

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNİN PERFORMANS TAHMİNİ İÇİN YAPAY
SİNİR AĞLARI İLE MODELLENMESİ VE VERİMLİLİĞİN
İNCELENMESİ**

YASİN İÇEL

DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK VE ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

TEMMUZ, 2019

Tezin Başlığı : Güneş Enerji Sistemlerinin Performans Tahmini İçin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi ve Verimliliğin İncelenmesi
Tezi Hazırlayan : Yasin İÇEL
Sınav Tarihi : 30 Temmuz 2019

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Elektrik – Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jüri yeleri

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet Salih MAMIş
İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Mslm ARKAN
İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet Emin TAĞLUK
İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Ertuğrul AM
Kırıkkale Üniversitesi

Prof. Dr. Seydi Vakkas ÜSTÜN
Adıyaman Üniversitesi

Prof. Dr. Halil İbrahim ADIGÜZEL
Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Doktora Tezi olarak sunduğum “*Güneş Enerji Sistemlerinin Performans Tahmini İçin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi ve Verimliliğın İncelenmesi*” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.

Yasin İÇEL

ÖZET

Doktora Tezi

GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİNİN PERFORMANS TAHMİNİ İÇİN YAPAY SINIR AĞLARI İLE MODELLENMESİ VE VERİMLİLİĞİN İNCELENMESİ

Yasin İÇEL

İnönü Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

165 + xiv sayfa

2019

Danışman: Prof. Dr. Mehmet Salih MAMİŞ

Fotovoltaik panel uygulamalarındaki en büyük problemlerden biri ilk kurulum aşamasında sahip oldukları yüksek maliyetlerdir. Fotovoltaik santraller ile ilgili projelendirme ve yatırımlar için enerji santralinin tesis edileceği bölgenin güneş enerjisi potansiyelinin önceden bilinmesi son derece önem arz etmektedir. Fotovoltaik panellerin ürettiği elektrik enerjisi miktarı, başta güneş ışınımı olmak üzere, hava sıcaklığı, nem oranı, rüzgâr hızı ve fotovoltaik panel sıcaklığına bağlıdır. Fotovoltaik uygulamalarına ilişkin projelendirme ve planlama çalışmalarında kullanılacak panellerin çıkış yüklerini önceden bilmek daha doğru bir maliyet yapılandırması sağlayacağından hatalı yatırımlar önlenmiş olacak ve ülke bütçesine katma değer sağlanacaktır. Bunun için panellerin işletileceği bölgeye ait standart olmayan test koşullarını içeren meteorolojik parametrelerin panel gücü üzerindeki etkilerinin önceden saptanması önem teşkil etmektedir.

Bu tez çalışmasında çevresel faktörler açısından birbirinden farklı üç bölgede (Adıyaman-Malatya-Şanlıurfa) kurulan ölçüm istasyonları ile çevresel faktörler (güneş ışınımı, sıcaklık, rüzgâr, nem, PV panel sıcaklığı) ve fotovoltaik panellerden elde edilen güç değerleri 1 yıl süre ile ölçülerek kaydedilmiştir. Oluşturulan büyük veri seti üzerinde Yapay Sinir Ağları (YSA) algoritmaları kullanılarak üretilecek güç tahmini için modelleme yapılmıştır. Eğitilen YSA modellerinde %99.93 oranında doğruluk ile tahmin gerçekleştirilmiştir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü verileri referans alınarak Adıyaman ili verileri eğitim için kullanılarak YSA modelleri eğitilmiş ve Malatya ile Şanlıurfa verileri test verileri olarak kullanılarak yüksek oranda doğrulukla tahminleme gerçekleştirilmiştir. Eğitilen YSA algoritmaları modelinde, Adıyaman Meteoroloji Müdürlüğü verileri kullanılarak yüksek oranda doğruluk ile güç tahmini gerçekleştirilmiştir. Eğitilen YSA modeli ile Destek Vektör Regresyon modeli sonuçları ile karşılaştırma yapılmış ve YSA ile daha yüksek doğruluk ile tahmin gerçekleştiği görülmüştür. Ayrıca meteorolojik verilerin her birinin etkisi ile veri toplama sıklığının YSA sonuçları üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Çalışma sonucunda eğitilen yapay sinir ağları modelleri ile dünyanın herhangi bir yerindeki farklı bölgelere ait sıcaklık, nem, rüzgâr, güneş ışınımı gibi meteorolojik parametreleri kullanılarak tesis edilmek istenen fotovoltaik enerji sistemleri için güç tahmini yüksek oranda bir doğrulukla tahmin edilebilecektir.

ANAHTAR KELİMELELER: Çevresel faktörler, fotovoltaik, verim, yenilenebilir enerji, Yapay Sinir Ağları

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

MODELING SOLAR SYSTEMS USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR PERFORMANCE PREDICTION AND INVESTIGATION EFFICIENCY

Yasin İÇEL

İnönü University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical-Electronics Engineering

165 + xiv pages

2019

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet Salih MAMİŞ

One of the biggest problems in photovoltaic panel applications is that they have high costs in the initial installation stage. It is extremely important to know for the project and investments regarding photovoltaic power plants and the solar energy potential of the region where the power plant will be installed. The amount of electric energy produced by photovoltaic panels depends on air temperature, humidity rate, wind velocity and photovoltaic module temperature, and particularly solar radiation. Since knowing the output powers of the panels to be used in project and planning works for photovoltaic applications will provide a more accurate cost configuration, wrong investments will be avoided and the country budget will benefit from added value. Thus, it is very important to determine the effects of meteorological parameters involving non-standard test conditions of the region where panels will be operated on the panel power.

In this thesis, by building measuring stations in three regions (Adıyaman-Malatya-Şanlıurfa) where environmental factors are different and the environmental factors (solar radiation, temperature, wind, humidity, PV module temperature) and output power of photovoltaic panels were measured and recorded for a year. By using Artificial Neural Network (ANN) algorithms on the large data set a model was obtained for estimating the power to be generated. In the trained ANN models, the estimation accuracy was 99.93%. By taking the data of the General Directorate of Meteorology as reference, models of ANN were trained by using Adıyaman province; and by using Malatya and Şanlıurfa data as test data, highly estimation accuracy was achieved. In the trained ANN models, the estimation accuracy was highly by using data of the Adıyaman Directorate of Meteorology. The artificial neural networks model was compared with the results of the Support Vector Regression model and it was found that the estimation was realized with higher accuracy with ANN. In addition, the effect of each meteorological data and the frequency of data collection on the ANN results were examined.

With the artificial neural network models trained as a result of this study, the energy efficiency for the photovoltaic energy systems desired to be established by using meteorological parameters such as temperature, humidity, wind and solar radiation of various regions anywhere in the world can be estimated accurately.

KEYWORDS: Artificial Neural Networks, efficiency, environmental factors, photovoltaic, renewable energy.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının gerçekleşmesinde yardımlarını esirgemeyen, çalışmalarım da bana daima yol gösteren, değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Mehmet Salih MAMİŞ'e;

Doktora eğitimim boyunca her türlü yardım ve desteklerini gördüğüm İnönü Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği değerli öğretim üyelerine ve yüksek lisans ile doktora eğitimim süresince daima yanımda olan ve destekleyen Sayın Dr. Öğretim Üyesi Cemal KELEŞ'e;

Doktora tez çalışmam süresince ölçüm istasyonlarının kurulması ve modellenmesi aşamalarında yardım ve desteklerini gördüğüm Adıyaman Üniversitesi Öğretim Üyelerinden Sayın Doç. Dr. Abdulcelil BUĞUTEKİN, Sayın Öğr. Grv. Dr. M. İsmail GÜR SOY ve Sayın Prof. Dr. S. Vakkas ÜSTÜN'e;

Doğduğum günden bu güne kadar daima yanımda olan ve sevgi ve dualarıyla destekleyen Annem ve Rahmetli Babam'a;

Tüm hayatım boyunca olduğu gibi doktora çalışmalarım süresince de benden desteğini esirgemeyen değerli eşim Öğr. Grv. Dr. Sema İÇEL'e, ayrıca daima sevgileriyle yanımda olan çocuklarım Yusuf Can ve Saadet Belinay'a teşekkür ederim.

Bu araştırma projesi, Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (ADYÜBAP) MÜFMAP/2015-0011 nolu proje ile desteklenmiştir.

Yasin İÇEL

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel Bilgiler	1
1.2. Literatür Özeti	7
1.3. Tezin Amacı	13
2. FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ	15
2.1. Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı	16
2.2. Fotovoltaik Hücrelerin Eşdeğer Elektriksel Devre Modeli	20
2.2.1. Tek Diyotlu PV Hücre Elektriksel Eşdeğer Devre Modeli	20
2.2.2. İki Diyotlu PV Hücre Elektriksel Eşdeğer Devre Modeli	25
2.3. Fotovoltaik Hücre Çeşitleri	26
2.3.1. Monokristal Silisyum Fotovoltaik Hücreler	27
2.3.2. Polikristal Silisyum Fotovoltaik Hücreler	29
2.3.3. İnce (Thin) Film Fotovoltaik Hücreler	30
2.3.3.1. Amorf Silisyum İnce Film Fotovoltaik Hücreler	31
2.3.3.2. Kadmiyum Tellürid (CdTe) İnce Film Fotovoltaik Hücreler	33
2.3.3.3. Bakır İndiyum Diselenoid (CuInSe ₂) İnce Film Fotovoltaik Hücreler	33
2.3.3.4. Galyum Arsenit (GaAs) İnce Film Fotovoltaik Hücreler	34
2.3.4. Odaklamalı Fotovoltaik Hücre Teknolojisi	35
2.3.5. Ar-Ge Aşasında Olan Yeni Fotovoltaik Hücre Teknolojileri	36
2.4. Fotovoltaik Güneş Enerji Sistemleri	38
2.4.1. Şebekeden Bağımsız (Off-Grid) Fotovoltaik Sistemler	39
2.4.2. Şebeke Bağlantılı (On-Grid) Fotovoltaik Sistemler	40
2.4.3. Hibrit Fotovoltaik Sistemler	42

2.5.	Fotovoltaik Panellerin Olumlu ve Olumsuz Özellikleri	43
2.5.1.	Olumlu Özellikleri	43
2.5.2.	Olumsuz Özellikleri.....	43
3.	FOTOVOLTAİK PANELLERDE VERİM	45
3.1.	Çevresel Parametrelerin Fotovoltaik Panel Verimine Etkileri	47
3.1.1.	Güneş Işınım Şiddetinin Etkileri	47
3.1.2.	Çevre Sıcaklığı ve PV Hücre Sıcaklığının Etkileri	50
3.1.3.	Nemin Etkileri	51
3.1.4.	Rüzgâr Hızının Etkileri	52
3.1.5.	Toz ve Kirelenmenin Etkileri	52
3.1.6.	Kar ve Buz Etkisi	53
3.1.7.	Gölgelenmenin Etkileri	53
3.2.	Hücrel Parametrelerin Güneş Panellerinin Verimine Etkileri	54
3.2.1.	Yüzey Parametrelerinin Etkileri	54
3.2.2.	Spektral Etki	54
3.2.3.	Foton Açısı Etkisi	55
3.2.4.	Güneş Pili İç Seri Direnç Etkisi	55
3.2.5.	Fotovoltaik Panel Kalınlığının Etkisi	56
3.3.	PV Panel Seri-Paralel Bağlantısının Verime Etkisi	56
3.4.	İnverter Etkisi	58
4.	TAHMİN YÖNTEMLERİ VE YAPAY SINIR AĞLARI	59
4.1.	YSA'nın Tarihsel Gelişimi	60
4.2.	Biyolojik Sinir Hücresi Yapısı	61
4.3.	Yapay Sinir Ağını Oluşturan Birimler	63
4.4.	Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması	66
4.4.1.	Yapısal sınıflandırma	66
4.4.1.1.	İleri Beslemeli Ağ	66
4.4.1.2.	Geri Beslemeli Ağ	67
4.4.2.	Öğrenme Yöntemlerine Göre Sınıflandırma	67
4.4.2.1.	Öğretmeli Öğrenme Yöntemi	68
4.4.2.2.	Öğretmensiz öğrenme yöntemi	68

