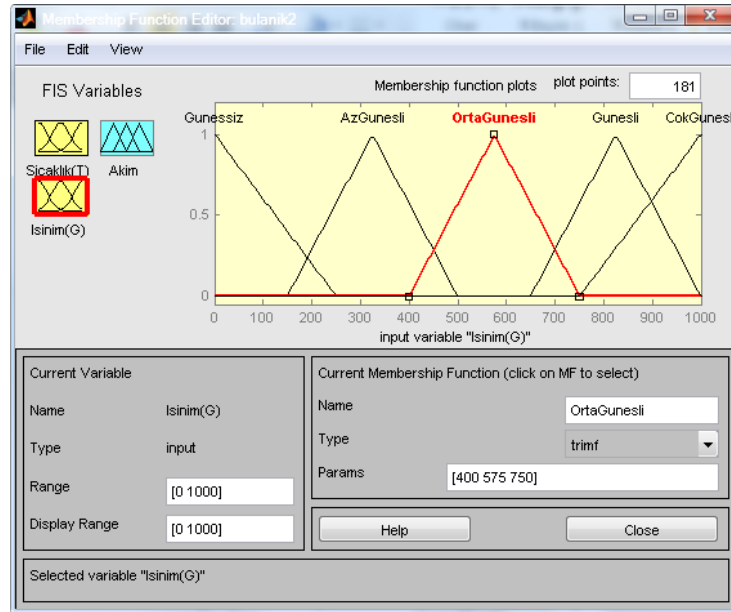
Şekil 4.23. Sıcaklık dilsel değişkenleri ve değer aralıkları.

Sistemin 2. giriş verisi ışıdır. Çizelge 4.2’de ışıının 0 W/m^2 ’den 1250 W/m^2 ’ye kadar güneşsiz, az güneşli, güneşli orta, güneşli ve çok güneşli şeklinde dilsel değişkenlere ayrılması ve değer aralıkları görülmektedir.

Çizelge 4.2. Işınım dilsel değişkenleri ve değer aralıkları.

Dilsel Değişkenler	Minimum Değer (W/m ²)	Maksimum Değer (W/m ²)
Gunessiz	0	250
AzGunesli	150	500
GunesliOrta	400	750
Gunesli	650	1000
CokGunesli	750	1250

Uzman bilgisi ve deneyimde yararlanılarak oluşturulan ışınım girdisi Çizelge 4.2 doğrultusunda Şekil 4.24’de ki giriş kısmına dilsel değişkenleri ve değer aralıkları ile girilir.



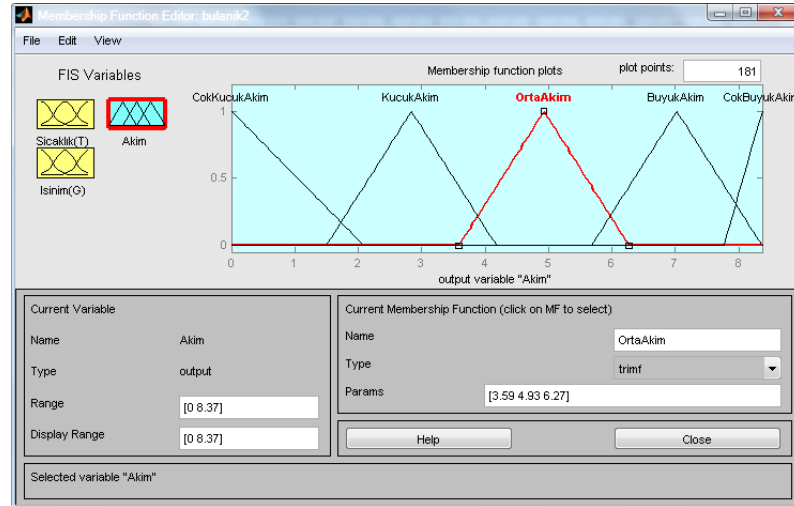
Şekil 4.24. Işınım dilsel değişkenleri ve değer aralıkları.

Sistemin çıkış verisi DA akımdır. Çizelge 4.3’de akımın 0 A’den 8,37 A’e kadar çok küçük akım, küçük akım, orta akım, büyük akım ve çok büyük akım şeklinde dilsel değişkenlere ayrılması ve değer aralıkları görülmektedir.

Çizelge 4.3. Akım dilsel değişkenleri ve değer aralıkları.

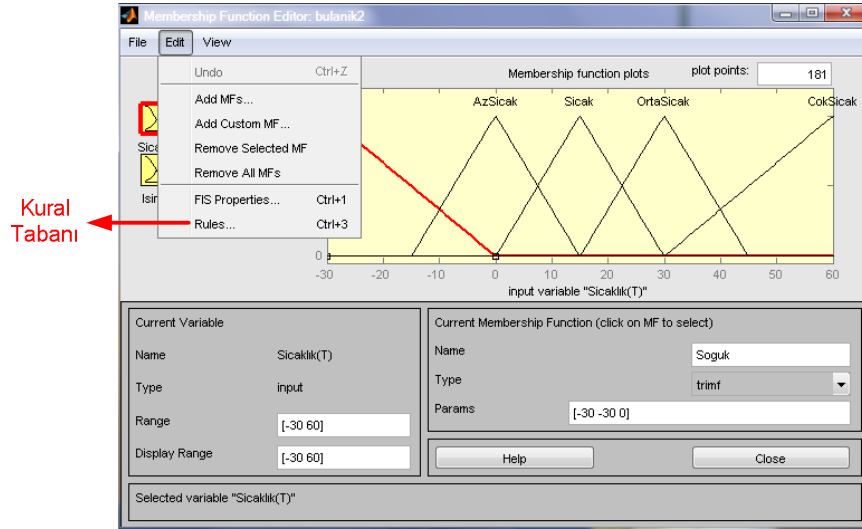
Dilsel Değişkenler	Minimum Değer (W/m ²)	Maksimum Değer (W/m ²)
CokKucukAkim (ÇKA)	0	2,09
KucukAkim (KA)	1,5	4,18
OrtaAkim (OA)	3,59	6,27
BuyukAkim (BA)	5,68	8,37
CokBuyukAkim (CBA)	7,77	8,37

Uzman bilgisi ve deneyiminde yararlanılarak oluşturulan akım çıktısı Çizelge 4.3 doğrultusunda Şekil 4.25’de ki çıkış kısmına dilsel değişkenleri ve değer aralıkları ile girilir.



Şekil 4.25. Akım dilsel değişkenleri ve değer aralıkları.

Giriş ve çıkış verileri, dilsel değişkenleri ve değer aralıkları tanımlamaları yapıldıktan sonra Şekil 4.26’da görüldüğü gibi kural tabanı oluşturmak “Rules Editor” penceresi çağrılır.



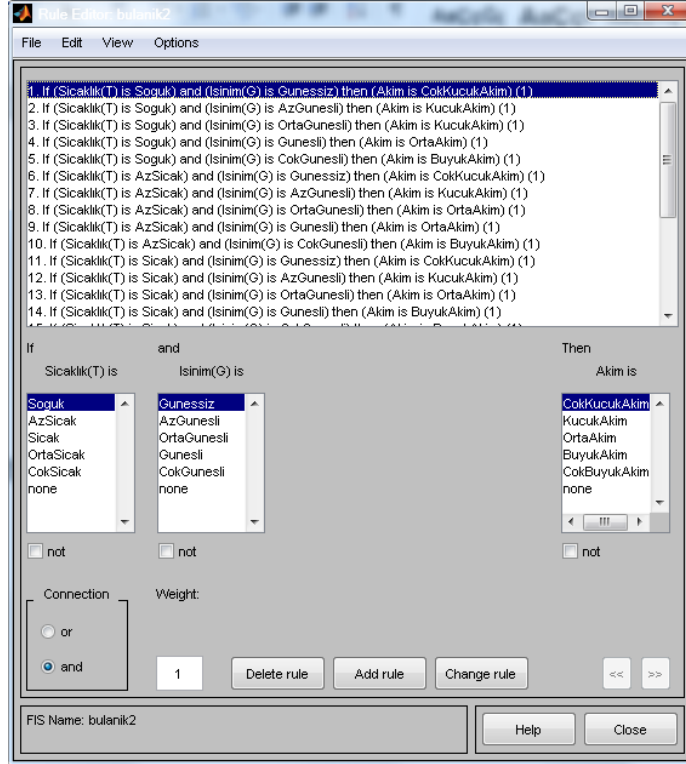
Şekil 4.26. Kural tabanı oluşturmak için ‘Rules Editor’ penceresinin çağrılışı.

Uzman deneyimleri neticesinde karar verilen girdi ve çıktı değerleri, üyelik fonksiyonları, üyelik fonksiyonu isimleri ve değer aralıkları bulanık mantığın veritabanında toplanmıştır. Giriş ve çıkışlar arasında “If-Then” koşulları ile ilişki kurulur. İki girişe ve bir çıkışa sahip olan bulanık tasarıma ait kural tabanının “Rules Editor’e” girilebilmesi için girişlerin durumuna göre çıkışın değişimini gösteren tablo Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Kural tablosu.

Işınım/Sıcaklık	Soguk	AzSıcak	Sıcak	OrtaSıcak	CokSıcak
Gunessiz	ÇKA	ÇKA	ÇKA	KA	KA
AzGunesli	KA	KA	KA	OA	OA
OrtaGunesli	KA	OA	OA	BA	BA
Gunesli	OA	OA	BA	BA	ÇBA
CokGunesli	BA	BA	BA	ÇBA	ÇBA

Çizelge 4.4’de verilen kural tablosu Şekil 4.27’de görüldüğü gibi kural editörüne girilerek 25 kural elde edilir. Örneğin sayısal değerler sıcaklık derecesi ‘Soguk’ ve ışıınım derecesi “Gunessiz” ise PV panel akımı “CokKucukAkim”dır şeklinde dilsel değişkenlere dönüştürülmüştür.



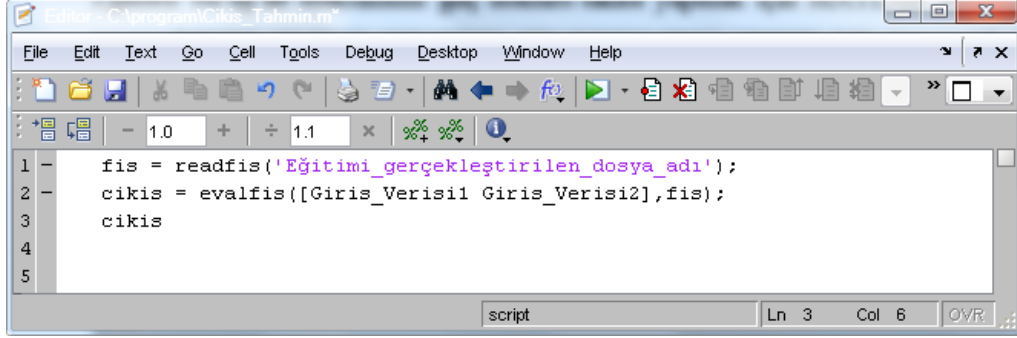
Şekil 4.27. Kural tabanının oluşturulması.

Oluşturulan sistem “bulanik2.fis” adı ile kaydedilmiştir. Tasarlanan sisteme ilişkin giriş, çıkış, kural sayısı, üyelik fonksiyonu tipi, dilsel değişkenlerin değer aralıkları, ve kural tablosu bilgileri Çizelge EK A.4’de verilmiştir.

4.2.2. Bulanık Mantık İle Maksimum Güç Noktası Takibi

Maksimum güç noktasının bulanık mantık ile yapılabilmesi için MATLAB ortamında bulanık mantık eğitimi gerçekleştirilmiştir. O anki ışınım ve sıcaklık değerleri giriş verisi kabul edilmektedir. Işınım ve sıcaklığın bulunduğu değer aralıkları ile hangi dilsel değişkene yada üyelik fonksiyonlarının kesişim noktasında ise hangi dilsel değişkenler arasında yer aldıkları belirlenir. Işınım ve sıcaklık giriş değerlerine karşın çıkış DA akımının alabileceği dilsel değişkenler ve değer aralığı kural tablosundan faydalanılarak bulunur. Seçilen durulama yöntemine göre giriş verilerine karşılık gelen çıkış değeri elde edilir.

Eğitilen bu ağ ile maksimum g¼ç noktası takibi yapmak için Şekil 4.28’de ki komut satırları yazılarak eğitilen bulanık mantık ağı MATLAB ortamına çağrılır. Giriş sayısı birden fazla ise dizi şeklinde tanımlanarak çıkış bulanık mantık ağı tarafından hesaplanır.



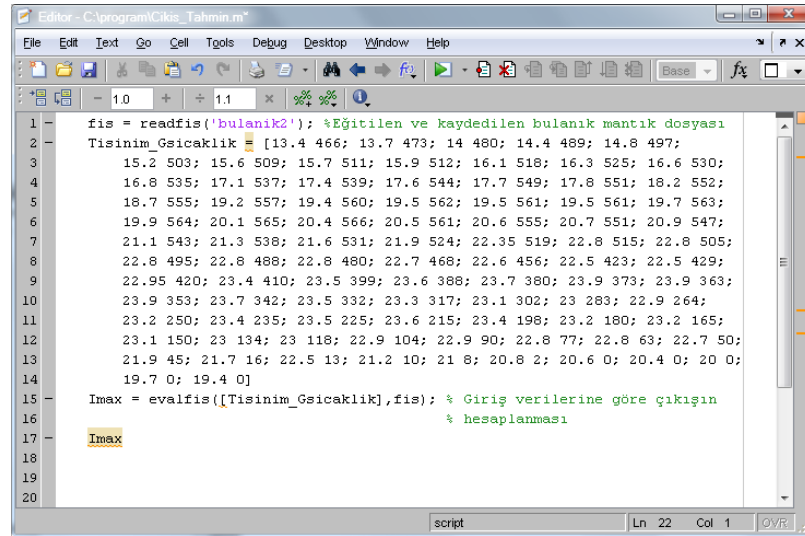
```

1 -   fis = readfis('Eğitimi_gerçekleştirilen_dosya_adi');
2 -   cikis = evalfis([Giris_Verisi1 Giris_Verisi2],fis);
3     cikis
4
5

```

Şekil 4.28. Eğitilen ağın giriş verilerine karşı çıkışının hesaplanması.

Eğitilen ağın çıktısı o anki ışınım ve sıcaklık şartları altında boost konvertörün çalışması gereken maksimum güç noktasında ki akımı hesaplamaktadır. Ağın gerçek giriş verilerine karşı çıkışını hesaplatarak test etmek için 30 Kasım 2013 tarihinde ki ışınım ve sıcaklık verileri kullanılmış ve DA akım hesaplatılmıştır. Şekil 4.29’da MATLAB ortamında giriş verilerine karşı maksimum DA akımının hesaplanması görülmektedir. Şekilde ki veri grubu 1. veri sıcaklık, 2. veri ışınım olacak şekilde matris şeklinde tanımlanan 87 adet veriden oluşmaktadır.



```

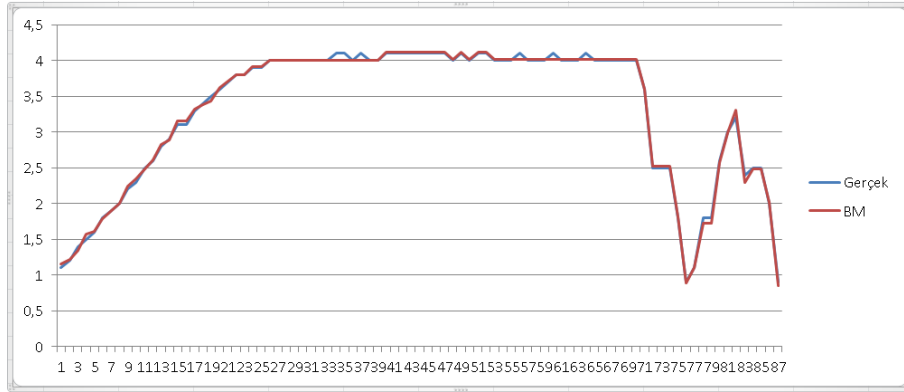
1 -   fis = readfis('bulanik2'); %Eğitilen ve kaydedilen bulanık mantık dosyası
2     Tisinim_Gsicaklik = [13.4 466; 13.7 473; 14 480; 14.4 489; 14.8 497;
3     15.2 503; 15.6 509; 15.7 511; 15.9 512; 16.1 518; 16.3 525; 16.6 530;
4     16.8 535; 17.1 537; 17.4 539; 17.6 544; 17.7 549; 17.8 551; 18.2 552;
5     18.7 555; 19.2 557; 19.4 560; 19.5 562; 19.5 561; 19.5 561; 19.7 563;
6     19.9 564; 20.1 565; 20.4 566; 20.5 561; 20.6 555; 20.7 551; 20.9 547;
7     21.1 543; 21.3 538; 21.6 531; 21.9 524; 22.35 519; 22.8 515; 22.8 505;
8     22.8 495; 22.8 488; 22.8 480; 22.7 468; 22.6 456; 22.5 423; 22.5 429;
9     22.95 420; 23.4 410; 23.5 399; 23.6 388; 23.7 380; 23.9 373; 23.9 363;
10    23.9 353; 23.7 342; 23.5 332; 23.3 317; 23.1 302; 23 283; 22.9 264;
11    23.2 250; 23.4 235; 23.5 225; 23.6 215; 23.4 198; 23.2 180; 23.2 165;
12    23.1 150; 23 134; 23 118; 22.9 104; 22.9 90; 22.8 77; 22.8 63; 22.7 50;
13    21.9 45; 21.7 16; 22.5 13; 21.2 10; 21 8; 20.8 2; 20.6 0; 20.4 0; 20 0;
14    19.7 0; 19.4 0]
15 -   Imax = evalfis([Tisinim_Gsicaklik],fis); % Giriş verilerine göre çıkışın
16     % hesaplanması
17     Imax
18
19
20

```

Şekil 4.29. Girdilere karşı DA akımının hesaplanması.

Bulanık mantık tarafından hesaplanan gerçek çıktı değerleri Çizelge Ek A.5’de matris formunda verilmiştir.

Bulanık mantık ile hesaplanan değerlerle gerçek çıktı değerlerinin karşılaştırılması Şekil 4.30’da görülmektedir. Test eğilen ağı maksimum güç noktası akımı takibinde gerçek test verilerine yakın sonuç vermiştir.



Şekil 4.30. Bulanık mantık ile hesaplanan değerlerle gerçek çıktı değerlerinin karşılaştırılması.

Eğitilen ağı çıktısı, PV sistemlerin maksimum güç noktasına ulaşmak için kullanacağı maksimum referans akım değeridir. BM’ın hesapladığı akım değeri, PV sistemlerin devamına bağlamak DA/DA boost konvertörün referans akım değeri olarak alınacaktır. Arada ki farka göre konvertörde görev süresi değişikliğine gidilecek ve sürekli olarak maksimum güç noktasında çalışacaktır.

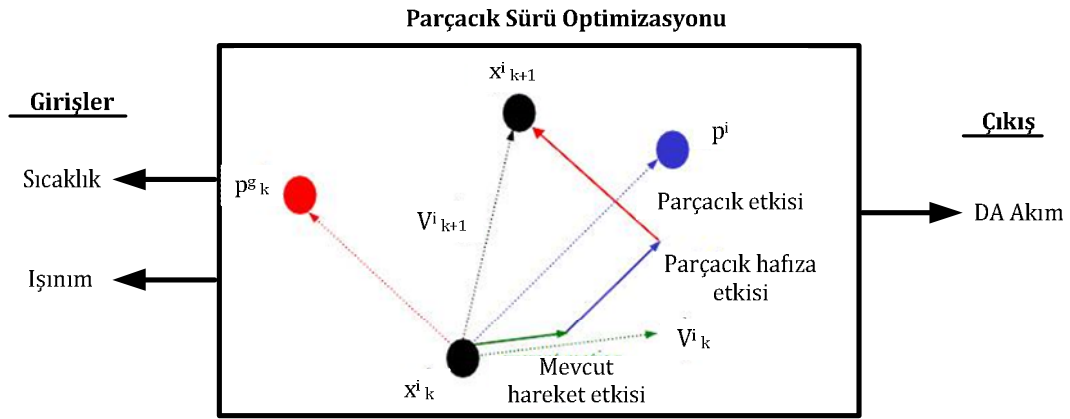
4.3. PARÇACIK SÜRÜSÜ OPTİMİZASYONU (PSO) İLE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ

Parçacık sürü optimizasyonu kuş sürülerinin davranışlarından esinlenerek ortaya atılan ve yiyeceğe en yakın kuşun takip edidiği bir optimizasyon tekniğidir. Yiyecek kaynağına sürünün ulaşması için kuşlar arasında bilgi paylaşımı yapılmakta ve bu benzetimden hareketle optimum çözüme ulaşmak için her kuş parçacık olarak adlandırılmaktadır. Her parçacık hem hız hemde pozisyon bilgilerini hafızada tutarlar. Parçacıklar rastgele çözümlerle başlatılır. Her parçacığın en iyi çözümü (P_{best}) ve tüm parçacıkların ürettiği en iyi çözüm (g_{best}), hız ve pozisyon güncellemeleri ile

en iyi çözüme ulaşmaya çalışılır. Kuşların bu özelliği çözüm arama sürecine benzetilerek tek yada çok boyutlu problemlere çözüm aranmaktadır.