5.	UYGULAMA	69
5.1.	Ölçüm Yapılan İllerin Özellikleri	69
5.1.1.	Adıyaman İli	69
5.1.2.	Malatya İli	70
5.1.3.	Şanlıurfa İli	71
5.2.	Ölçüm İstasyonlarının Kurulması	72
5.2.1.	Ana ve Bölgesel Terminal Ölçüm Cihazlarının Yapısı	76
5.2.1.1.	Güç Besleme Devresi	76
5.2.1.2.	Hafıza Kartı Uygulama Devresi	78
5.2.1.3.	LCD Ekran Uygulama Devresi	79
5.2.1.4.	Mikrodenetleyici Bağlantı Devresi	79
5.2.1.5.	Sistem Saat Devresi	82
5.2.1.6.	SIM Kart Uygulama Devresi	82
5.2.1.7.	Sıcaklık Ölçüm Devresi	83
5.2.1.8.	Nem Ölçüm Devresi	84
5.2.1.9.	Rüzgâr Hızı Ölçüm Devresi	84
5.2.1.10.	Güneş Işınım Şiddeti Ölçüm Devresi	85
5.2.1.11.	PV Sıcaklık Ölçüm Devresi	85
5.2.1.12.	Akım ve Gerilim Ölçüm Devresi	86
5.2.2.	Çevresel Faktörlerin Etkilerini Ölçmek İçin Kullanılan Propların Özellikleri	86
5.2.2.1.	Sıcaklık ve Nem Ölçüm Probu	87
5.2.2.2.	Güneş Işınım Şiddeti Ölçüm Probu	87
5.2.2.3.	Rüzgâr Hızı Ölçüm Probu	88
5.2.2.4.	Panel Sıcaklık Ölçüm Probu	89
5.3.	Ölçüm Sisteminin Çalışması	91
5.4.	Ölçüm Sisteminin Yazılımsal Yapısı	93
6.	YSA TAHMİN SONUÇLARI	95
6.1.	İllerin Tahmin Sonuçları (Modül-1)	95
6.2.	Referans İle Göre Diğer İllerin Tahmin Sonuçları (Modül-2)	105
6.3.	Performans Karşılaştırması	113
6.4.	Çevresel Parametrelerin Etkinlik Durumu	114
6.4.1.	Nem Parametresinin Etkisi	114

6.4.2.	Rüzgâr Hızı Parametresinin Etkisi	117
6.4.3.	PV Panel Sıcaklık Parametresinin Etkisi	120
6.5.	Veri Alma Sürelerinin Tahmin İşlemine Etkisi	123
6.5.1.	15 Dk Sıklıkla Elde Edilen Verilerle Tahmin	124
6.5.2.	30 Dk Sıklıkla Elde Edilen Verilerle Tahmin	126
6.5.3.	60 Dk Sıklıkla Elde Edilen Verilerle Tahmin	129
6.6.	Bölgesel Ölçüm İstasyonu Verilerinin Hassasiyeti	132
6.7.	Tahmin Yöntemlerinin Karşılaştırılması	136
6.8.	Ölçüm İstasyonlarında Üretilen Toplam Güç	139
7.	TARTIŞMA VE SONUÇ	143
8.	KAYNAKLAR	146
	ÖZGEÇMİŞ	158
	EKLER	160

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	PV hücre elektrik akım üretimi	16
Şekil 2.2.	Güneş pilinin katmanları	17
Şekil 2.3.	Fotovoltaik grup döngüsü	19
Şekil 2.4.	PV hücre ve modüle ait I-V eğrileri	19
Şekil 2.5.	PV hücrenin basitleştirilmiş eşdeğer devresi	21
Şekil 2.6.	PV hücrenin gerçek tek diyotlu elektriksel eşdeğer devre modeli.....	22
Şekil 2.7.	Fotovoltaik Hücrenin Güç-Gerilim Karakteristiği	25
Şekil 2.8.	İki diyotlu PV hücre elektriksel eşdeğer devre modeli	26
Şekil 2.9.	Monokristal silisyum dilimlerinin üretilmesi	27
Şekil 2.10.	Monokristal silisyum fotovoltaik hücre üretim aşamaları ...	28
Şekil 2.11.	Yansımayı önleyici piramit yapılı tabaka	29
Şekil 2.12.	Polikristal silisyum fotovoltaik panel üretim safhaları	30
Şekil 2.13.	Amorf silisyum ince film PV panel	31
Şekil 2.14.	Farklı türdeki ince film silisyum materyallerin soğurma katsayıları	32
Şekil 2.15.	Kadmiyum tellürid ince film PV panel	33
Şekil 2.16.	Bakır İndiyum Diselenid ince film PV panel	34
Şekil 2.17.	Galyum Arsenit ince film PV panel	35
Şekil 2.18.	Ar-Ge çalışmaları neticesinde ulaşılan fotovoltaik hücre verimlerinin yıllara göre değişimi	38
Şekil 2.19.	Şebeke bağlantısız FV santral bileşenleri genel yapısı	39
Şekil 2.20.	Şebeke bağlantılı FV santrale ait bileşenlerin genel yapısı ..	41
Şekil 2.21.	Hibrit FV santrale ait bileşenlerin genel yapısı	42
Şekil 3.1.	Güneş ışınımının fotovoltaik hücre I-V karakteristiğine etkisi	48
Şekil 3.2.	Güneş ışınımının fonksiyonu olarak ideal P-V karakteristiği	48
Şekil 3.3.	PV Panel verimin ortam sıcaklığıyla değişimi	50
Şekil 3.4.	Farklı PV panellerin paralel bağlantıdaki gerilim eşdeğeri ..	57
Şekil 3.5.	Farklı PV panellerin seri bağlantıdaki akım eşdeğeri	57
Şekil 4.1.	Biyolojik bir nöronun basitleştirilmiş modeli	61
Şekil 4.2.	Biyolojik sinir sisteminin blok diyagramı	61
Şekil 4.3.	Çok katmanlı yapay sinir ağlarının modeli	62
Şekil 4.4.	Temel yapay sinir ağları modeli	63
Şekil 4.5.	İleri beslemeli ağ modeli	66
Şekil 4.6.	Geri beslemeli ağ modeli	67
Şekil 5.1.	Adıyaman ili güneş enerjisi potansiyel atlası	69
Şekil 5.2.	Adıyaman ili global radyasyon değerler	69
Şekil 5.3.	Adıyaman ili güneşlenme süreleri	69
Şekil 5.4.	Malatya ili güneş enerjisi potansiyel atlası	70
Şekil 5.5.	Malatya ili global radyasyon değerler	70
Şekil 5.6.	Malatya ili güneşlenme süreleri	70
Şekil 5.7.	Şanlıurfa ili güneş enerjisi potansiyel atlası	71
Şekil 5.8.	Şanlıurfa ili global radyasyon değerler	71
Şekil 5.9.	Şanlıurfa ili güneşlenme süreleri	71
Şekil 5.10.	Terminal ölçüm istasyonları şematik gösterimi	73
Şekil 5.11.	Ana terminal veri toplama cihazı	74

Şekil 5.12.	Bölgesel ölçüm veri toplama cihazı	75
Şekil 5.13.	Besleme devresi (5 V)	77
Şekil 5.14.	Besleme devresi (+ 3,3 V)	77
Şekil 5.15.	Hafıza kartı uygulama devresi	78
Şekil 5.16.	LCD ekran uygulama devresi	79
Şekil 5.17.	Mikrodenetleyici pin diyagramı	80
Şekil 5.18.	Ana Terminal Mikrodenetleyici bağlantı devresi	81
Şekil 5.19.	Bölgesel Terminal Mikrodenetleyici bağlantı devresi	81
Şekil 5.20.	Saat devresi	82
Şekil 5.21.	Ana ve bölgesel terminaller SIM kart uygulama devresi	83
Şekil 5.22.	Bölgesel terminaller çevre sıcaklığı ölçüm devresi	83
Şekil 5.23.	Bölgesel terminaller nem ölçüm devresi	84
Şekil 5.24.	Bölgesel terminaller rüzgâr hızı ölçüm devresi	84
Şekil 5.25.	Bölgesel terminaller güneş ışınım şiddeti ölçüm devresi	85
Şekil 5.26.	Bölgesel terminaller güneş ışınım şiddeti ölçüm devresi	85
Şekil 5.27.	Bölgesel terminaller PV panel akım ve gerilim ölçüm devresi	86
Şekil 5.28.	Çevre sıcaklık ve nem ölçüm probu	87
Şekil 5.29.	Güneş ışınım şiddeti ölçüm probu	88
Şekil 5.30.	Rüzgâr hızı ölçüm probu	89
Şekil 5.31.	Panel sıcaklık ölçüm probu (termokupl)	89
Şekil 5.32.	Adıyaman ili terminal ölçüm istasyonu	90
Şekil 5.33.	Malatya ili terminal ölçüm istasyonu	90
Şekil 5.34.	Şanlıurfa ili terminal ölçüm istasyonu	90
Şekil 5.35.	Ölçüm sisteminin çalışma blok diyagramı	92
Şekil 5.36.	Ölçüm sisteminin yazılımsal yapısı	93
Şekil 6.1.	Adıyaman ili Ocak ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	97
Şekil 6.2.	Adıyaman ili Nisan ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	97
Şekil 6.3.	Adıyaman ili Ağustos ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	98
Şekil 6.4.	Adıyaman ili Ekim ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	98
Şekil 6.5.	Malatya ili Ocak ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	100
Şekil 6.6.	Malatya ili Nisan ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	100
Şekil 6.7.	Malatya ili Ağustos ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	101
Şekil 6.8.	Malatya ili Ekim ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	101
Şekil 6.9.	Şanlıurfa ili Ocak ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	103
Şekil 6.10.	Şanlıurfa ili Nisan ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	103
Şekil 6.11.	Şanlıurfa ili Ağustos ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	104
Şekil 6.12.	Şanlıurfa ili Ekim ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	104

Şekil 6.13.	Malatya ili Ocak ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	107
Şekil 6.14.	Malatya ili Nisan ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	107
Şekil 6.15.	Malatya ili Ağustos ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	108
Şekil 6.16.	Malatya ili Ekim ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	108
Şekil 6.17.	Şanlıurfa ili Ocak ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	110
Şekil 6.18.	Şanlıurfa ili Nisan ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	110
Şekil 6.19.	Şanlıurfa ili Ağustos ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	111
Şekil 6.20.	Şanlıurfa ili Ekim ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	111
Şekil 6.21.	Adıyaman ili Ocak ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	115
Şekil 6.22.	Adıyaman ili Nisan ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	115
Şekil 6.23.	Adıyaman ili Ağustos ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	116
Şekil 6.24.	Adıyaman ili Ekim ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	116
Şekil 6.25.	Adıyaman ili Ocak ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	118
Şekil 6.26.	Adıyaman ili Nisan ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	118
Şekil 6.27.	Adıyaman ili Ağustos ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	119
Şekil 6.28.	Adıyaman ili Ekim ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	119
Şekil 6.29.	Adıyaman ili Ocak ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	121
Şekil 6.30.	Adıyaman ili Nisan ayı YSA algoritma tahmin örnek grafiği	121
Şekil 6.31.	Adıyaman ili Ağustos ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	122
Şekil 6.32.	Adıyaman ili Ekim ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	122
Şekil 6.33.	Adıyaman ili Ocak ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	124
Şekil 6.34.	Adıyaman ili Nisan ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	125
Şekil 6.35.	Adıyaman ili Ağustos ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	125
Şekil 6.36.	Adıyaman ili Ekim ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	126
Şekil 6.37.	Adıyaman ili Ocak ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	127

Şekil 6.38.	Adıyaman ili Nisan ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	127
Şekil 6.39.	Adıyaman ili Ağustos ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	128
Şekil 6.40.	Adıyaman ili Ekim ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	128
Şekil 6.41.	Adıyaman ili Ocak ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	129
Şekil 6.42.	Adıyaman ili Nisan ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	130
Şekil 6.43.	Adıyaman ili Ağustos ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	130
Şekil 6.44.	Adıyaman ili Ekim ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	131
Şekil 6.45.	Meteoroloji Md. verileri kullanılarak tahmin edilen değerler ile ölçüm istasyonundan elde edilen gerçek değerlerin karşılaştırılması	135
Şekil 6.46.	Meteoroloji Md. tahmin verileri ile ölçüm istasyonundan elde edilen verilerin regresyon dağılımı	135
Şekil 6.47.	Adıyaman ili 01 Temmuz 2018 için gerçek değerler ile SVR sonuçlarının karşılaştırılması	137
Şekil 6.48.	Adıyaman ili SVR algoritma tahmin regresyon dağılımı	137
Şekil 6.49.	Adıyaman ili 01 Temmuz 2018 için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması	138
Şekil 6.50.	Adıyaman ili YSA algoritma tahmin regresyon dağılımı	138
Şekil 6.51.	Adıyaman ili için yıllık üretilen toplam güç gerçek değerler YSA sonuçlarının karşılaştırılması	140
Şekil 6.52.	Malatya için yıllık üretilen toplam güç gerçek değerler YSA sonuçlarının karşılaştırılması	141
Şekil 6.53.	Şanlıurfa ili için yıllık üretilen toplam güç gerçek değerler YSA sonuçlarının karşılaştırılması	142

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1.	Bazı bölgeler ve bazı ülkeler itibariyle dünyadaki toplam enerji tüketimi (MTEP)	2
Çizelge 1.2.	Türkiye elektrik enerjisi üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı (GWh)	3
Çizelge 2.1.	PV hücre teknolojilerinin karşılaştırılması	37
Çizelge 3.1.	Bazı yarıiletken enerji bant aralığının sıcaklıkla değişimi ...	51
Çizelge 4.1.	Biyolojik sinir ağı ve yapay sinir ağlarının karşılaştırılması	63
Çizelge 4.2.	Aktivasyon fonksiyonları	65
Çizelge 6.1.	Adıyaman ili YSA algoritma sonuçlarının karşılaştırılması..	96
Çizelge 6.2.	Malatya ili YSA algoritma sonuçlarının karşılaştırılması	99
Çizelge 6.3.	Şanlıurfa ili YSA algoritma sonuçlarının karşılaştırılması ...	102
Çizelge 6.4.	İllerin meteorolojik veri istatistikleri	105
Çizelge 6.5.	Adıyaman ili eğitim ve Malatya ili test YSA algoritma sonuçları	106
Çizelge 6.6.	Adıyaman ili eğitim ve Şanlıurfa ili test YSA algoritma sonuçları	109
Çizelge 6.7.	Tahmin için kullanılan tekniklerin performans karşılaştırması	113
Çizelge 6.8.	Adıyaman ili YSA algoritma sonuçları (Nem parametresi olmadan)	114
Çizelge 6.9.	Adıyaman ili YSA algoritma sonuçları (Rüzgâr hızı parametresi olmadan)	117
Çizelge 6.10.	Adıyaman ili YSA algoritma sonuçları (PV Sıcaklık parametresi olmadan)	120
Çizelge 6.11.	Adıyaman ili YSA algoritma sonuçları (15 dk)	124
Çizelge 6.12.	Adıyaman ili YSA algoritma sonuçları (30 dk)	126
Çizelge 6.13.	Adıyaman ili YSA algoritma sonuçları (60 dk)	129
Çizelge 6.14.	Adıyaman ili ölçüm istasyonu çevresel parametre verilerinin Meteoroloji Müd. verileri ile karşılaştırılması....	133

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

R_s	Seri direnç
R_p	Paralel direnç
I_{sc}	Foton akımı
I_d	Diyot akımı
I_p	Paralel kol akımı
I_0	Diyot ters yönde doyum akımı
n	Diyot kalite faktörü ($1 \leq n \leq 2$)
q	Elektron yükü ($1,60217646 \times 10^{-19}$ C)
k	Boltzmann sabiti ($1,3806503 \times 10^{-23}$ J/K)
G_{Tc}	Ölçülen güneş ışınım şiddeti (W/m^2)
T_c	Ölçülen sıcaklık (K)
α	Akım sıcaklık katsayısı
η	Fotovoltaik panel verimi
V_{oc}	Açık devre gerilimi
I_s	Kısa devre akımı
FF	Fill Faktörü
A_0	Diyot idealite faktörü
J_0	Diyot ters doyum akım yoğunluğu
E_g	Yasak enerji aralığı
eV	Elektro volt

Kısaltmalar

MTEP	Milyon ton petrol eşdeğeri
GWh	Giga Watt Saat
PV	Fotovoltaik
YSA	Yapay Sinir Ağları
m-Si	Monokristal Silisyum
p-Si	Polikristal Silisyum
CdTe	Kadmiyum Tellürid
a-Si	Amorf Silisyum
CuInSe ₂	Bakır İndiyum Diseleneid
CuInGaSe ₂	Bakır İndiyum Galyum Diseleneid
MGM	Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
TSE	Türkiye Standartları Enstitüsü

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bilgiler

Enerjinin günümüz dünyasında medeniyetin temel taşlarından ve sosyoekonomik, gelişmenin önemli bir bileşeni ve bireylerin yaşam standartlarının yükseltilmesinde çok önemli bir rolü bulunmaktadır. Özellikle Avrupa’da baş gösteren ve oradan da tüm dünyaya yayılan sanayi devrimi ile enerjinin vazgeçilmez potansiyel bir güç olduğunu kavranmış ve medeniyet ve güç göstergesi olarak başlayan enerji üretim ve tüketim serüveni, yerini zamanla mutlak bir ihtiyaç olmaya terk etmiştir. Kalkınmanın sürdürülebilmesi için kesintisiz, ucuz ve yüksek kalitede bir enerji arzına ihtiyaç bulunmaktadır. Dünya nüfusundaki hızlı artış, sanayileşmenin ve küreselleşmenin hızlanması, dünyadaki enerji ihtiyacını ve açığını da giderek arttırmaktadır. Günümüzde modern bilgi toplumunda; sanayi, teknoloji, iletişim, ulaşım, eğitim gibi hayatımızın vazgeçilmez unsurları haline gelmiş tüm faaliyetlerde ihtiyaç duyulan enerji, günümüzde en değerli ve en önemli bir kaynak haline gelmiştir [1,2].

Günlük hayatın her alanında etkinliğini gösteren enerji mekanik (potansiyel ve kinetik), elektrik, kimyasal, nükleer, ısı, jeotermal, hidrolik, biokütle, güneş, rüzgâr vb. formlarda kullanılmaktadır. Birçok kaynaktan farklı yöntemler kullanılarak enerji elde edilmektedir. Kaynaklar, yenilenemeyen enerji kaynakları ve yenilenebilir enerji kaynakları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Teorik olarak yakın bir gelecek zamanda tüketilebileceği öngörülen yenilenemeyen enerji kaynakları fosil kaynaklılar ve çekirdek kaynaklılar olarak iki farklı şekilde gruplandırılmaktadır [3]. Bu kaynaklardan, nükleer enerji üretiminde kullanılan uranyum çekirdek kaynaklılar grubunda yer alırken kömür, doğalgaz ve petrol ürünleri ise fosil kaynaklar grubunda yer almaktadır.

Sürdürülebilir kalkınma ile enerji arasındaki bağlantı, uzun yıllar enerjinin tüketicilere güvenli biçimde ulaştırılması çerçevesinde değerlendirilmiştir. Ancak, en çok kullanılan enerji kaynakları olan kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil kaynakların gün geçtikçe hızla azalmakta oluşu ve özellikle bu kaynakların neden olduğu çevresel problemler, hem bu kaynakların rasyonel ve ekonomik şekilde kullanım kavramını, hem de enerji verimliliği kavramını gündeme getirmiştir [4].

Dünya nüfusundaki çok hızlı artış ve bireylerin artan yaşam kalitesine bağlı olarak, 2050 yılına gelindiğinde dünya enerji ihtiyacının yaklaşık 3 katına çıkacağı

tahmin edilmektedir. Ancak enerji ihtiyacındaki bu artış hâlihazırda kullanılan konvansiyonel enerji kaynakları ile karşılanamamaktadır [5].

Çizelge 1.1’de Türkiye ve diğer bazı ülkelerdeki yıllık enerji tüketimlerinin kıyaslanması verilmiştir. Türkiye’de yıllık enerji tüketiminin gelişmiş ülkelere göre çok düşük olduğu ancak her geçen yıl arttığı görülmektedir.

Çizelge 1.1 Bazı bölgeler ve bazı ülkeler itibariyle dünyadaki toplam enerji tüketimi (MTEP) [6]

MTEP	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
ABD	2216.7	2161.0	2221.1	2246.2	2227.0	2228.0	2234.9
Kanada	323.2	319.9	331.5	335.4	331.1	339.0	348.7
Brezilya	276.6	283.5	294.3	301.8	299.1	293.0	294.4
Fransa	247.2	247.4	250.3	240.6	242.3	238.9	237.9
Almanya	317.0	321.3	330.7	317.2	323.3	328.2	335.1
Rusya Fed.	691.7	694.7	683.9	689.6	676.8	689.6	698.3
Türkiye	115.1	122.3	121.6	125.6	137.5	144.4	157.7
Çin	2690.1	2799.1	2907.0	2973.5	3009.8	3047.2	3132.2
Hindistan	570.7	600.3	623.6	666.8	686.9	722.3	753.7
Japonya	477.8	475.0	471.3	456.7	453.0	451.2	456.4
Güney Kore	273.0	276.3	276.7	279.3	284.9	292.2	295.9
OECD	5519.4	5463.5	5525.8	5481.1	5494.6	5549.8	5605.0
Non-OECD	6895.0	7125.5	7303.4	7472.8	7565.6	7708.7	7906.1
AB	1716.6	1700.8	1690.7	1626.7	1649.2	1666.4	1689.2
Toplam	12414.4	12589.0	12829.3	12953.9	13060.2	13258.5	13511.2

Ülkemizde 2016 sonu verilerine göre elektrik üretimi termik santrallerden %67.6, hidroelektrik santrallerden %24.6, yenilenebilir enerji kaynaklarından ise %7.8 oranında sağlanmıştır. 2002-2016 dönemi içerisinde termik ve hidrolik kaynaklı elektrik üretim oranları mevcut oranlara kıyasla çok fazla değişkenlik göstermezken rüzgâr ve jeotermal kaynaklı elektrik üretim oranları 2002 yılındaki değeri olan %0.1’lerden 2016 sonu itibarıyla %8’e kadar yükselmiştir [6]. Çizelge 1.2’de ülkemizde elektrik enerjisi üretiminde kullanılan birincil enerji kaynaklarının dağılımı ve oranları gösterilmektedir.

Çizelge 1.2. Türkiye elektrik enerjisi üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı (GWh) [6]

		2014		2015		2016	
BİRİNCİL ENERJİ KAYNAĞI		ELEKTRİK ÜRETİMİ (GWh)	TOPLAM ÜRETİM İÇİNDEKİ PAYI	ELEKTRİK ÜRETİMİ (GWh)	TOPLAM ÜRETİM İÇİNDEKİ PAYI	ELEKTRİK ÜRETİMİ (GWh)	TOPLAM ÜRETİM İÇİNDEKİ PAYI
KÖMÜR	Taşkömürü+ İthal Kömür+ Asfaltit	39647	%15.7	44830	%17.12	53778	%19.67
	Linyit	36615	%14.5	31336	%11.97	38460	%14.07
SIVI YAKITLAR	FUEL-OIL	1663	%0.66	980	%0.37	1103	%0.40
	MOTORİN	482	%0.19	1.244	%0.48	1548	%0.57
	LPG		%0.0		%0.0		%0.0
	Nafta		%0.0		%0.0	2	%0.0
DOĞALGAZ + LNG		120576	%47.9	99219	%37.9	87820	%32.1
YENİLENEBİLİR + ATIK		1433	%0.57	1758	%0.67	2179	%0.80
TERMİK		200417	%79.5	179366	%68.52	184889	%67.63
HİDROLİK		40645	%16.1	67146	%25.6	67268	%24.6
RÜZGÂR		8520	%3.4	11652	%4.45	15492	%5.67
JEOTERMAL		2364	%0.9	3424	%1.31	4767	%1.74
GÜNEŞ		17.4	%0.01	194	%0.07	972	%0.36
GENEL TOPLAM		251963	%100	261783	%100	273387	%100

Günümüzde elektrik enerjisi üretiminin büyük kısmı, kömür, petrol, odun, doğal gaz gibi fosil yakıtlardan elde edilen ısı enerjisinin kullanılmasıyla gerçekleştirilmektedir. Ancak ulaşılabilir fosil rezervlerindeki azalma ve bu yakıtların kullanılmasıyla ortaya çıkan atmosfere verilen SO_x , NO_x ile toz gibi hava kirletici emisyonlar sera etkisi yaratarak küresel ısınma ve iklim değişikliklerine neden olan CO_2 emisyonları çevreyi çok ciddi olumsuz yönde etkilemekte insan ve diğer canlıların hayatını tehdit etmektedir. Fosil kaynakları kullanımı, yerkürenin ortalama sıcaklığını son bin yılın en yüksek değerine ulaştırmış, yoğun hava kirliliğinin yanında milyarlarca dolar zarara neden olan sel, fırtına, deprem gibi doğal felaketlerin gözle görülür artmasına sebep olarak, dünya üzerinde yaşayan canlıların hayatlarını dolaylı ve direkt olarak etkilemektedir [7].