PSO ile MPPT işlemi bulunulan şartlarda üretilmesi gereken maksimum güç noktasında ki akımın takibi, gerilimin takibi yada konvertörün görev süresinin hesaplanma biçiminde farklı şekillerde uygulanmaktadır.

Bu çalışmada PSO ile PV panelin ölçülen ışınım ve sıcaklık şartları altında ürettiği gerilim tahmin edilip hedef fonksiyonda yerine konularak panelin maksimum akımını MATLAB programı ile hesaplanmıştır. PSO ile MPPT işleminin genel yapısı Şekil 4.31’de verilmiştir.



Şekil 4.31. PSO ile MPPT işleminin genel yapısı.

PSO ile MPPT işlemi aşağıdaki işlem basamakları ile gerçekleştirilir:

- ❖ Parçacık sürü optimizasyonu işlemi ile PV panelin ürettiği maksimum akımın hesaplanabilmesi için PV panellerin elektriksel eşdeğer modelinden elde edilen ışınım, sıcaklık ve gerilime bağlı akım fonksiyonu tanımlanır. Akım hedef fonksiyonu “obj_func (V, T, G)”, Eşitlik (4.1) ve (4.2) kullanılarak Eşitlik (4.3)’de tanımlanmıştır.

$$C2 = ((V_{mp} / V_{oc}) - 1) * (1 / (\log(1 - (I_{mp} / I_{sc})))) \quad (4.1)$$

$$C1 = (1 - (Imp / Isc)) * \exp(-Vmp / (C2 * Voc)) \quad (4.2)$$

$$obj_func(V, T, G) = Isc * (1 - C1 * (\exp(\text{vec}(1, i) ./ (C2 * Voc)) - 1)) + \dots \\ (Isc * ((G / 1000) - 1)) + (\alpha * G / 1000 * (Tc - Tco)) \quad (4.3)$$

- ❖ Sharp NU-SOE3E 180W'lık panel, ışınım ve sıcaklığa göre akım fonksiyonunda gerilimin tahmin edilip maksimum çalışma akımı hesaplanacak paneldir. Çizelge 4.5'de PV panel parametreleri, açıklamaları, sabitler ve değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.5. PV panel parametreleri.

Sembol	Açıklaması	Değeri
Voc	Panelin açık devre gerilimi	30 V
Isc	Kısa devre akımı	8,23 A
Vmp	Maksimum güç noktasında ki gerilim	23,7 V
Imp	Maksimum güç noktasında ki akım	7,60 A
Tco	Referans sıcaklık	25 °C
alpha	Akımın sıcaklık katsayısı	0,00053 / °C
Tc	Çalışma sırasında ölçülen sıcaklık değeri	
G	Çalışma sırasında ölçülen ışınım değeri	

- ❖ PSO'nun çalışacağı hedef fonksiyon ve parametre tanımlarıktan sonra MATLAB ortamında "obj_func.m" ismi ile kaydedilir. Şekil 4.32'de "obj_func.m" isimli hedef fonksiyon dosyası görülmektedir. PV panel parametreleri, ışınım ve sıcaklığın çalışılan o anki değerleri ve hedef fonksiyon bu dosyada tanımlanmıştır. Ayrıca fonksiyonun yer aldığı bu dosya konum ve hız güncellemeleri dosyasının yer aldığı ana PSO dosyası içinde çağrılacak ve optimizasyonda kullanılacak dosyadır.

```

1 % Parçacık Sürü Optimizasyonu Tarafından Çözüm Bulunacak Hedef Fonksiyon
2 function [deger]=obj_func (func,obj,vec)
3 deger=0;
4 switch (func)
5     case 1
6         for i=1:obj
7             % Hedef fonksiyonda kullanılacak sabitler
8             Voc=30; % Açık Devre Gerilimi
9             Isc=8.23; % Kısa Devre Akımı
10            Vmp=23.7; % Maksimum Güç Noktası Gerilimi
11            Imp=7.60; % Maksimum Güç Noktası Akımı
12            Tc=25; % Çalışma Sıcaklığı
13            alpha=0.00053; % Akımın Sıcaklık Katsayısı
14            Tco=25; % Referans Sıcaklık
15            G=1000; % Çalışma Işınım Değeri
16
17            C2=((Vmp/Voc)-1)*(1/(log(1-(Imp/Isc))));
18            C1=(1-(Imp/Isc))*exp(-Vmp/(C2*Voc));
19
20            deger=deger+Isc*(1-C1*(exp(vec(1,i)/(C2*Voc))-1)+(Isc*(G/1000)-1)...
21            +(alpha*G/1000*(Tc-Tco)); %Maksimum PV Akımı Hesaplanıyor
22        end
23    otherwise
24        disp('Hata');
25 end

```

Şekil 4.32. obj_func.m isimli hedef fonksiyon dosyası.

❖ PSO'nun gerçekleştirildiği MATLAB dosyası 'pso.m' ismi ile kaydedilmiştir. Optimizasyonun ilk aşamasında Şekil 4.33'de görüldüğü gibi öğrenme faktörleri, boyut ve iterasyon tanımlamaları yapılmıştır. Öğrenme faktörleri olan c_1 ve c_2 ikiye eşit olarak alınmıştır. Akım fonksiyonunda bilinmeyen tek parametre gerilim olduğu için tek boyutlu bir problemdir ve 100 iterasyonda optimum çözüme ulaşılmaya çalışılmaktadır.

```

1 %Parçacık Sürü Optimizasyonu Algoritması
2
3 clc;
4 clear all;
5 disp('PV gerilimine Bağlı Olarak O anki Işınım ve Sıcaklık Şartları ');
6 disp('Altında Üretilebilecek Maksimum Akımı Hesaplayan Program');
7 disp('-----Ipv(V,G,T)-----');
8
9
10 c1=2; % Kişisel En İyi Çözüm İçin Adım Büyüklüğünü Ayarlayan Öğrenme Faktörü
11 c2=2; % Global En İyi Çözüm İçin Adım Büyüklüğünü Ayarlayan Öğrenme Faktörü
12
13 func_number=1;
14 switch (func_number)
15     case 1
16         dimension = 1; % Fonksiyonun Boyutu
17     otherwise
18         disp('Hata');
19     end
20
21 iteration=100; % Iterasyon sayısı
22

```

Şekil 4.33. Öğrenme Faktörleri, boyut ve iterasyon tanımlamaları.

Parçacıkların yanlış yerde ve aralıklarda çözüm aramalarının önüne geçmek için 0-1 aralığında değişen alt ve üst sınır değerleri atanır. Şekil 4.34’de görüldüğü gibi altı sınır 0,4, üst sınır ise 0,9 olarak alınmıştır. 25 parçacık ve 1 boyutlu problem için başlangıçta sifıra eşit olan hız vektörleri tanımlanmıştır. Yine parçacık ve boyuta bağlı olarak pbest ve gbest değerlerinin iterasyonda kullanılacağı sınır aralıkları belirlenmiş ve başlangıç şartı olarak sifıra eşitlenmiştir. Ayrıca parçacıkların ilk değerleri, belirlenen alt ve üst aralık değerlerine uygunlaştırılmıştır.

```

23 % Belirlenen Alt ve Üst Sınırın Aşılması Durumunda Yapılan Boyut Düzenlenmesi
24 between_a=0.4; % Parçacığın Arama Uzayından Ayrılmasını Engellemek İçin
25 % Kullanılan Alt aralık değeri
26 between_u=0.9; % Parçacığın Arama Uzayından Ayrılmasını Engellemek İçin
27 % Kullanılan Üst aralık değeri
28
29 between=(abs(between_a)+abs(between_u))/4;
30 particle=25; % Parçacık sayısı
31
32 v_a=zeros(particle,dimension); % satırı parçacık sayısı (particle), sütunu
33 % fonksiyonun boyutu (dimension) olan 0 vektörü.
34 v_b=zeros(particle,dimension); % satırı parçacık sayısı (particle), sütunu
35 % fonksiyonun boyutu (dimension) olan 0 vektörü.
36 pbest=zeros(particle,(dimension+1));
37 gbest=zeros(1,(dimension+1));
38
39 gbest_x=zeros(particle,(dimension+1));
40
41 pbest_i=0;
42 pbest_f=0;
43
44 a = randn(particle,dimension)*between;
45
46 for i=1:particle % İlk Değerleri Sınır aralığına göre uygunlaştırma
47     for j=1:dimension
48         if (a(i,j)>between_u)
49             a(i,j)=between_u;
50         elseif (a(i,j)<between_a)
51             a(i,j)=between_a;
52         end
53     end
54 end

```

Şekil 4.34. Alt-üst sınırlar, parçacık sayısı, hız, konum matrisleri.

Hız ve konum güncellemeleri için Şekil 4.35’de görüldüğü iterasyon başlatılır ve pbest değeri hesaplanır.


```

84
85 %En Küçük pbest Değeri Bulunarak Gbest Değeri İle Kıyaslanır
86 pbest_i=1;
87 pbest_f=pbest(1,1);
88 for i=2:particle
89     if (pbest(i,1)<pbest_f)
90         pbest_f=pbest(i,1);
91         pbest_i=i;
92     end
93 end
94 %Globallik testi yapılır.
95 if (k==1)
96     gbest(1)=pbest_f;
97     gbest_x(k,1)=pbest_f;
98     for i=1:dimension
99         gbest(i+1)=a(pbest_i,i);
100        gbest_x(k,i+1)=a(pbest_i,i);
101    end
102 else
103     if (pbest_f<gbest(1))
104         gbest(1)=pbest_f;
105         gbest_x(k,1)=pbest_f;
106         for i=1:dimension
107             gbest(i+1)=a(pbest_i,i);
108             gbest_x(k,i+1)=a(pbest_i,i);
109         end
110     else
111         for i=1:dimension+1
112             gbest_x(k,i)=gbest(i);
113         end
114     end
115 end
116 fprintf('%d. İterasyon Gbest=%f\n',k,gbest(1));

```

Şekil 4.36. En küçük pbest değerinin bulunması ve globallik testinin yapılması.

Her iterasyon için hesaplanan gbest değeri ‘fprintf’ komutu ile Şekil 4.37’de görüldüğü gibi MATLAB’ın komut ekranına yazdırılır.

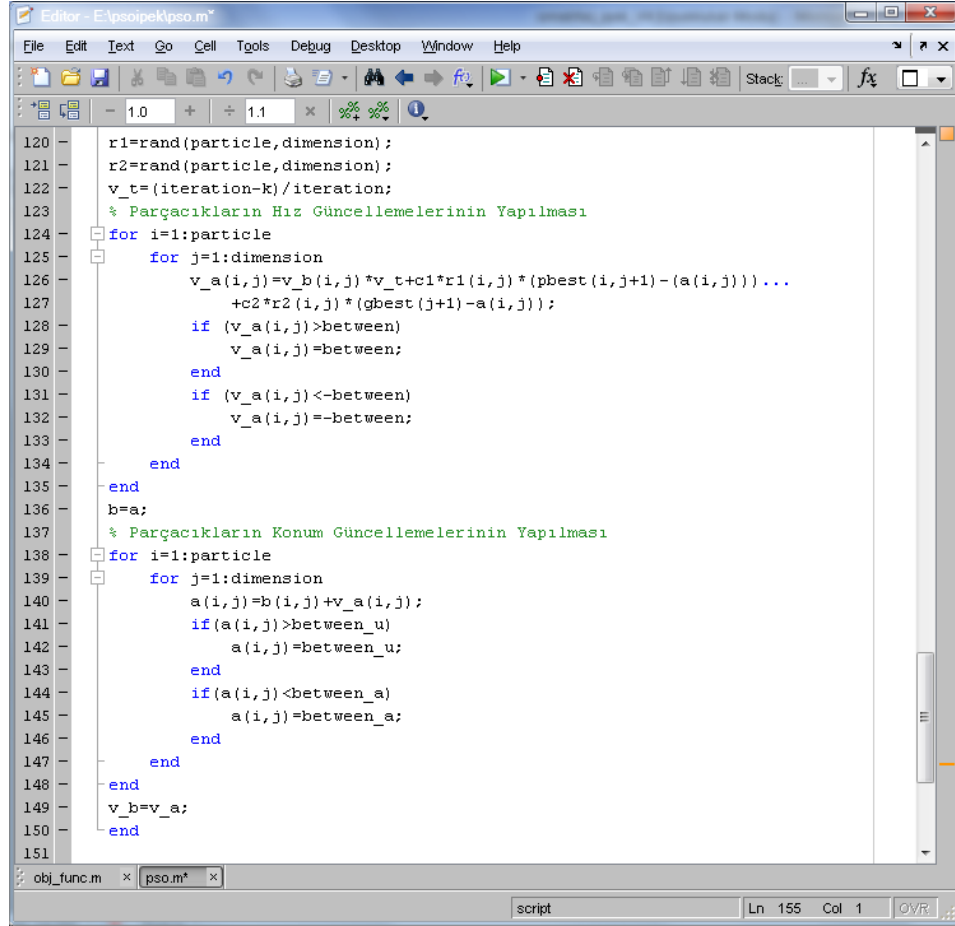
```

PV gerilimine Bağlı Olarak O anki Işınım ve Sıcaklık Şartları
Altında Üretilebilecek Maksimum Akımı Hesaplayan Program
-----İpv (V, G, T)-----
1. İterasyon Gbest=8.229987
2. İterasyon Gbest=8.229986
3. İterasyon Gbest=8.229982
4. İterasyon Gbest=8.229982
5. İterasyon Gbest=8.229982
6. İterasyon Gbest=8.229982
7. İterasyon Gbest=8.229982
8. İterasyon Gbest=8.229982
9. İterasyon Gbest=8.229982
10. İterasyon Gbest=8.229982
11. İterasyon Gbest=8.229982
12. İterasyon Gbest=8.229982
13. İterasyon Gbest=8.229982
14. İterasyon Gbest=8.229982
15. İterasyon Gbest=8.229982
16. İterasyon Gbest=8.229982
17. İterasyon Gbest=8.229982
18. İterasyon Gbest=8.229982
19. İterasyon Gbest=8.229982
20. İterasyon Gbest=8.229982
21. İterasyon Gbest=8.229982
22. İterasyon Gbest=8.229982

```

Şekil 4.37. Her İterasyonda hesaplanan gbest değerinin komut ekranına yazdırılması.

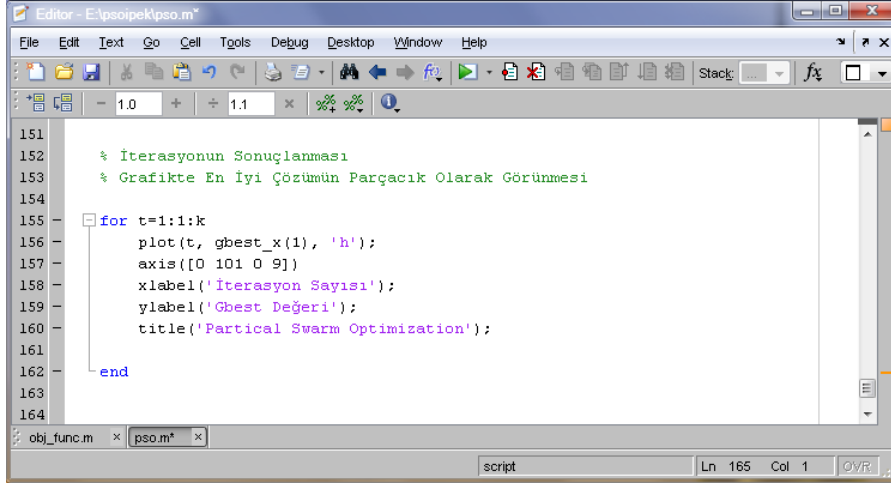
Parçacıkların hız ve konum güncellemeleri Şekil 4.38’de görüldüğü gibi yapılır. Burada “ r_1 ” ve “ r_2 ” sayıları parçacık ve boyuta bağlı olarak 0-1 aralığında üretilen rastgele sayılardır.



```
120 r1=rand(particle,dimension);
121 r2=rand(particle,dimension);
122 v_t=(iteration-k)/iteration;
123 % Parçacıkların Hız Güncellemelerinin Yapılması
124 for i=1:particle
125     for j=1:dimension
126         v_a(i,j)=v_b(i,j)*v_t+c1*r1(i,j)*(pbest(i,j+1)-(a(i,j)))...
127             +c2*r2(i,j)*(gbest(j+1)-a(i,j));
128         if (v_a(i,j)>between)
129             v_a(i,j)=between;
130         end
131         if (v_a(i,j)<=-between)
132             v_a(i,j)=-between;
133         end
134     end
135 end
136 b=a;
137 % Parçacıkların Konum Güncellemelerinin Yapılması
138 for i=1:particle
139     for j=1:dimension
140         a(i,j)=b(i,j)+v_a(i,j);
141         if(a(i,j)>between_u)
142             a(i,j)=between_u;
143         end
144         if(a(i,j)<between_a)
145             a(i,j)=between_a;
146         end
147     end
148 end
149 v_b=v_a;
150 end
151
```

Şekil 4.38. Parçacıkların hız ve konum güncellemelerinin yapılması.

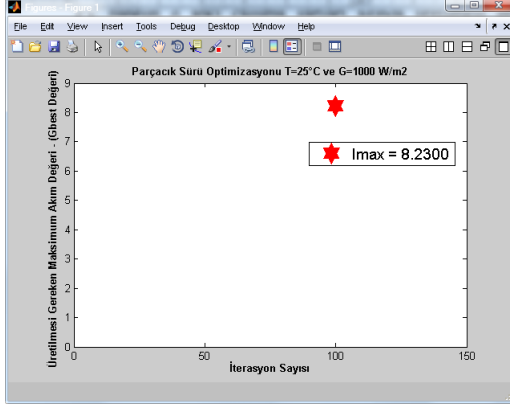
Hız ve konum güncellemelerinin yapılmasından sonra giriş şartları ve hedef fonksiyon değerlendirilip itetasyonda ki en iyi sonuç “gbest_x(1)” olarak kaydedilir. Bu değer o anki ışınım ve sıcaklık şartları altında panelin üretmesi gereken maksimum akımı ifade etmektedir. Şekil 4.39.’da, iterasyonun sonuçlanması ve grafik çizimi için gerekli kod parçası görülmektedir.



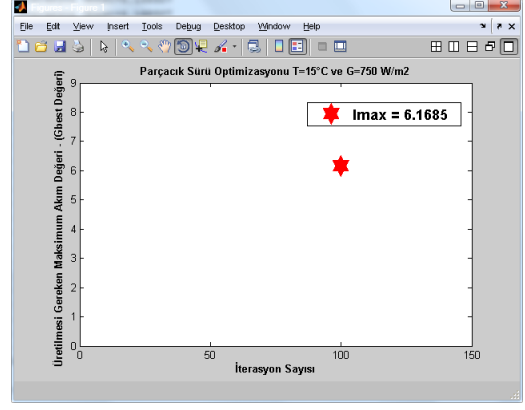
```
151
152 % İterasyonun Sonuçlanması
153 % Grafikte En İyi Çözümün Parçacık Olarak Görünmesi
154
155 for t=1:1:k
156     plot(t, gbest_x(1), 'h');
157     axis([0 101 0 9])
158     xlabel('İterasyon Sayısı');
159     ylabel('Gbest Değeri');
160     title('Partical Swarm Optimization');
161
162 end
163
164
```

Şekil 4.39. İterasyonun sonuçlanması ve grafik çizimi.