Ortalama küresel sıcaklığın bu ivmeyle artması halinde, kutuplardaki buzulları tetikleyeceği ve nihayetinde okyanuslara yakın yaşam alanlarının sular altında kalacağı bile önemsenen senaryolar arasında yer almaktadır. Fosil yakıt kaynaklar çoğunlukla sanayileri gelişmiş ülkeler tarafından kullanılmaktadır. ABD dünya fosil

enerji kaynaklarının yaklaşık %35'ini kullanmaktadır [8]. Dünyada teorik olarak petrol kaynaklarının 2050, doğal gaz kaynaklarının 2070 ve kömür kaynaklarının ise 2150 yılında tükeneceği beklenmektedir [9].

Bütün bu tehditler, ülkelerin enerji üretim yatırımlarının temiz odaklı olmasını zorunlu hale getirmektedir. Avrupa Birliği üyeliği sözleşme şartlarında yer alan Kyoto Protokolü, Türkiye dâhil birçok ülke tarafından kabul edilmiştir. Bu protokolün temel amacı, ülkelerin enerji üretim ve tüketimi aşamalarında, atmosfere salınması muhtemel SO_x, NO_x, CO₂ gibi sera etkisine yol açan gazları sınırlandırmaktır. Bu nedenle Türkiye dâhil bu protokolü kabul eden tüm ülkeler, enerji ihtiyaçlarını daha çevreci olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelerek çözmek zorundadırlar. Avrupa Birliği üyesi olan Almanya, hükümet politikası olarak özellikle Fukuşima faciasından sonra, kendi ülkelerinde bulunan tüm nükleer santralleri kapatarak temiz enerji üretme yöntemlerine yatırım yapma kararı almıştır. Fransa ve İsviçre hükümetleri de kendi ülkelerinde bulunan nükleer santrallerin bir kısmını veya tümünü kapatmayı gündemlerine alarak Almanya'yı izlemişlerdir. Birçok özel araştırma kurumunun hazırladıkları raporlara göre 2060 yılında dünya enerji ihtiyacının yaklaşık %60'ının yenilenebilir kaynaklardan karşılanacağı öngörülmektedir [10,11].

Yukarda sıralanan sorunların ortaya çıkmasıyla başlayan alternatif enerji kaynakları arayışı, bu alandaki çalışmaların, güvenilir ve çevre dostu, neredeyse limitsiz bir enerjiye sahip yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisi üzerinde toplanmasını sağlamıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları denilince, dünya var oldukça ve canlılar yaşadıkça var olacak, hiç bitmeyecek enerji kaynakları anlaşılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarını genel olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırmak mümkündür:

- Güneş enerjisi
- Rüzgâr enerjisi
- Hidrolik enerjisi
- Jeotermal enerji
- Biokütle enerjisi
- Hidrojen enerjisi
- Gel-git enerjisi
- Okyanus enerjisi

Bilinen yenilenebilir enerji kaynaklarının, teorik olarak tüm dünya enerji ihtiyacını karşılayabileceği öngörülmektedir [7]. Yenilenebilir enerji kaynakları içinde hidrolik enerji, güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi en çok kullanılan enerji kaynaklarıdır. Güneş en büyük enerji kaynağımız olup Güneşten dünya yüzeyine yıllık 3.9×10^{24} J veya 1.08×10^{18} kWh enerji yayılmaktadır. Bu oran dünyamızın toplam enerji ihtiyacının ve hali hazırda kullanılan enerji kaynaklarının yaklaşık 10000 katına denk gelmektedir [5].

Güneşin ışınım enerjisi, dünyamızın yer ve atmosfer sistemindeki fiziksel oluşumları etkileyen başlıca enerji kaynağıdır. Dünyamızdaki madde ve enerji akışları güneş enerjisi sayesinde mümkün olmaktadır. Rüzgâr, dalga, okyanus ve biokütle enerjileri, güneş enerjisinin değişim geçirmiş formlarıdır. Güneş enerjisi, doğadaki su döngüsünün gerçekleşmesinde de etkin olduğundan akarsu gücünü de yaratmaktadır. Fosil enerji kaynaklarının da, biokütle niteliğindeki yer altı materyallerinde birikmiş güneş enerjisi olduğu kabul edilmektedir [12].

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi direkt ve endirekt olmak üzere iki farklı yöntemle gerçekleştirilmektedir. Direkt yöntemde fotovoltaik, termoelektrik ve termoiyonik çeviriciler kullanılmaktadır. Endirekt yöntemde ise, güneş enerjisinden yararlanılarak üretilen buhar ve bir buhar güç çevrimi ya da güneş enerjisiyle elde edilen hidrojen ve bunun kullandığı termik elektrik üretici ve yakıt pilleri kullanılmaktadır.

Güneş enerjisinden direkt yöntemle elektrik enerjisi elde etmek için kullanılan Güneş pilleri ilk olarak uzay araştırmaları için geliştirilmiş; daha sonra şebekeden bağımsız, güç üretim merkezine uzak dağ evleri, deniz fenerleri, orman gözetleme kuleleri, telekomünikasyon istasyonları gibi yerlerin enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılmaya başlanmıştır [13]. Özellikle son yıllarda, fotovoltaik üretim teknolojilerinin gelişmesi, üretici firma sayılarının artması ve firmalar arası rekabet fotovoltaik panel fiyatlarının düşmesini sağlamıştır. Bu sayede güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi, sadece enerji iletiminin zor veya imkansız olduğu yerlerde değil enterkonnekte şebekeye dahil edilerek, ülkelerin toplam enerji üretiminde de ciddi bir yer tutması sağlanmıştır. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminin gün geçtikçe daha cazip hale gelmesinde temel etken sadece güneş panel üretim maliyetlerinin düşmesi değildir. Bununla beraber güneş sistemlerinin yüksek işletim güvenilirliği, kararlı performans artışı, şarj regülatörü, inverter, şebekeden bağımsız sistemlerde kullanılması gereken enerji depolama birimleri gibi ekipmanlardaki fiyat

düşüşleri de ülkelerin enerji üretim politikalarının güneş enerjisinden elektrik üretilmesi üzerinde odaklanmasında son derece etkili olmaktadır.

Günümüzde güneş enerjisi santral uygulamalarında en yaygın olarak kullanılan (%85 oranında) kristal silisyum teknolojisine dayalı fotovoltaik modüller, güneş ışınımını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmekte ve verimleri %15-22 arasında değişmektedir. Fotovoltaik teknolojisinde sürdürülen Ar-Ge çalışmaları genellikle verimi artırmaya yöneliktir. Bunun paralelinde fotovoltaik güç sistemlerinin kalitesi, güvenliği ve izlenmesi konusu da öne çıkmaktadır. Fotovoltaik güç sistemlerinde yapılan kalite denetimi ve güvenlik çalışmaları, sistem performansının yanı sıra yatırımcı ve kredi kuruluşları açısından riski en aza indirme noktasında devreye girmektedir [14].

Zaman içinde farklı yarı iletken teknolojileri kullanılarak hücre verimi yüksek güneş panelleri üretilmiştir. Bunların başlıcaları; monokristal silikon (m-Si), polikristal silikon (p-Si), kadmiyum tellürid (CdTe), amorf silikon (a-Si), bakır indiyum diselenid (CuInSe₂) ve bakır indiyum galyum diselenid (CuInGaSe₂) hücreleridir. Kullanılan bu teknolojilerin tümü, birbirine göre verimlilik, uygulamadaki zorluklar, üretimlerinden kaynaklanan zorluklar ve üretim maliyetleri açısından avantaj ve dezavantajlara sahiptirler [11].

Fotovoltaik sistem tasarımlarında veri girdileri temelde iki grupta incelenmektedir. Birinci grup, kullanılacak sistem bileşenlerinin teknik karakteristikleridir. Uluslararası standartlara uygun sistem bileşenlerinin seçimi, bu ürünlerin ilgili uluslararası testlerden başarı ile geçmiş olduğunu göstermektedir. İkinci grupta değerlendirilen veriler ise sistemin kurulacağı yerin iklim bilgileri, kurulum yapılacak yerin fiziki şartları ve yük gereksinimi gibi parametrelerdir. Tasarımın güvenilirliği ve verimi, esas itibarıyla ikinci grupta tanımlanan bu verilerin doğruluğuna bağlıdır [15].

FV güç sistemini etkileyen temel iklimsel koşullar şunlardır:

- Güneş ışınımı
- Sıcaklık değişimleri
- Nem
- Rüzgâr
- Yağmur, kar ve dolu
- Toz vb. kirler

1.2. Literatür Özeti

Artan enerji talebine karşın fosil yakıt rezervlerindeki azalma ve çevresel zararlar yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi gün geçtikçe arttırmaktadır. Literatür incelendiğinde, özellikle son 20 yıl içinde yaygın kullanım alanı bulan ve yenilenebilir enerji kaynakları arasında popüler hale gelen Fotovoltaik (PV) teknolojisi ve uygulamaları üzerine çok sayıda araştırma olduğu görülmektedir. Ancak tezin konusu kapsamında literatür özeti; çevresel faktörlerin (güneş ışınım şiddeti, çevre sıcaklığı, bağıl nem oranı, rüzgâr hızı gibi) ve PV panel sıcaklığının PV paneller üzerindeki etkileri ile özellikle Yapay Sinir Ağları (YSA) - (Artificial Neural Network-ANN) gibi tahmin yöntemlerinin PV sistemlerle ilgili araştırmalarda kullanılmasını içeren çalışmalara ağırlık verilmiştir.

Mellit vd [16] günlük toplam ışınım değerini tahmin etmek için YSA ve Dalgacık (Wavelet) teorisini bir arada kullanmışlardır. Çalışmada, belli bir bölgeye ait 19 yıllık meteorolojik verilerden faydalanarak geliştirilen Dalgacık Ağı sayesinde, bir güne ait toplam güneş ışınımı miktarını %97 oranında bir doğrulukla tahmin edebilmişlerdir.

Hiyama vd [17] bir PV panelin maksimum güç üreteceği çalışma noktalarını belirlemek için, geniş bir zaman dilimine ait çevresel bilgileri kullanarak gerçek zamanlı bir güneş izleme sistemi ile kurulmuştur. Çalışmada ayrıca YSA modeli ile %99 değerinde çok yüksek bir tahmin ile maksimum güç tahmini gerçekleştirilmiştir.

Bahgat vd [18] bir PV modülünün ürettiği nominal ve maksimum gücü, geliştirdikleri YSA modeli ile büyük bir doğruluk oranıyla tahmin etmişlerdir. Araştırmacılar başka bir çalışmalarında, geliştirdikleri YSA modeli ile PC tabanlı bir maksimum güç noktası izleyicisi (Maximum Power Point Tracker, MPPT) tasarlamış ve uygulamışlardır [19].

Mellit vd [20] az sayıda giriş bilgisi kullanarak, bağımsız PV sistemlerinin boyutlandırılması için verimli bir model geliştirmişlerdir. Önerilen model “Radial Basis Function Network” ve “Infinite Impuls Response Filters” kombine edilerek geliştirilmiştir. Çalışmada, YSA kullanılarak geliştirilen modelin diğer klasik modellerden daha az bilgi ile daha hızlı bir tahmin gerçekleştirdiği vurgulanmıştır.