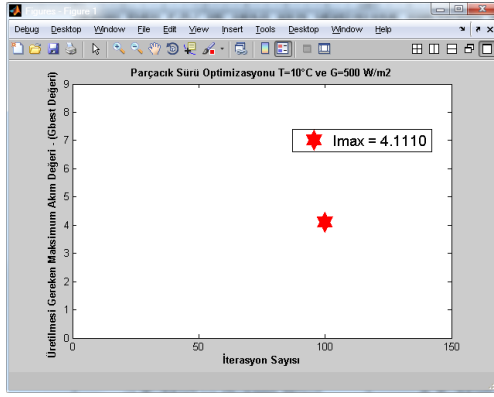
PV panelin o anki çalışma şartları altında üretmesi gereken maksimum akımı tahmin eden PSO ile farklı giriş değerleri için maksimum akımın tahmini yaptırılmıştır. Şekil 4.40 (a), (b), (c) ve (d)'de farklı ışınım ve sıcaklık değerleri için hesaplanan maksimum akım değerleri iterasyon sayısına göre çizdirilmiştir. Ayrıca PSO'nun hesapladığı maksimum akım değerleri grafikte üzerine yazdırılarak gösterilmiştir.



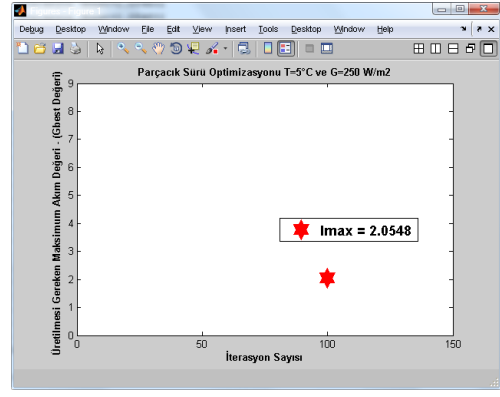
a) $T=25^{\circ}\text{C}$ ve $G=1000\text{ W/m}^2$.



b) $T=15^{\circ}\text{C}$ ve $G=750\text{ W/m}^2$.



c) $T=10^{\circ}\text{C}$ ve $G=500\text{ W/m}^2$.



d) $T=5^{\circ}\text{C}$ ve $G=250\text{ W/m}^2$.

Şekil 4.40. Farklı ışınım ve sıcaklık değerleri için hesaplanan maksimum akım.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada güneş enerjili sistemlerde kullanılan zeki algoritmalar ile maksimum güç noktası takibinin gerçekleştirilmesi konusu incelenmiştir. Her bir algoritmanın MPPT için işlem basamakları, eğitim süreçleri ve MPPT'ye katkıları verilmiştir.

Her bir zeki algoritmanın kullanılması neticesinde kendi içinde avantaj ve dezavantajları bulunmakla birlikte PV dizi bağımlılığı, yazılım zorluğu, analog/dijital bilgi kullanımı, periyodik güncelleme, uygulama zorluğu, izleme hızı, gerçek MPPT ve kontrol değişkeni ölçütleri bakımından birbirleriyle de kıyaslamak mümkündür. Tablo 5.1.'de zeki algoritmaların kıyaslanması görülmektedir.

Çizelge 5.1. Zeki algoritmaların kıyaslanması.

Kıyaslama Kriteri	YSA	BM	PSO
PV Dizi Bağımlılığı	Evet	Evet	Hayır
Yazılım Zorluğu	Zor	Kolay	Orta
Analog/Dijital	Dijital	Dijital	Dijital
Periyodik Güncelleme	Evet	Evet	Hayır
Uygulama Zorluğu	Zor	Zor	Düşük
İzleme hızı	Hızlı	Hızlı	Hızlı
Gerçek MPPT	Evet	Evet	Evet
Kontrol Değişkeni	Değişken	Değişken	Gerilim, Akım, Işınım, Sıcaklık

PV Dizi Bağımlılığı: YSA algoritmasında, her PV panelin çalışma karakteristiği farklı olduğu için, farklı PV diziler için eğitim süreçleri tekrarlanmalıdır. Farklı PV teknolojiler ile üretilen PV panellerin kısa devre akımı, açık devre gerilimi, maksimum güç noktası akımı, maksimum güç noktası gerilimi ve STC şartları

altında verebileceği maksimum güç farklı olmakta ve bu parametreler PV panelin çalışma karakteristiğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla ışınım, sıcaklık ve değişen panel teknolojisi durumlarında, sistemin yeniden eğitime gerekliliği YSA algoritmasının PV dizi bağımlılığını ortaya çıkarmaktadır.

BM algoritmasında, kural tabanı ve üyelik fonksiyonlarının oluşturulması YSA algoritmasında olduğu gibi PV panellerin çalışma karakteristiklerine bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. MPPT işleminde belirli bir ışınım ve sıcaklık şartları altında bir panel türü belirli bir değer gösterirken, farklı bir panel türünün üretebileceği değer farklılık gösterecektir. Dolayısıyla YSA algoritmasında olduğu gibi BM algoritması da PV dizilere bağımlı olarak çalışmaktadır. Çalışma koşulları yâda panel değişikliği durumlarında sistemlerin eğitimleri güncellenmelidir.

PSO algoritması, PV sisteme ait fonksiyon üzerinden nümerik metotlarla hesaplama işlemi gerçekleştirdiğinden PV dizi bağımlılığı gerektirmemektedir.

Yazılım Zorluğu: Klasik algoritmalarından farklı olarak zeki algoritmaların çeşitli yazılım zorlukları bulunmaktadır. YSA, giriş ve çıkış katmanlarına ek olarak gizli katmanlar ve her katmanda yer alan nöronlardan oluşmaktadır. YSA'nın katman ve nöron karmaşıklığı ve ağı eğitime prosedürü yazılım zorluğunu ortaya çıkarmaktadır.

BM kontrol için gerekli yazılımda sistem bilgileri giriş, çıkış değişkenleri ve arasında ki ilişkiler belirlendikten sonra dilsel değişkenlere aktarılır. Tasarımı tamamlanan ağ için girdi değerlerine karşın çıktı değerleri hızlı ve doğrulukla üretilmektedir. BM, YSA ve PSO algoritması ile kıyaslandığında yazılımı en kolay olan algoritmadır.

PSO algoritması, nümerik hesaplama yöntemi olduğu için sistemin çalışmasına ilişkin bir fonksiyon yazımı gerektirmekte ve orta derece de bir yazılım zorluğuna sahiptir.

Analog/Dijital: YSA, BM ve PSO algoritmaları dijital bilgilerle işlem yapmaktadır.

Periyodik Güncelleme: YSA ve BM'da değişen çevresel koşullar ve teknolojik değişimler için yeni şartlara ait veri seti ile eğitim gerektirmektedir. Değişen şartlara ayak uydurup verimi arttırmak için YSA ve BM'da periyodik güncelleme yapılmaktadır.

PSO algoritması sistemin çalışmasını temsil eden bir fonksiyonla nümerik hesaplama yöntemi ile çalıştığından periyodik güncelleme gerektirmemektedir.

Uygulama Zorluğu: YSA ve BM uygulaması zor olan algoritmalar sınıfındadır. YSA'da giriş ve çıkış değişkenleri belirlendikten sonra ağın oluşturulması işlemine geçilir. Giriş ve çıkış katmanları arasında kullanılan gizli katmanlar, katmanlarda kullanılan nöronların sayısı, fonksiyonlar ve ağırlık değerleri için genel bir kural yoktur. YSA'da deneme yanılma yöntemiyle karar verilip oluşturulan ağ istenilen sonucu vermediğinde katman, nöron, fonksiyon ve ağırlıklar değiştirilmektedir. En optimum çıkış sonucu elde edilene kadar ağ eğitim süreci devam etmektedir.

BM ile sistem tasarımı yapılırken uzman bilgi ve deneyimlerinden yararlanılarak dilsel değişkenler, değişkenlerin aralıkları, fonksiyon tipi gibi tasarım için gerekli parametreler belirlenmektedir. Fakat tasarımı yapılan sistemin sözel olarak dilsel değişkenlere aktarılıp ifade edilmesi, uzman tecrübesine ihtiyaç duyması BM uygulamalarının zor yanını oluşturmaktadır.

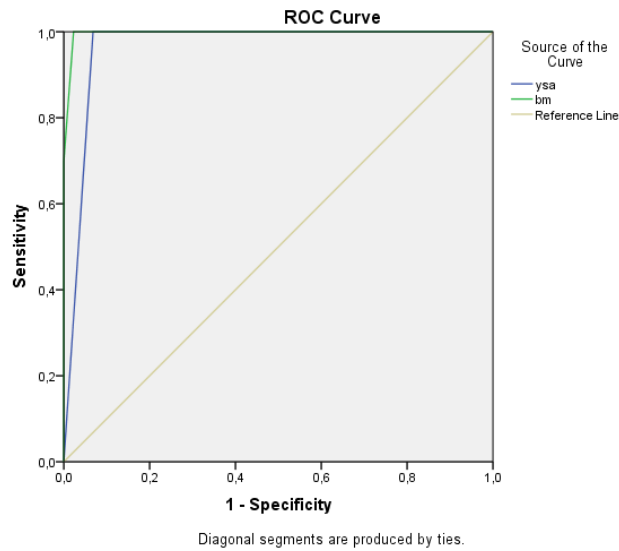
İzleme Hızı: YSA, BM ve PSO izleme hızı yüksek olan algoritmalarıdır. MPPT için farklı eğitim prosedürleri hızlı bir şekilde gerçekleştirilmekte ve sistemler hızlı bir şekilde MPPT işlemi yapabilmektedir.

Gerçek MPPT: YSA, BM ve PSO algoritmaları gerçek MPPT noktasında çalışmaktadır. YSA ve BM'da tasarlanan sistemin çıktısı, PSO'da ise hesaplanan değer, referans değeri olarak alınmakta DA/DA konvertörün o anki maksimum gücü üretebilmesi için görev süresi değişikliğine gidilmektedir. Böylece belirli bir ışınlım ve sıcaklık şartları altında sürekli olarak maksimum güç noktası takibi yapılmaktadır.