Karatepe ve Boztepe [21] bir PV hücrenin eşdeğer devre parametrelerini belirlemek için YSA tabanlı bir model geliştirmişlerdir. Çalışmada, bir PV modülün eşdeğer devre parametrelerinin genel olarak güneş ışınımı ve PV panel yüzey sıcaklığına bağlı olduğunu belirtmişlerdir. PV’lerin doğrusal olmayan yapılarından

dolayı analitik yöntemlerle I-V grafiklerini elde etmenin zorlukları vurgulamış ve önerilen YSA modeli ile bu zorluklar ortadan kaldırılarak eşdeğer devre parametreleri yüksek bir doğrulukla belirlenebilmiştir.

Deniz ve Atik çalışmalarında [22] güneş ışınım şiddetinin tahmininde YSA ve regresyon analiz yöntemlerinin hangisinin daha etkin olduğu araştırmışlardır. Çalışmada, Zonguldak ili 1995 ile 2004 yılları arasındaki on yıllık verileri aylık ortalamalar halinde rüzgâr hızı, nem miktarı, çevre sıcaklığı, toprak sıcaklığı, güneş ışınımı alımının gün uzunluğuna oranı ve aylık ortalama atmosfer dışı güneş ışınım şiddeti verileri Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğünden (MGM) temin edilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak regresyon analiz yöntemi ve YSA yardımıyla modeller geliştirilmiştir. Ocak 2005 ve Aralık 2005 tarihleri arasındaki toplam güneş ışınımının aylık ortalamaları hesaplanmış ve 2005 yılında ölçülmüş olan veriler ile karşılaştırılarak tahmin yönünden yüksek oranda doğruluk elde edilmiştir.

YSA ile tahmin değişik alanlarda da kullanılmıştır. Aslay ve Özen [23] MGM'den aldıkları 1970-2011 tarihleri arasındaki tüm illere ait bazı meteorolojik parametrelerin aylık ortalama değerlerini kullanarak bir sonraki yıla ait aylık ortalama toprak sıcaklığını tahmin etmişlerdir.

Erkaymaz ve Yaşar [24] geliştirdikleri İleri beslemeli YSA modeli kullanarak en düşük hata ile Karabük ili hava sıcaklığını tahmin etmişlerdir.

Atik vd [25] Zonguldak ili 1995–2004 yılları arasındaki meteorolojik verileri ile eğittikleri YSA modelini kullanarak yüksek doğrulukla 2005 yılı meteorolojik verilerini tahmin etmişlerdir.

Yukarıda bahsedilen bu çalışmalar dışında YSA kullanılarak güneş enerjisi potansiyelinin tahmin edilmesine yönelik çok sayıda uygulamalar mevcuttur.

Işık ve İnallı [26] MGM'den elde ettikleri Tunceli iline ait 2005–2009 yılları; hava sıcaklığı, hava basıncı, açık gün sayısı, güneşlenme süresi, nispi nem, rüzgâr hızı ve güneş ışınım şiddeti gibi çevresel etki değerlerini kullanarak, geliştirdikleri YSA modeli ile aylık ortalama güneş ışınımı şiddeti, güneş ışınım miktarı tahmini gerçekleştirmiştir.

Özçalık vd çalışmalarında [27] Matlab & Simulink programını kullanarak geliştirdikleri tek diyot PV hücre modeli ile elektrik üretimine etki eden faktörlerin karakteristikleri nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Modellemede ortam sıcaklığı, güneş ışınım şiddeti, eşdeğer devre seri direnci, yarı iletkenlik, paralel kol sayısı, seri bağlı

hücre sayısı gibi parametreler dikkate alınmış ve PV güneş panelinin akım-gerilim ile güç-gerilim karakteristiklerinin değişimi incelenmiştir.

Bikaneria vd çalışmalarında [28] farklı sıcaklık verilerini girdi olarak kullanarak Matlab & Simulink programında tek diyotlu PV hücre modellemesi geliştirmiş ve elde ettikleri grafikler ile ideal diyot grafiklerini kıyaslamışlardır.

Shannan vd [29] Matlab programında tek diyot ve çift diyot PV panel modellemesi gerçekleştirerek farklı sıcaklık verilerinde her iki modeli de test ederek, elde ettikleri sonuçlara göre modellerin maksimum gerilim ve maksimum güç yönünden negatif ve pozitif yanlarını karşılaştırmışlardır.

Dash ve Ali [30] Matlab ortamında tek diyot ve çift diyot PV modellemesi geliştirmiş, simulasyonda girdi olarak güneş radyasyonu, idealite, sıcaklık faktörlerinin akım-gerilim, akım-güç eğrilerinde neden olduğu farklılıkları tespit ederek ve bu faktörlerin panelin çalışmasını etkilediğini belirlemişlerdir.

Bellini ve Bifaretti [31] üreticiler tarafından verilen panel parametreleri ile herhangi bir sayısal yöntem kullanmadan, PV paneller için bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Bu modelde, güneş ışınım şiddetinin bir fonksiyonu olarak, panelin ürettiği gerilimi, uygun bir düzeltme terimi ve iyileştirmeler yaparak elde etmişlerdir. Fakat panellerin elektriksel parametreleri (açık devre gerilim ile kısa devre akımı) üretici tarafından verilen değerlerden farklı olduğu tespit edilmiştir.

Tamrakar vd [32] 120 W polikristal solar panelde çıkış akımını tahmin etmek için gerekli olan doğrusal olmayan matematiksel denklemleri geliştirdikleri MATLAB programına girdi olarak kullanmış; Newton-Raphson İteratif tekniği ile tek diyot ve iki diyot PV panel modellemesinde akım-gerilim, gerilim-güç eğrilerini elde etmişlerdir. Modellemeden elde ettikleri verileri kullanarak karakteristik eğrileri çizerek geliştirdikleri modellemenin doğruluğunu incelemişlerdir.

Ahmad vd [33] 2016 yılında yaptıkları bir çalışmada Matlab & Simulink kullanarak PV sistemleri incelemiş, tek diyot ve çift diyot PV modellemesi yapmışlardır. Yapılan çalışmada tek diyot ve çift diyot PV sistemler aynı çalışma şartlarında modellenerek her iki sisteminde çalışma eğrileri çıkartılmış ve bu eğriler karşılaştırılarak verimlilikleri değerlendirilmiştir.

Muhammad vd çalışmalarında [34] fotovoltaiik analizi amaçlayan bir simulasyon yapmışlardır. Yapılan çalışmada PV sistem verimliliğini etkileyen iç ve dış parametrelerin incelenebilmesi için tek diyot PV modellemesi yaklaşımını kullanmışlardır. Çalışma sonucunda elde ettikleri karakteristik eğrilerine göre PV

sistem performansını etkileyen parametreler ve bu parametrelerin sistem çalışmasına olan etkisini tartışmışlardır.

Azad vd [35] MATLAB & Simulink ortamında güneş pilinin doğrusal olmayan denklemlerini kullanarak tek diyot PV panel modellemesi geliştirerek, sıcaklık ve güneş ışınımı gibi çevresel parametrelerin güneş panelinin çalışma performansına etkilerini inceleyebilmek amacıyla akım-gerilim ve güç-gerilim grafikleri elde etmişlerdir. Çalışmanın sonucunda elde edilen karakteristik eğrileri kullanarak çevresel parametrelerin verimliliği nasıl etkilediğini gözlemlemişlerdir.

Cristaldi vd [36] ölçüm yapmadan panel üreticileri tarafından sunulan verileri kullanarak geliştirdikleri simülasyonda PV panel modelini bir direnç, bir diyot ve gerilim kaynağı olarak kabul ederek sistemin kolaylıkla maksimum güç noktası yakınında çalıştığını göstermişlerdir.

Lurwan vd [37] herhangi bir zamanda Güneş ışınım şiddetini tahmin edebilmek için MATLAB ortamında bir model geliştirmişlerdir. Geliştirilen tahmin modelinde sırasıyla 0.97, 0.96 ve 0.75 korelasyon katsayıları elde edilmiş ancak, modelin doğruluğunun geliştirilebileceği belirtilmiştir.

Hiyama ve Kitabayashi [38] geliştirdikleri YSA modeli ile çevresel parametreleri kullanarak bir PV panelden elde edilecek maksimum gücü tahmin etmişlerdir. Geliştirilen model, meteoroloji istasyonlarından alınan bilgileri kullanarak, PV panelin bir sonraki güne ait üreteceği enerji %94 oranında bir doğrulukla tahmin edebilmiştir. Çalışmada, geliştirilen ağ modelinin, geleneksel çoklu doğrusal regresyon modelinden daha doğru sonuçlar verdiğini belirtilmiştir.

Mellit vd [39] bir yıl süreyle çevresel faktörleri ve panel gücünü ölçerek elde ettikleri verileri kullanarak geliştirdikleri YSA modeli ile monokristal bir PV panelin üreteceği gücü tahmin etmek üzere yaptıkları çalışmada %95 oranında bir doğruluk elde etmişlerdir. Çalışmalarında geliştirdikleri modelin çoklu doğrusal regresyon, polinomal regresyon, analitik ve tek diyot modellerinden daha doğru tahminleme yaptığını belirtmişlerdir.

Işiker vd [40] panel yüzey sıcaklığı, panel eğim açısı ve elektriksel yüklenmeye bağlı değişen direnç değerlerinin panelin gücüne olan etkilerini deneysel ve teorik olarak incelemek için yaptıkları çalışmada PV sistem tasarımı yapılırken eğim açısının ve yük direncinin optimum değerlere ulaşmada etkili olduğunu tespit etmişlerdir.

Saka [41] fotovoltaiik panellerin verimini etkileyen parametreleri incelendiği çalışmada; verimin kullanılan malzemenin cinsine, katkı malzemelerine ve

geometrisine bağlı olduğu ayrıca ışınım şiddeti, dalga boyu, ortam sıcaklığı ve çekilen elektrik enerjisinin de fotovoltaik panellerin verimini etkilediği tespit etmiştir.

Tsai çalışmasında [42] güneş ışınım şiddeti ve güneş paneli sıcaklığının panel elektrik enerjisi kazancında önemli etkilere sahip olduğunu ve panel sıcaklığı sabit tutulup güneş ışınım şiddeti arttıkça panelden elde edilen elektrik enerjisi kazancının da arttığını belirtmiştir. Panel sıcaklığının, panelden elde edilen elektrik enerjisi kazancında negatif bir etki oluşturduğunu ve hava sıcaklığı arttıkça, panel sıcaklığının da artmakta olduğunu göstermiştir.

Farhoodnea vd [43] şebekeye bağlı 3 kW kurulu gücünde olan bir Fotovoltaik Güç Sisteminin verimini tespit etmek için yaptıkları alışmada, altı ay boyunca (Ekim 2013 ve Mart 2014 aralığında), 1 dakikalık aralıkla sistemi izlemiş ve geliştirilen modelleme ile karşılaştırmasını yapmışlardır. Deneysel çalışmanın sonucunda panel verimini %10.11, evirici verimini %95.15, sistemin aylık ortalama performans oranını %77.28 ve kapasite faktörü de %15.7 olarak tespit etmişlerdir.

Doolla ve Banerjee [44] Güneş PV difüzyon kapasite faktörünü analiz etmek için yaptıkları çalışmada, Hindistan'ın farklı bölgelerinde yer alan 1 MW'lık PV sistem için güneş ışını şiddeti ve çevre sıcaklığını baz alarak gerçekleştirdikleri simülasyonda belirlenen hedeflere ulaşıldığını ve kademeli olarak şebekeye bağlı PV sistem teknolojisinin geliştirilmesinin gerekliliğini vurgulamıştır.

Adham Makki vd tarafından yürütölen çalışmada [45] PV panellerde biriken sıcaklık, su ısıtma amacıyla kullanılarak, sıcaklığın olumsuz etkisi azaltılmış ve PV sisteminin performansında artış gözlenmiştir.

Onat ve Ersöz [46] PV panellerin performansını etkileyen parametreleri inceledikleri çalışmada güneş ışınlarının panel ile yaptığı aç ve panel sıcaklığının performansı etkilediğini, bu yüzden de maksimum güç noktasının yakalanmasının her zaman mümkün olamadığını ve bu sorunu çözmek için maksimum güç noktası izleyicisi adı verilen bir anahtarlamalı güç konvertörünün kullanılabileceğini öngörmüşlerdir.

Irwanto vd [47] kurdukları ölçüm sistemi ile PV panelin ortam sıcaklığı ve güneş ışınımından nasıl etkilendiğini inceledikleri çalışmalarında sıcaklık artışının PV Panel verimini düşürdüğünü ve güneş ışınımının artmasıyla da panel veriminin arttığını gözlemlemişlerdir.

Chu vd [48] 48 MW'lık PV santralin gücünü tahmin etmek için geliştirdikleri akıllı ve gerçek zamanlı yeniden tahmin yöntemini kullanmışlardır. Üç temel öngörü

modelinin performansını artırmak için YSA optimizasyon programlarını kullanarak geliştirilen model sonucunda tahmin hatalarını azaltmışlardır.

Thomas [49] matematiksel modeller kullanarak MATLAB Simulink kütüphanesinde bir PV sistemin davranışını tanımlamak için bir model oluşturmuşlardır. Bu modelde sıcaklık ve ışıyım değerlerini kullanılarak elde ettikleri akım ve gerilim değerleri ile gerçek değerleri karşılaştırmışlardır.

Fesharaki vd çalışmalarında [50] PV hücrelerin modellenmesinde kullanılan tek diyotlu elektrik eşdeğer devresi temel alınarak, verimlilik, güneş radyasyonu ve sıcaklık arasındaki ilişkiyi incelemiş ve sıcaklık artışının PV modül verimliliğinde düşüşe sebep olduğunu göstermişlerdir.

Radziemska [51] sıcaklığın kristalize silisyum güneş hücreler üzerindeki etkisini araştırdığı deneysel çalışmasında standart test koşullarına göre +25 C° sıcaklıktaki kristalize silisyum hücrenin enerji dönüştürme etkinliği % 13.3 iken, +60 C° sıcaklıkta % 22.55'lik bir düşüşle % 10.3'e indiğini tespit etmiştir.

Ceylan vd [52] basit bir spiral boruyu PV panelin arkasına yerleştirerek PV paneli soğutmak için yaptıkları deneysel çalışmada spiral boru içerisinden soğutma suyu geçirilmiş ve sistem ise ısı değiştirici görevi sağlamaktadır. Çalışma sonucunda soğutulan panel verimi % 13 ve soğutulmayan panel veriminin ise % 10 olduğunu tespit etmişlerdir.

Chandrasekar vd yaptıkları çalışma [53] sonucunda PV panellerinin güneşten gelen ışıyımın %4-17'sini elektrik enerjisine çevirebildiğini %50'den daha fazlasını ise ısı enerjisi olarak açığa çıktığını belirtmişlerdir.

Bahaidarah vd çalışmalarında [54] ortam sıcaklığının PV panel verimini büyük oranda etkilediğini belirterek sıcak iklim bölgelerinde arka yüzü su soğutmalı PV panellerin verimini incelemiş ve aktif soğutma sisteminin panel verimini %9 oranında arttırdığını belirtmişlerdir.

Panchula vd çalışmalarında [55] 20 MW lık bir PV santralin bir yıl süreyle alınan ölçüm sonuçlarını kullanarak yapılan tahmin ile performans analizini karşılaştırmış ve çalışma sonucunda elde edilen hataların yağmurlu günler gibi çeşitli çevresel etkenlerden kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir.

Mekhilef vd deneysel çalışmalarında [56] toz, nem ve rüzgâr hızı parametrelerinin PV hücreler üzerindeki etkisini incelemiş, çalışma sonucunda nemin PV hücrelerin tozlanmasını arttırarak verimliliğini düşürürken, rüzgâr hızının ise panelleri soğutarak verimi arttırdığını belirtmişlerdir.

Yukarıda sunulan çalışmalardan, PV alanında yapılan farklı bilimsel araştırmalarda, yapay sinir ağları (YSA) yönteminin sıklıkla kullanıldığı anlaşılmaktadır. Diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında YSA yönteminin hassasiyet, doğruluk, basitlik ve uyarılana bilirlilik açısından daha kararlı sonuçlar verdiği görülmektedir. Literatüre göre, güneş ışınım şiddeti, sıcaklık, rüzgâr hızı, nem ve PV panel sıcaklığının PV hücre verimliliği üzerinde etkili olduğu görülmektedir.

1.3. Tezin Amacı

Fotovoltaik panel uygulamalarındaki en büyük problemlerden biri ilk kurulum aşamasında sahip oldukları yüksek maliyetlerdir. Son yıllarda ilk kurulum maliyetlerinde ciddi düşüşler meydana gelmişse de, bu sistemlerin tesis maliyetlerine karşılık ürettikleri enerji miktarı hale yeterince yüksek değildir. Fotovoltaik santraller ile ilgili projelendirme ve yatırımlar için enerji santralının tesis edileceği bölgenin güneş enerjisi potansiyelinin önceden bilinmesi son derece önem arz etmektedir. Fotovoltaik panellerin ürettiği elektrik enerjisi miktarı, başta güneş ışınımı olmak üzere, hava sıcaklığı, nem oranı, rüzgâr hızı ve fotovoltaik panell sıcaklığına bağlıdır. Bunun için PV panel sistemlerinin kurulacağı bölgelere ait standart olmayan test koşullarını içeren meteorolojik parametrelerin PV panel gücü üzerindeki etkilerinin kurulum öncesinde saptanması çok önemlidir.

Bu tez çalışmasında, güneş ışınım şiddeti, sıcaklık, rüzgâr hızı, nem ve panel sıcaklığının fotovoltaik panel verimine olan etkilerinin incelenmesi ve üretilecek enerjinin çevresel etkiler dikkate alınarak önceden tahmin edilebilmesinin sağlanması amaçlanmıştır. Bunun için pilot bölge olarak seçilen Adıyaman, Malatya ve Şanlıurfa illerinde ölçüm yapabilmek için bölgesel ölçüm istasyonları tasarlanmıştır. Deneysel çalışmanın sağlıklı yürütülebilmesi için birbirine coğrafik konum olarak yakın olmalarına rağmen meteorolojik parametreler açısından birbirinden farklı olduklarından bu bölgeler seçilmiştir. Ölçüm istasyonlarında yer alan çevresel ölçüm propları ve tasarlanan ölçüm cihazı ile elde edilen veriler ana terminalde toplanmış ve geliştirilen yazılım ile bilgisayar ortamında değerlendirilmiştir. Eğitilen YSA ile üç il öncelikle kendi içinde değerlendirilmiş daha sonra Adıyaman verileri referans alınarak Malatya ve Şanlıurfa illeri için tahmin gerçekleştirilmiştir. YSA ile gerçekleştirilen tahmin Destek Vektör Regresyon tahmini ile kıyaslanarak YSA tahmin oranının daha

yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca Devlet Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınan veriler ile eğitilen YSA kullanılarak üretilecek güç tahmini yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında hedef, en büyük enerji rezervi olan güneşten, doğrudan elektrik enerjisi elde edilmesini sağlayan ve hâlâ ilk kurulum aşamasında büyük tesis maliyetlerine yol açan PV sistemlerin planlanması ve projelendirilmesi aşamasında, meteorolojik verilerden faydalanarak sistemin kurulacağı bölgeye ait güç veriminin önceden tespit edilmesinin sağlanarak ülke bütçesine katma değer sağlayabileceği tahmin edilmektedir.



2. FOTOVOLTAİK GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ

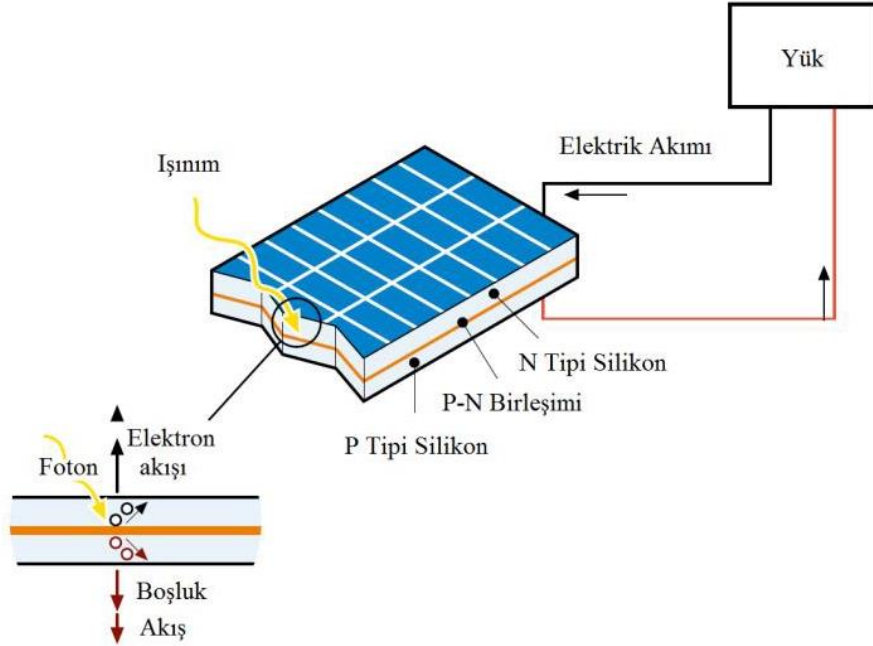
Dünyanın geometrik yapısından ötürü, Güneşten gelen ışınım enerjisi, Dünya üzerinde farklı değerlerde enerji düşmesine neden olmaktadır. En büyük ışınım enerjisi potansiyeline sahip bölgeler, 40° Kuzey ve 40° Güney enlemleri arasını kapsayan güneş kuşağı adı verilen bölgelerdir [40]. Türkiye, coğrafik konum olarak 36°-42° Kuzey enlemleri ve 26°-45° Doğu meridyenleri arasında yer almakta olup yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip ülkeler arasında yer almaktadır.

Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından ölçülen veriler esas alınarak güneşlenme süresi ve güneş ışınım şiddeti verileri kullanılarak Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) tarafından yürütülen çalışmalarına göre, Türkiye’de yıllık ortalama güneş ışınımı 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3.6 kWh/m²) değerindedir [57,58]. Yapılan ölçümlere göre ortalama yıllık güneşlenme süresi ise toplam 2640 saattir. Türkiye, günlük 7.2 saat ve yıllık 110 saat güneşlenme süresine sahip olarak bir günde birim alan başına 3.6 kWh enerji üretme potansiyeline sahip bulunmaktadır. Güneş ışınımının bölgesel dağılımını incelediğimizde; Güneydoğu Anadolu Bölgesi yıllık ortalama 1460 kWh/m²-yıl ile en yüksek ve Karadeniz Bölgesi ise 1120 kWh/m²-yıl ile en düşük değerlere sahiptir. Güneş enerjisi alanında yapılan bu çalışmalar güncel verileri kapsamadığı için YEGM tarafından ölçme amaçlı kurulan istasyonlarda devam eden ölçüm sonuçlarına göre Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyelinin önceki değerlere göre % 20-25 oranında daha yüksek çıkacağı öngörülmektedir.

Türkiye’de güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi hakkında çalışmalar uzun zamandır yürütülmesine rağmen, devlet kurumları arasındaki koordinasyon eksikliği, özel sektörün yeterince teşvik edilmemesi, toplumun güneş enerjisi hakkında yeterince bilinçlendirilmemesi gibi nedenlerden dolayı, bu alandaki finansal yatırımların tarihi çok yenidir. Ancak, Türk Standartları Enstitüsünün (TSE), güneş enerjisi ile ilgili standartları belirlemesinden sonra, bu alandaki ilk kanun 10.05.2005 tarihinde 5346 sayı ile “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun” adı ile çıkarılarak bu alandaki finansal yatırımlara resmi bir kimlik kazandırılmıştır [12].

2.1. Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı

Fotovoltaik hücreler, elektrik akımı oluşturmak üzere, üzerine düşen fotonlar aracılığıyla, elektronları harekete geçirebilen ışığa duyarlı yarı iletken malzemelerden üretilirler. Fotovoltaik kelimesi Latince ışık anlamında kullanılan “photo” ve elektriksel bir büyüklük olan gerilimin birimi “volta” kelimelerinden türemiştir [59]. Güneşten gelen ışınım enerjisinin bir fotonu bir silikon atomu tarafından soğurulduğunda bir elektron-çifti boşluğu oluşturulur ve elektron serbest oyukları izleyerek malzeme içinde hareket etme eğilimi gösterir. Buradaki enerjinin, elektronun akışına imkân verecek bir yükü beslemesi durumunda elektrik akımı meydana gelmektedir. Bu prensip üzerine geliştirilen PV hücrelerin çalışma ilkesi Şekil 2.1’de görülmektedir.