Kontrol Değişkeni: MPPT işlemi yapılırken YSA ve BM’da kontrol değişkeni farklılık gösterebilmektedir. Kontrol edilmek istenen değişkene kadar verilip sistem tasarımı bu yönde yapılmaktadır. Fakat PSO algoritmasında kontrol değişkeni gerilim, akım, ışınlım ve sıcaklık parametreleri olabilmektedir.

YSA ve BM tarafından üretilen verilerin hem gerçek veri değerlerine yakınlığı hemde birbiriyle kıyaslanması için SPSS 21 (Statistical Package for the Social Sciences) istatistiksel veri değerlendirme programı kullanılmıştır. YSA ve BM’ın ürettiği program çıktıları ile gerçek veri seti çıktıları SPSS programına girilerek ROC (Receiver Operating Characteric) eğrisi çizdirilmiş ve testin doğruluğu yorumlanmıştır.

Şekil 5.1’de SPSS programı ile çizdirilen ROC eğrisi görülmektedir. Eğrinin x koordinatı seçiciliği, y koordinatı ise duyarlılığı temsil etmektedir. Doğru pozitif ifade eden x koordinatı ile yanlış pozitif ifade eden y koordinatının kesişmesi ROC eğrisini vermektedir. Testin doğruluğu ROC eğrisi altında kalan alana göre yapılmakta, alanın en büyük değeri 1, en küçük değeri ise 0,5 olmaktadır. Grafikler 1’e yaklaştıkça doğruluk artmaktadır. YSA ve BM’ın her ikisi de 1’e yakın seyir izlemişlerdir. Fakat BM, YSA’na göre 1’e daha iyi yaklaşması sebebiyle gerçek sonuçlara daha yakın bir değer üretmiştir.



Şekil 5.1. ROC eğrisi.

YSA ve BM'in ürettiği program çıktıları ile gerçek veri seti çıktıları, eğrilerin altında kalan alana göre karşılaştırılmıştır. SPSS programı verilerin grafiği ile birlikte eğrilerin altında kalan alanları da vermektedir. Çizelge 5.2 incelendiğinde grafiğin 1'e yaklaşması yani eğrinin altında kalan alanın maksimum olması en iyi sonucu üretmede bir kriter oluşturmaktadır. BM'in eğri altında kalan alanı 0,997, YSA'nın ise 0,966 olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar BM'in YSA'ya göre daha iyi sonuç ürettiğini göstermiştir.

Çizelge 5.2. YSA ve BM için eğrilerin altında kalan alanlar.

Test Result Variable(s)	Area	Std. Error ^a	Asymptotic Sig. ^b	Asymptotic 95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
ysa	,966	,022	,000	,922	1,000
bm	,997	,004	,000	,988	1,000

Bu çalışmada alternatif enerji kaynaklı sistemler de kullanılan zeki algoritmalar incelenmiştir. Fotovoltaik (PV) panellerin enerji üretim kapasitesi ışınım ve sıcaklıkla bağlantılı olarak her an değişmekte ve değişken şartlarda bile sürekli olarak maksimum güç üretmek PV sistemlerin en önemli konusunu oluşturmaktadır. PV panellerde, o anki ışınım ve sıcaklık çalışma şartları altında alınabilecek gücü en yüksek yapmak için maksimum güç noktası takibi (MPPT) algoritmaları kullanılmakta ve verim bu şekilde önemli oranda artırılabilir. Bu sebeple klasik MPPT algoritmalarının yerine, insan gibi düşünme, karar verme ve genelleme yapma yetisi kazandırılmaya çalışılan YSA, BM ve PSO zeki algoritmaları kullanılmıştır. YSA, BM ve PSO zeki algoritmalarının PV sistemlerde kullanım amaçları, her algoritmanın MPPT kullanımında ki işlem basamakları, eğitim süreçleri, program çıktıları ve algoritmaların maksimum güç noktasına katkıları incelenmiştir. Algoritmaların avantaj ve dezavantajlarına değinilerek, PV dizi bağımlılığı, yazılım zorluğu, analog/dijital bilgi kullanımı, periyodik güncelleme, uygulama zorluğu, izleme hızı, gerçek MPPT ve kontrol değişkeni ölçütleri bakımından birbirleriyle kıyaslanmıştır.

YSA, BM ve PSO zeki algoritmaları izleme ve hesaplama hızı yüksek ve gerçek MPPT noktası tahmininde iyi sonuçlar vermiştir. Tasarım ve uygulama süreçleri

farklı olan bu üç algoritma PV sistemlerde maksimum güç noktası takibinde başarıyla kullanılmıştır.

YSA, BM ve PSO zeki algoritmaları ile insan beyni, düşünme ve karar verme sisteminin modellenme çalışmaları neticesinde ortaya çıkmıştır. Her zeki algoritmanın tasarım ve uygulama prosedürlerine göre farklı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Kullanım kriterlerine göre günümüzde PV gibi çeşitli uygulamalarda başarıyla kullanılan zeki algoritmalar, gelecekte de farklı durumlardan esinlenilerek değişik zeki algoritmalar olarak gelişimleri devam edecektir.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Tübitak, “Hava Kirliliği-Vizyon ve Misyon”, http://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/csk/EK17.pdf htm (2014).
2. İnternet: Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, “Hava Kirliliği Ve Asit Yağmurlarının Çevre Ve İnsan Sağlığı Üzerine Etkileri”, <http://www.mgm.gov.tr/FILES/arastirma/webhaker.pdf> (2014).
3. İnternet: Tübitak Bilim ve Teknik Dergisi, “Sera Etkisi Nedir ve Nasıl Gerçekleşir?”, http://biltek.tubitak.gov.tr/merak_ettikleriniz/index.php?kategori_id=6&SORU_id=195 (2014).
4. Onat, N. ve Ersöz, S., “Maksimum güç noktası takip ediciler için farklı algoritmaların karşılaştırılması”, *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu (YEKSEM'09)*, Diyarbakır (2009).
5. Lokanadham, M. and Vijaya Bhaskar, K., “Incremental conductance based maximum power point tracking (MPPT) for photovoltaic system”, *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 2 (2): 1420-1424 (2012).
6. Pradeep Kumar Yadav, A., Thirumaliah, S. and Haritha, G., “Comparison of MPPT algorithms for DC-DC converters based PV systems”, *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 1 (1): 18-23 (2012).
7. Sharma, D. K. and Purohit, G., “Advanced perturbation and observation (P&O) based maximum power point tracking (MPPT) of a solar photo-voltaic system”, *Power Electronics (IICPE)*, 1-5 (2012).
8. Faranda, R. and Leva, S., “Energy comparison of MPPT techniques for PV systems”, *Wseas Transactions On Power Systems*, 3 (6): 446-455 (2008).
9. Alabedin, A. M. Z., El-Saadany, E. F. and Salama, M. M. A., “Maximum power point tracking for photovoltaic systems using fuzzy logic and artificial neural networks”, *IEEE Power Energy Soc Gen Meet*, 1-9 (2011).
10. Jie, L. and Ziran, C., “Research on the MPPT algorithms of photovoltaic system based on PV neural network”, *Chinese Control And Decision Conference*, Mianyang, China (2011).
11. Veerachary, M., Senjyu, T. and Uezato, K., “Neural-network-based maximum power- point tracking of coupled-inductor interleaved-boost-converter

- supplied PV system using fuzzy controller”, *IEEE Trans Ind Electron*, 50 (4): 749–58 (2003).
12. Mahmoud, A. M. A., Mashaly, H. M., Kandil, S. A., El-Khashab and Nashed. H. M. N., “Fuzzy logic implementation for photovoltaic maximum power tracking”, *IECON 26th Annual Conference of the IEEE*, 735–740 (2000).
 13. Khaehintung, N., Pramotung, K., Tuvirat, B. and Sirisuk, P., “RISC-microcontroller builtin fuzzy logic controller of maximum power point tracking for solar-powered light-flasher applications”, *IECON 30th Annual Conference of IEEE*, 2673–2678 (2004).
 14. Syafaruddin, Karatepe, E. and Hiyama, T., “Artificial neural network-polar coordinated fuzzy controller based maximum power point tracking control under partially shaded conditions”, *IET Renew Power Gener*, 3 (2): 239–53 (2009).
 15. Ishaque, K., Salam, Z., Shamsudin, A. and Amjad, M., “A direct control based maximum power point tracking method for photovoltaic system under partial shading conditions using particle swarm optimization algorithm”, *Appl Energy*, 99: 414-422 (2012).
 16. Ishaque, K., Salam, Z., Amjad, M. and Mekhilef, S., “An improved particle swarm optimization (PSO)-based MPPT for PV with reduced steady-state oscillation”, *IEEE Trans Power Electron*, 27 (8): 3627 – 3638 (2012).
 17. Miyatake, M., Toriumi, F., Endo, T. and Fujii, N., “Maximum power point tracking of multiple photovoltaic arrays: a PSO approach”, *IEEE Trans Aerospace Electron Sys*, 47 (1): 367 – 380 (2011).
 18. İnternet: İTÜ Elektrik Mühendisliği Kulübü, “Güneş Enerjisi”, <http://www.emhk.itu.edu.tr/Belge.aspx?belgeId=10149> (2013).
 19. İnternet: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Güneş ve Enerji”, <http://www.enerji.gov.tr/BysWEB/DownloadBelgeServlet?read=db&fileId=42002.Güneş ve Enerji. Pdf> (2013).
 20. Kılıç, I. M., “Fotovoltaik sistem eğitimi için bir simulink araç kutusu tasarım ve uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, *Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Muğla, 18-23 (2007).
 21. Kangal, H., “Fotovoltaik sistem analizi ve Labview tabanlı MPPT simülasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 4-5, 20, 50-54 (2008).
 22. İnternet: Kimya Evi, “Silisyum”, <http://www.kimyaevi.org/TR/Genel/YariMetal.aspx?F6E10F8892433CFF679A66406202CCB0D8C5CCAC04908C4E> (2013).

23. Kaplan, Z., “Fotovoltaik sistem tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, **Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kütahya, 10-11 (2012).
24. Kulaksız, A. A., “Maksimum güç noktası izleyicili ve UVM inverterli fotovoltaik sistemlerin yapay sinir ağları tabanlı kontrolü”, Doktora Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, 21-23 (2007).
25. Karamanav, M., “Güneş enerjisi ve güneş pilleri”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, 28 (2007).
26. İnternet: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, “Güneş Enerjisi ve Teknolojileri”, http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx (2014).
27. Kumbasar, A., “DA çevirici temelli fotovoltaik elektrik üretim sistemlerinin incelenmesi ve simülasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 33 (2010).
28. Salas, V., Ol’as, E., Barrado, A., and La’zaro, A., (2006). “Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems”, **Solar Energy**, 11 (90): 1555-1578 (2006).
29. Özdemir, Ş., “Fotovoltaik sistemler için mikrodenetleyicili en yüksek güç noktasını izleyen bir konvertörün gerçekleştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 19-22 (2007).
30. Elmas, Ç., “Bulanık Mantık Denetleyiciler (Kuram, Uygulama, Sinirsel Bulanık Mantık)”, **Seçkin Yayıncılık**, Ankara, 29-35 (2003).
31. İnternet: eMathTeacher: Mamdani's Fuzzy Inference Method, “Membership Functions”, http://www.dma.fi.upm.es/java/fuzzy/fuzzyinf/funpert_en.htm (2013).
32. Salam, Z., Ahmed, J. and Merugu, B.S., “The application of soft computing methods for MPPT of PV system: A technological and status review”, **Applied Energy**, 107: 135-148 (2013).
33. Tamer, S. ve Karakuzu, C., “Parçacık sürüsü optimizasyon algoritması ve benzetim örnekleri”, **ELECO 2006**, Bursa, 302-306 (2006).
34. Purnama, I., Yu-Kang, L. and Huang-Jen, C., “A fuzzy control maximum power point tracking photovoltaic system”, **Fuzzy Systems (FUZZ)**, 2432-2439 (2011).
35. Fu, Q. and Tong, N., “A complex-method-based PSO algorithm for the maximum power point tracking in photovoltaic system”, **Information Technology and Computer Science (ITCS)**, 134-137 (2010).

EK AÇIKLAMAR A.

**YSA EĞİTİM VERİLERİ, YSA TEST VERİLERİ VE YSA TARAFINDAN
EĞİTİLEN AĞIN KATMANLAR ARASI AĞIRLIK DEĞERLERİ,
TASARLANAN BULANIK MANTIK SİSTEMİN GİRİŞ, ÇIKIŞ VE KURAL
TABLOSU BİLGİLERİ, BULANIK MANTIK TARAFINDAN
HESAPLANAN GERÇEK ÇIKTI DEĞERLERİ**

Çizelge Ek A.1. Normalize edilmiş eğitim verilerinin giriş ve çıkış şeklinde hazırlanması.

Normalize Edilmiş Eğitim Giriş Verisi						
G_egitim =[0.1 0.122857143 0.145714286 0.176190476 0.206666667 0.237142857						
0.267619048	0.275238095	0.29047619	0.305714286	0.320952381	0.343809524	
0.359047619	0.381904762	0.404761905	0.42	0.427619048	0.435238095	
0.465714286	0.503809524	0.541904762	0.557142857	0.564761905	0.564761905	
0.564761905	0.58	0.595238095	0.61047619	0.633333333	0.640952381	
0.648571429	0.656190476	0.671428571	0.686666667	0.701904762	0.724761905	
0.747619048	0.781904762	0.816190476	0.816190476	0.816190476	0.816190476	
0.816190476	0.808571429	0.800952381	0.793333333	0.793333333	0.827619048	
0.861904762	0.86952381	0.877142857	0.884761905	0.9	0.9	0.9
0.86952381	0.854285714	0.839047619	0.831428571	0.823809524	0.846666667	
0.861904762	0.86952381	0.877142857	0.861904762	0.846666667	0.846666667	
0.839047619	0.831428571	0.831428571	0.823809524	0.823809524	0.823809524	
0.816190476	0.816190476	0.808571429	0.747619048	0.732380952	0.732380952	
0.793333333	0.694285714	0.679047619	0.663809524	0.648571429	0.648571429	
0.633333333	0.602857143	0.58	0.557142857;	0.758657244	0.768551237	
0.77844523	0.791166078	0.802473498	0.810954064	0.819434629	0.822261484	
0.823674912	0.832155477	0.84204947	0.849116608	0.856183746	0.859010601	
0.861837456	0.868904594	0.875971731	0.878798587	0.880212014	0.884452297	
0.887279152	0.891519435	0.89434629	0.892932862	0.892932862	0.895759717	
0.897173145	0.898586572	0.9	0.892932862	0.884452297	0.878798587	
0.873144876	0.867491166	0.860424028	0.850530035	0.840636042	0.833568905	
0.827915194	0.813780919	0.799646643	0.78975265	0.77844523	0.761484099	
0.744522968	0.697879859	0.706360424	0.693639576	0.6795053	0.663957597	
0.648409894	0.637102473	0.627208481	0.613074205	0.598939929	0.583392226	
0.569257951	0.548056537	0.526855124	0.5	0.473144876	0.45335689	0.432155477
0.418021201	0.403886926	0.379858657	0.354416961	0.333215548	0.312014134	
0.289399293	0.266784452	0.246996466	0.227208481	0.208833922	0.189045936	
0.170671378	0.16360424	0.122614841	0.118374558	0.114134276	0.11130742	
0.102826855	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1]	

Çizelge Ek A.1. (devam ediyor.)

Normalize Edilmiş Eğitim Çıkış Verisi												
C_egitim=[0.15 0.175 0.225 0.25 0.275 0.325 0.35 0.375 0.425 0.45 0.5 0.525												
0.575 0.6 0.65 0.65 0.7 0.725 0.75 0.775 0.8 0.825 0.825 0.85 0.85 0.875 0.875												
0.875 0.875 0.875 0.875 0.875 0.875 0.9 0.9 0.875 0.9 0.875 0.875 0.9 0.9 0.9 0.9												
0.9 0.9 0.9 0.9 0.875 0.9 0.875 0.9 0.9 0.875 0.875 0.875 0.9 0.875 0.875 0.875 0.9												
0.875 0.875 0.875 0.9 0.875 0.875 0.875 0.875 0.875 0.875 0.775 0.5 0.5 0.5 0.325												
0.1 0.15 0.325 0.325 0.525 0.625 0.675 0.475 0.5 0.5 0.375 0.1]												

Çizelge Ek A.2. Normalize edilmiş test verilerinin giriş ve çıkış şeklinde hazırlanması.

Normalize Edilmiş Test Giriş Verisi					
G_test=[0.1 0.126315789 0.152631579 0.184210526 0.215789474 0.242105263					
0.268421053 0.294736842 0.321052632 0.347368421 0.373684211 0.4					
0.426315789 0.457894737 0.489473684 0.531578947 0.573684211 0.589473684					
0.605263158 0.621052632 0.636842105 0.689473684 0.742105263 0.773684211					
0.805263158 0.821052632 0.836842105 0.836842105 0.836842105 0.836842105					
0.836842105 0.847368421 0.857894737 0.831578947 0.805263158 0.826315789					
0.847368421 0.852631579 0.857894737 0.852631579 0.889473684 0.894736842					
0.9 0.894736842 0.889473684 0.857894737 0.868421053 0.863157895					
0.857894737 0.836842105 0.815789474 0.810526316 0.805263158 0.794736842					
0.784210526 0.773684211 0.763157895 0.752631579 0.742105263 0.726315789					
0.710526316 0.7 0.689473684 0.678947368 0.668421053 0.652631579					
0.636842105 0.615789474 0.594736842 0.568421053 0.542105263 0.521052632					
0.5 0.478947368 0.457894737 0.415789474 0.394736842 0.331578947					
0.305263158 0.278947368 0.273684211 0.268421053 0.268421053 0.268421053					
0.252631579 0.236842105 0.247368421; 0.87 0.871428571 0.872857143					
0.878571429 0.884285714 0.884285714 0.884285714 0.89 0.894285714					
0.895714286 0.897142857 0.898571429 0.898571429 0.9 0.898571429					
0.895714286 0.891428571 0.891428571 0.891428571 0.885714286 0.881428571					
0.877142857 0.872857143 0.868571429 0.864285714 0.848571429 0.831428571					
0.82 0.81 0.8 0.791428571 0.787142857 0.782857143 0.765714286 0.748571429					

Çizelge Ek A.2. (devam ediyor.)

0.731428571 0.715714286 0.695714286 0.675714286 0.658571429 0.642857143 0.622857143 0.604285714 0.582857143 0.562857143 0.54 0.517142857 0.5 0.484285714 0.47 0.455714286 0.438571429 0.421428571 0.4 0.377142857 0.355714286 0.334285714 0.314285714 0.294285714 0.275714286 0.257142857 0.237142857 0.215714286 0.197142857 0.177142857 0.162857143 0.147142857 0.135714286 0.124285714 0.12 0.114285714 0.108571429 0.104285714 0.102142857 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.1]
Normalize Edilmiş Test Çıkış Verisi
C_test =[0.15 0.2 0.225 0.25 0.275 0.325 0.35 0.375 0.425 0.45 0.475 0.525 0.55 0.6 0.625 0.65 0.7 0.725 0.75 0.775 0.8 0.825 0.825 0.825 0.85 0.85 0.85 0.875 0.875 0.875 0.875 0.875 0.9 0.875 0.9 0.875 0.9 0.875 0.875 0.9 0.875 0.875 0.9 0.9 0.9 0.875 0.9 0.9 0.875 0.9 0.875 0.9 0.875 0.875 0.9 0.9 0.875 0.875 0.875 0.9 0.875 0.9 0.875 0.9 0.9 0.9 0.9 0.9 0.875 0.9 0.775 0.5 0.5 0.475 0.3 0.1 0.1 0.25 0.3 0.45 0.625 0.625 0.475 0.35 0.5 0.35 0.1]

Çizelge Ek A.3. Eğitilen ağıın katmanlar arası ağırlık değerleri.

Layer 0		
Layer 1		
From Neuron To Neuron	(0 ---> 4) :	Weight : 0.332456
From Neuron To Neuron	(1 ---> 4) :	Weight : -2.065875
From Neuron To Neuron	(2 ---> 4) :	Weight : 12.889664
From Neuron To Neuron	(3 ---> 4) :	Weight : -11.082479
From Neuron To Neuron	(0 ---> 5) :	Weight : 1500.000000
From Neuron To Neuron	(1 ---> 5) :	Weight : 1500.000000
From Neuron To Neuron	(2 ---> 5) :	Weight : 1500.000000
From Neuron To Neuron	(3 ---> 5) :	Weight : 106.316261
From Neuron To Neuron	(0 ---> 6) :	Weight : 1494.946167
From Neuron To Neuron	(1 ---> 6) :	Weight : -355.408630
From Neuron To Neuron	(2 ---> 6) :	Weight : 7.120039

Çizelge Ek A.3. (devam ediyor.)