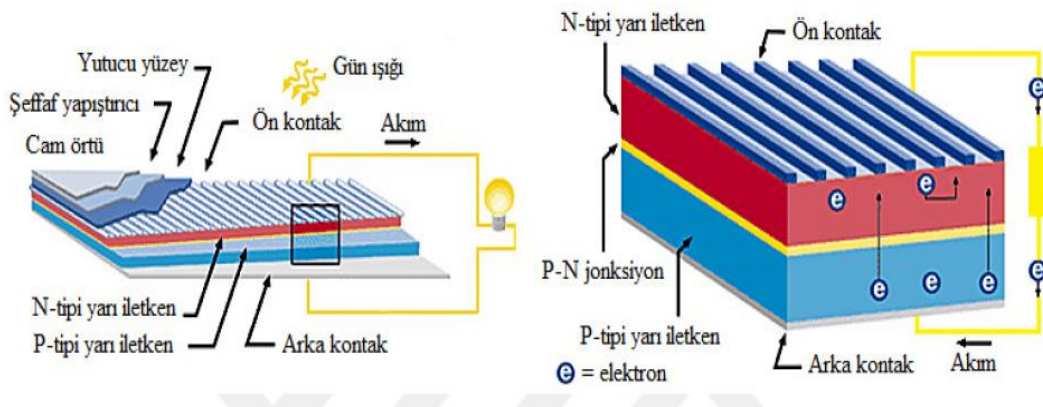
Şekil 2.1. PV hücre elektrik akım üretimi [60]

PV hücreler daire, kare veya dikdörtgen şeklinde yüzeylere sahip olarak üretilmekte olup 0.2 ila 0.4 mm arasındaki kalınlıkta ve yüzey alanları ise 100 cm² civarındadır [61,62]. Güneş pilleri, valans yörüngesinde 4 elektron bulunan, silisyum, germanyum gibi normal şartlarda yalıtkanlık gösterirken dışardan bir enerji alması halinde iletkenlik gösteren yarı iletken malzemelerden üretilirler.

Yarı iletkenlerde ve yalıtkanlarda değerlik elektronlarının bulunduğu enerji bandına “değerlik bandı” ve elektronların bulunabileceği yasak enerji aralığından sonraki ilk enerji bandına da “iletkenlik bandı” adı verilir. Maddenin yarı iletken veya yalıtkan olarak sınıflandırılma yapılırken yasak enerji aralığının büyüklüğü dikkate alınan değerlerdendir. Fotonların enerjisi maddenin yasak enerji aralığına eşit ya da daha büyük ise değerlik bandında bulunan bir elektronu enerjilendirerek onu iletim bandına çıkarır. Yasak enerji bandı 2.5 eV’dan (elektron volt) daha büyük ise madde yalıtkan olarak kabul edilir. PV hücrelerde yarıiletken malzeme kullanılmasının sebebi güneş ışınımını soğuran güneş spektrumu ile uyumlu yasak enerji aralığına sahip ve elektrik yüklerinin birbirinden uzaklaşmasına izin verebilecek kadar uzun bant genişliğine sahip olmasıdır. Fotovoltaik olay ilk olarak birer taşıyıcı yük çifti olan elektron-boşluk çiftinin oluşturulması, ardından da bu yük çiftlerinin birbirinden ayrılması olmak üzere iki aşamada meydana gelmektedir [63,64].

PV hücre yapımı herhangi bir yarıiletkende P-tipi ve N-tipi bölgeler oluşturularak gerçekleştirilmektedir. Oluşturulan bu P-tipi ve N-tipi bölgelerin geçiş bölgesindeki P-N eklemi kesiminde bir elektrik alanı oluşturulur. Bu elektrik alan, yapısal elektrik alan olarak isimlendirilmektedir. Yarıiletken eklemine güneş pili olarak çalışabilmesi için eklem bölgesinde fotovoltaik dönüşümün sağlanması gerekmektedir. Bu dönüşüm önce eklem bölgesine güneş ışığı düşürülerek elektron-boşluk çiftleri oluşturulması daha sonra bu çiftlerin oluşan elektrik alan etkisiyle birbirinden ayrılması olmak üzere iki aşamada gerçekleşmektedir [65].

PV hücreler, triyak, diyak, transistör, tristör gibi yarı iletken malzemelerden farklı olarak görece büyük bir P-N jonksiyon ara kesitine sahiptirler [13,66]. Silikon esaslı tek kristalli bir güneş hücresinin yapısı Şekil 2.2’de verilmiştir.

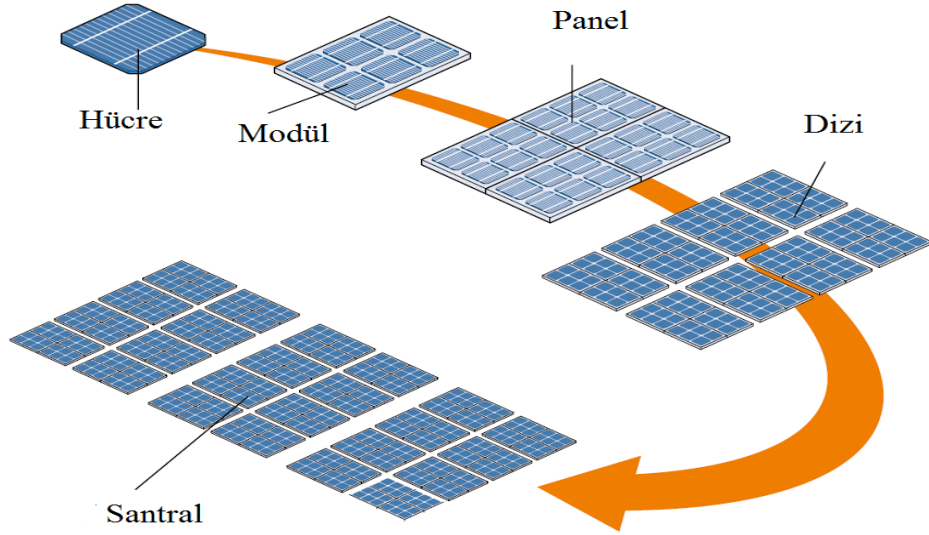


Şekil 2.2. Güneş pilinin katmanları [11]

Şekil 2.2’de görüldüğü üzere, bir PV hücre yapısal olarak, farklı görevleri olan katmanların bir araya getirilmesinden oluşmaktadır. Üretim teknolojisinde kullanılan malzemenin özelliğine göre farklı renklerde olabilen PV hücrelerinin ağırlığı 10 gram civarındadır. Bir PV hücrenin en üst yüzeyi, hücrenin iç katmanlarını mekanik darbelerle karşı koruyabilecek temperli cam bir tabaka ile kaplanmıştır. Hücreye gelecek ışınımın yansımaları önlemek ve yutulmuş ışınımı optimize etmek üzere kullanılan yutucu yüzey ile cam yüzey arasında “etilen vinil asetat” içerikli, şeffaf bir yapıştırıcı bulunmaktadır. Bu birleşimin hemen altında negatif ve pozitif yarı iletken jonksiyonu bulunmaktadır. N-katmanı, fosfor atomları eklenmiş silisyumdan oluşan ve pilin negatif tarafını oluşturan katmandır. P-katmanı ise, bor atomları eklenmiş silisyumdan oluşmuş, pilin pozitif tarafıdır. Jonksiyon kesitinde meydana gelen elektronların akışını sağlamak üzere, pozitif ve negatif yarı iletken malzemelerin dış kısmında ön ve arka kontaklar kullanılmaktadır. Hücrenin en alt kısmında çekme ve basınç dayanımı yüksek “polivinil florür” esaslı bir tabaka kullanılmaktadır. Polivinil florür tabaka ile pozitif yarı iletken tabaka, “etilen vinil asetat” ile yapıştırılarak bir PV hücrenin genel anatomisi oluşturulmuş olur. Koruyucu cam katman hariç, tüm bu katmanların oluşturduğu kalınlık değeri yaklaşık 200 µm civarındadır [11].

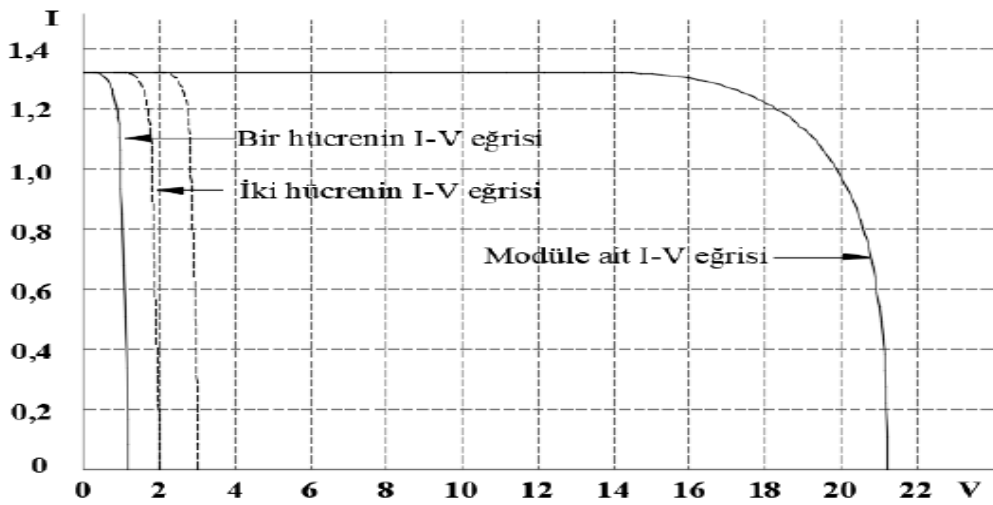
Güneş pilleri uygulamada deneysel çalışmalar istisna tutulursa tekil olarak kullanılmazlar. Çünkü tipik bir silikon PV hücre yaklaşık 0.5 V kadar gerilim üretebilirken, bu hücreden elde edilebilecek güç, 1 dm çapındaki bir yapı için yaklaşık 1 W’tır. Bundan dolayı, hücreler birbirine seri bağlanarak elde edilen gerilim ve paralel bağlanarak sağlanabilecek akım arttırılmak üzere PV modüller oluşturulur.

PV hücrelerin birleşimiyle modüller, modüllerin birleşimiyle PV paneller, PV panellerin birleşimiyle diziler ve dizilerin birleşimiyle de PV santraller oluşturulur (Şekil 2.3). PV santral için sıklıkla tercih edilen, 250 W’lık PV paneller genelde 60 hücre, 6 modülden oluşmaktadır [60]. Yani her modülde 10 hücre bulunmaktadır Şekil 2.3’de PV grup döngüsü gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Fotovoltaik grup döngüsü [60]

PV hücre ve modüller sinyalizasyon, veri kayıt cihazları, hesap makinesi gibi düşük gerilim ve güç gerektiren uygulamalarda doğrudan kullanılabilir. Ancak daha büyük elektrik enerjisi gerektiren uygulamalarda modüllerin bir araya getirilmesiyle oluşturulan PV paneller kullanılmaktadır. Özellikle PV enerji üretim santrallerinde büyük değerlerde elektrik enerjisi üretilmekte, çok sayıda panelin bir araya getirilmesiyle meydana gelen PV dizileri kullanılmaktadır [62,67,68]. Şekil 2.4'de bir hücrenin ve bir modülün Akım-Gerilim (I-V) değişim eğrileri verilmiştir.



Şekil 2.4. PV hücre ve modüle ait I-V eğrileri [11]

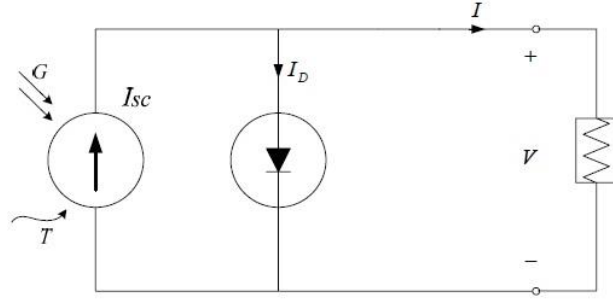
PV'ler, bağ ve bant modellerine göre yarı iletken malzemelerden imal edildikleri için çalışma karakteristikleri doğrusal değildir ve üretim teknolojilerine göre değişkenlik göstermektedirler. Hücre retici firmalar, ürettikleri ürünlere ait I-V karakteristiklerini sunmak durumundadırlar. Şekil 2.4 incelendiğinde, yaklaşık 0.5 V gerilim üretebilen kristalize silikon hücrelerin seri bağlanmasıyla görece yüksek gerilimli modüllerin oluşturulabildiği görülmektedir [69].