From Neuron To Neuron	(3 ---> 6) :	Weight : 49.851021
From Neuron To Neuron	(0 ---> 7) :	Weight : -0.268412
From Neuron To Neuron	(1 ---> 7) :	Weight : -0.176228
From Neuron To Neuron	(2 ---> 7) :	Weight : 19.516331
From Neuron To Neuron	(3 ---> 7) :	Weight : -6.860329
Layer 2		
From Neuron To Neuron	(0 ---> 9) :	Weight : -321.398926
From Neuron To Neuron	(1 ---> 9) :	Weight : 0.979498
From Neuron To Neuron	(2 ---> 9) :	Weight : -4.838408
From Neuron To Neuron	(3 ---> 9) :	Weight : 133.927032
From Neuron To Neuron	(4 ---> 9) :	Weight : 4.028746
From Neuron To Neuron	(0 ---> 10) :	Weight : 1499.727661
From Neuron To Neuron	(1 ---> 10) :	Weight : -5.153610
From Neuron To Neuron	(2 ---> 10) :	Weight : -6.870474
From Neuron To Neuron	(3 ---> 10) :	Weight : 19.061949
From Neuron To Neuron	(4 ---> 10) :	Weight : -9.361605
From Neuron To Neuron	(0 ---> 11) :	Weight : -529.048828
From Neuron To Neuron	(1 ---> 11) :	Weight : 2.808225
From Neuron To Neuron	(2 ---> 11) :	Weight : -8.443853
From Neuron To Neuron	(3 ---> 11) :	Weight : 193.855515
From Neuron To Neuron	(4 ---> 11) :	Weight : 3.486003
From Neuron To Neuron	(0 ---> 12) :	Weight : 10.144209
From Neuron To Neuron	(1 ---> 12) :	Weight : -1.532240
From Neuron To Neuron	(2 ---> 12) :	Weight : -1.687279
From Neuron To Neuron	(3 ---> 12) :	Weight : 3.205895
From Neuron To Neuron	(4 ---> 12) :	Weight : -4.864110
From Neuron To Neuron	(0 ---> 13) :	Weight : 1499.707886
From Neuron To Neuron	(1 ---> 13) :	Weight : 3.061504
From Neuron To Neuron	(2 ---> 13) :	Weight : -1.938076
From Neuron To Neuron	(3 ---> 13) :	Weight : 49.359642
From Neuron To Neuron	(4 ---> 13) :	Weight : 1.970217

Çizelge Ek A.3. (devam ediyor.)

From Neuron To Neuron	(0 ---> 14) :	Weight : -385.971649
From Neuron To Neuron	(1 ---> 14) :	Weight : -4.134738
From Neuron To Neuron	(2 ---> 14) :	Weight : -9.879704
From Neuron To Neuron	(3 ---> 14) :	Weight : 142.848480
From Neuron To Neuron	(4 ---> 14) :	Weight : -3.664415
Layer 3		
From Neuron To Neuron	(0 ---> 16) :	Weight : -0.684017
From Neuron To Neuron	(1 ---> 16) :	Weight : 6.101799
From Neuron To Neuron	(2 ---> 16) :	Weight : -1.445944
From Neuron To Neuron	(3 ---> 16) :	Weight : 21.324438
From Neuron To Neuron	(4 ---> 16) :	Weight : 0.285494
From Neuron To Neuron	(5 ---> 16) :	Weight : 26.900692
From Neuron To Neuron	(6 ---> 16) :	Weight : -9.619514
From Neuron To Neuron	(0 ---> 17) :	Weight : 0.299107
From Neuron To Neuron	(1 ---> 17) :	Weight : 1.178952
From Neuron To Neuron	(2 ---> 17) :	Weight : 0.228986
From Neuron To Neuron	(3 ---> 17) :	Weight : 9.473493
From Neuron To Neuron	(4 ---> 17) :	Weight : 1.039193
From Neuron To Neuron	(5 ---> 17) :	Weight : -0.984164
From Neuron To Neuron	(6 ---> 17) :	Weight : -4.724761
From Neuron To Neuron	(0 ---> 18) :	Weight : 0.450580
From Neuron To Neuron	(1 ---> 18) :	Weight : 2.079247
From Neuron To Neuron	(2 ---> 18) :	Weight : 0.605968
From Neuron To Neuron	(3 ---> 18) :	Weight : -18.614180
From Neuron To Neuron	(4 ---> 18) :	Weight : 0.793968
From Neuron To Neuron	(5 ---> 18) :	Weight : 0.442830
From Neuron To Neuron	(6 ---> 18) :	Weight : -3.348782
From Neuron To Neuron	(0 ---> 19) :	Weight : 1.114613
From Neuron To Neuron	(1 ---> 19) :	Weight : 2.246694
From Neuron To Neuron	(2 ---> 19) :	Weight : 2.043567
From Neuron To Neuron	(3 ---> 19) :	Weight : -8.065510

Çizelge Ek A.3. (devam ediyor.)

From Neuron To Neuron	(4 ---> 19) :	Weight : 0.937548
From Neuron To Neuron	(5 ---> 19) :	Weight : -1.044256
From Neuron To Neuron	(6 ---> 19) :	Weight : -2.746543
Layer 4		
From Neuron To Neuron	(0 ---> 21) :	Weight : 0.632420
From Neuron To Neuron	(1 ---> 21) :	Weight : 2.725236
From Neuron To Neuron	(2 ---> 21) :	Weight : 0.550188
From Neuron To Neuron	(3 ---> 21) :	Weight : 0.539217
From Neuron To Neuron	(4 ---> 21) :	Weight : -0.156630

Çizelge Ek A.4. Tasarlanan bulanık mantık sistemin giriş, çıkış ve kural tablosu bilgileri.

<p>[System] Name='bulanik2 ' Type='mamdani ' Version=2.0 NumInputs=2 NumOutputs=1 NumRules=25 AndMethod='min ' OrMethod='max ' ImpMethod='min ' AggMethod='max ' DefuzzMethod='centroid'</p>
<p>[Input1] Name='Sicaklık(T) ' Range=[-30 60] NumMFs=5 MF1='Soguk': 'trimf', [-30 -30 0] MF2='AzSicak': 'trimf', [-15 0 15] MF3='Sicak': 'trimf', [0 15 30] MF4='OrtaSicak': 'trimf', [15 30 45] MF5='CokSicak': 'trimf', [30 60 60]</p>
<p>[Input2] Name='Isinim(G) ' Range=[0 1000] NumMFs=5 MF1='Gunessiz': 'trimf', [0 0 250] MF2='AzGunesli': 'trimf', [150 325 500] MF3='OrtaGunesli': 'trimf', [400 575 750] MF4='Gunesli': 'trimf', [650 825 1000] MF5='CokGunesli': 'trimf', [750 1000 1000]</p>

Çizelge Ek A.4. (devam ediyor.)

[Output1]	
Name='Akim'	
Range=[0 8.37]	
NumMFs=5	
MF1='CokKucukAkim': 'trimf', [0 0 2.09]	
MF2='KucukAkim': 'trimf', [1.5 2.84 4.18]	
MF3='OrtaAkim': 'trimf', [3.59 4.93 6.27]	
MF4='BuyukAkim': 'trimf', [5.68 7.025 8.37]	
MF5='CokBuyukAkim': 'trimf', [7.77 8.37 8.37]	
[Rules]	
1 1, 1 (1) : 1	
1 2, 2 (1) : 1	
1 3, 2 (1) : 1	
1 4, 3 (1) : 1	
1 5, 4 (1) : 1	
2 1, 1 (1) : 1	
2 2, 2 (1) : 1	
2 3, 3 (1) : 1	
2 4, 3 (1) : 1	
2 5, 4 (1) : 1	
3 1, 1 (1) : 1	
3 2, 2 (1) : 1	
3 3, 3 (1) : 1	
3 4, 4 (1) : 1	
3 5, 4 (1) : 1	
4 1, 2 (1) : 1	
4 2, 3 (1) : 1	
4 3, 4 (1) : 1	
4 4, 4 (1) : 1	
4 5, 5 (1) : 1	
5 1, 2 (1) : 1	
5 2, 3 (1) : 1	
5 3, 4 (1) : 1	
5 4, 5 (1) : 1	
5 5, 5 (1) : 1	

Çizelge Ek A.5. Bulanık mantık tarafından hesaplanan gerçek çıktı değerleri.

Imax = [1,158 1,225 1,345 1,567 1,610 1,790 1,901 2,00 2,250 2,350 2,489 2,610 2,820 2,893 3,150 3,161 3,321 3,387 3,438 3,621 3,710 3,800 3,800 3,910 3,910 4,00 4,00 4,00 4,00 4,00 4,00 4,00 4,00 4,00 4,00 4,00 4,00 4,00 4,120 4,120 4,120 4,120 4,120 4,120 4,120 4,120 4,010 4,120 4,010 4,120 4,120 4,010 4,010 4,010 4,010 4,010 4,010 4,010 4,010 4,010 4,010 4,010 4,010 4,010 4,010 4,010 4,010 4,010 4,010 3,594 2,520 2,520 2,520 1,815 0,885 1,100 1,720 1,720 2,570 2,990 3,312 2,300 2,480 2,480 2,010 0,850]
--

ÖZGEÇMİŞ

İpek ÇETİNBAŞ 1989 yılında Eskişehir’de doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. Eskişehir Atatürk Endüstri Meslek Lisesi Elektrik Bölümü’nden birincilikle mezun oldu. 2006 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü’nde öğrenime başlayıp 2011 yılında yüksek onur derecesi ile fakülte birincisi olarak mezun oldu. Lisans eğitimine paralel olarak 2007 yılında Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi İşletme Fakültesine başladı ve 2009 yılında ön lisans diploması ile mezun oldu. 2011 yılında Karabük Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünde Yüksek lisans eğitimine başladı ve Ocak 2014’de eğitimini tamamladı. Şu an Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü
26480 ESKİŞEHİR

Tel : (539) 527 9176

E-posta : ipekcetinbas@ogu.edu.tr