2.2. Fotovoltaik Hücrelerin Eşdeğer Elektriksel Devre Modeli

Farklı evresel faktörler etkisinde bir PV hücrenin davranışını tanımlamak üzere, MPPT sistemlerinin ihtiyaç duyduğu akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) karakteristik eğrilerini elde edebilmek için güneş hücrelerinin modellenmesi gerekmektedir. Yapılan alışmalarda, PV hücrelerin matematiksel modellenmesinde ortak yaklaşım, hücrelerin yarı iletken malzemelerden üretilmesinden dolayı P-N jonksiyonu içeren bir diyodun ışınım kaynaklı bir akım kaynağına paralel bağlanması üzerinde yoğunlaşmıştır [70]. Bu alanda yapılan çalışmalarda literatüre model sunulmuştur ancak bu modeller içerisinde en yaygın olarak kullanılan modeller I-V ve P-V eğrilerinin elde edilmesinde minimum hata veren ve gerçek bir PV hücrenin farklı koşullar altındaki karakteristiğini daha iyi yansıtın tek diyot ve iki diyotlu modellerdir [70].

2.2.1. Tek Diyotlu PV Hücre Elektriksel Eşdeğer Devre Modeli

İdeal bir PV hücre Şekil 2.5'de gösterildiği gibi bir diyot ve paralel bir akım kaynağı ile modellenenebilir. Akım kaynağı güneş ışınım şiddeti G ile direkt orantılıdır. Őekildeki diyot PV hücrenin, P-N geçiş bölgesini temsil etmektedir.



Şekil 2.5. PV hücrenin basitleştirilmiş eşdeğer devresi [14]

Basitleştirilmiş elektriksel eşdeğer devrede akım gerilim (I-V) denklemi, Kirchhoff akım yasası kullanılarak çıkarılabilir:

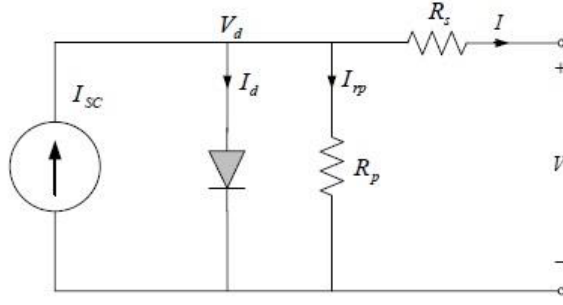
$$I = I_{SC} - I_D = I_{SC} - I_0 \left(\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right) \quad (2.1)$$

25 °C için ise bu denklem

$$I = I_{SC} - I_0 (e^{38,9V} - 1) \quad (2.2)$$

şeklinde olur.

PV hücrenin basitleştirilmiş eşdeğer devresi, PV hücrenin elektriksel en ideal gösterimini sunmaktadır. Gerçekte, hücrenin çıkış kontakları üzerinde de gerilim düşümü olmaktadır. Buradaki gerilim kaybı, devreye seri bir R_S direnci ile ifade edilmektedir. Ayrıca paralel bir R_P direnci kullanılarak ifade edilen sızıntı akımı da gözlenmektedir (genelde R_P çok büyük seçilir, yani $R_P \gg R_S$). Sonuç olarak devre bu kayıplar da dikkate alındığında ve Şekil 2.6'da gösterilen elektriksel eşdeğer devre ile gösterilmektedir [14].



Şekil 2.6. PV hücrenin gerçek tek diyotlu elektriksel eşdeğer devre modeli [14]

Gerçek elektriksel eşdeğer devre modelinde:

Foton Akımı (I_{sc}): PV hücre üzerine düşen güneş ışınım şiddeti ile doğru orantılı olarak değişmektedir.

Diyot akımı (I_D): Sızıntı akımı ve gerilime bağlı olarak değişmektedir.

Paralel kol akımı (I_P): Eklem geriliminin paralel direnç üzerindeki etkisi ile ortaya çıkan akımdır. Paralel kol direnci R_p , N ve P eklemleri boyunca akan elektronlara bağlı olarak ortaya çıkan kaybı belirler [14]:

$$I_P = \frac{V_D}{R_p} = \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (2.3)$$

şeklinde ifade edilir. PV hücre akımı için:

$I = I_{sc} - I_D - I_P$ olduğuna göre, (2.3.) denklemi ile (2.1.) denklemi kullanılarak,

$$I = I_{sc} - I_0 \left(\exp\left(\frac{q(V+IR_s)}{nkT}\right) - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (2.4)$$

denklemini elde edilir.

Burada;

I: Hücre akımı (A)

I_{SC} : Foton akımı (A)

I_D : Diyot akımı (A)

I_0 : Diyot ters yönde doyum akımı (A)

V: Fotovoltaik çıkış gerilimi (V)

n: Diyot kalite faktörü ($1 \leq n \leq 2$)

q: Elektron yükü ($1,60217646 \times 10^{-19}$ C)

k: Boltzmann sabiti ($1,3806503 \times 10^{-23}$ J/K)

T: p-n birleşim noktasındaki sıcaklık (K)

R_P : Paralel direnç (Ω)

R_S : Seri direnç (Ω)

olarak ifade edilmektedir.

Fotovoltaik hücre tarafından üretilen ışık akımı I_{SC} ile güneş ışınımı ve sıcaklık arasında doğrusal bir ilişki vardır [71]. Bu ilişki aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir:

$$I_{SC} = \frac{I_{SCref}}{G_{Tcref}} G_{TC} - \alpha(T_C - T_{Cref}) \quad (2.5)$$

Bu denklemde;

G_{TC} : Ölçülen güneş ışınım şiddeti (W/m^2)

G_{Tcref} : Referans güneş ışınım şiddeti ($1000 W/m^2$ ve $25^\circ C$)

I_{scref} : Referans koşulunda kısa devre akımı (A)

T_C : Ölçülen sıcaklık

T_{cref} : Referans sıcaklığı ($25^\circ C$)

α : Akım sıcaklık katsayısıdır ve

$$\alpha = \frac{T_{Cref} + 273}{T_C + 273} \alpha_{ref} \quad (2.6)$$

şeklinde ifade edilir. Burada:

α_{ref} : Referans güneş ışınım şiddeti ve sıcaklık değerindeki akım sıcaklık katsayısıdır.

$1000W/m^2$ ve $25^\circ C$ de:

$$\alpha_{ref} = \frac{2V_{mpref} - V_{0cref}}{\frac{I_{SCref}}{I_{SCref} - I_{mpref}} + \ln\left(1 - \frac{I_{mpref}}{I_{SCref}}\right)} \quad (2.7)$$

olarak ifade edilir.

Bu denklemde;

V_{mpref} : Referans güneş ışınım şiddeti ve sıcaklık değerindeki maksimum panel voltajı (V) (1000 W/m² ve 25°C)

V_{ocref} : Referans koşulunda açık devre voltajı (V)

I_{mpref} : Referans koşulunda maksimum panel akımı (A)

şeklinde tanımlanmaktadır.

Diyot saturasyon (doyum) akımı hesaplanırken hücre sıcaklığında meydana gelen değişimlerin sonuçları göz önünde tutularak aşağıdaki denklem kullanılır [28]:

$$I_0 = \frac{(R_P + R_S)I_{SC} - V_{0C}}{R_P e^{\left(\frac{V_{0C}}{aV_T}\right)}} \quad (2.8)$$

V_T sıcaklığa bağlı olarak değişim gösteren açık devre voltajı olup

$$V_T = \frac{n_s k T}{q} \quad (2.9)$$

şeklinde hesaplanır. Bu denklemlerde;

q: Elektron yükü ($1.60217646 \times 10^{-19}$ C)

n_s : Paneldeki seri hücre sayısı

k: Boltzmann sabiti ($1.3806503 \times 10^{-23}$ J/K)

T: Sıcaklık (K)

olarak tanımlanır.

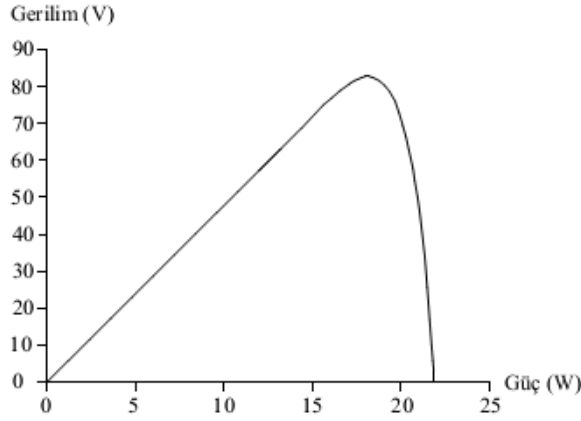
Eşdeğer devre modelinde yer alan seri ve paralel dirençler hesaplanırken aşağıdaki denklemler kullanılır [28]:

$$R_S = \alpha_{ref} \ln\left(1 - \frac{I_{mpref}}{I_{SCref}}\right) + V_{0cref} - V_{mpref} \quad (2.10)$$

$$R_p = \frac{(V_m - I_m R_s)[V_m - R_s(I_{sc} - I_m) - \alpha V_T]}{(V_m - I_m R_s)(I_{sc} - I_m) - \alpha V_T I_m} \quad (2.11)$$

Paralel direncin çok yüksek olması, seri direncin ise çok düşük olmasından dolayı her iki direnç de uygulamada ihmal edilebilir [28].

Fotovoltaik hücrelerin güç-gerilim karakteristiği incelendiğinde, öncelikle gücün hücre gerilimi ile orantılı olarak arttığı görülmektedir. Maksimum güç noktasından sonra akımda meydana gelen büyük düşüş, çıkış gücünü düşürmektedir (Şekil 2.7) [72].



Şekil 2.7. Fotovoltaik Hücrenin Güç-Gerilim Karakteristiği [72]

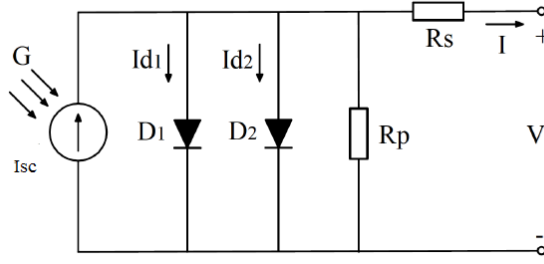
Bir güneş pilinin verimliliği, η , fotovoltaik hücreden alınabilecek gücün, hücre üzerine düşen güneş ışınım gücüne oranı olarak tanımlanır ve

$$\eta = P_m / P_{in} \quad (2.12)$$

olarak ifade edilir.

2.2.2. İki Diyotlu PV Hücre Elektriksel Eşdeğer Devre Modeli

İki diyotlu elektriksel eşdeğer devre modelinde, ideal tek diyotlu ve gerçek tek diyotlu eşdeğer devre modellerinde bulunmayan ikinci bir diyot kullanılmaktadır. Bu modellerde yerleştirilen ikinci diyotla, diyot faktörü n 'nin alabileceği değer aralığını genişletmek amaçlanmaktadır [11]. Şekil 2.8'de iki diyotlu PV hücre elektriksel eşdeğer devre modeli verilmiştir.



Şekil 2.8. İki diyotlu PV hücre elektriksel eşdeğer devre modeli [11]

İki diyotlu PV hücre elektriksel eşdeğer devre modelinde Kirchhoff akım kanunu uygulanırsa;

$$I = I_{SC} - I_{D1} - I_{D2} - I_P \quad (2.13)$$

eşitliği elde edilir. I_{D1} , I_{D2} diyot akımları ve I_P akım denklemleri (2.13) denkleminde yerine yazılırsa aşağıdaki ifade elde edilir:

$$I = I_{SC} - I_{01} \left(\exp\left(\frac{q(V+IR_S)}{n_1 kT}\right) - 1 \right) - I_{02} \left(\exp\left(\frac{q(V+IR_S)}{n_2 kT}\right) - 1 \right) - \frac{V + IR_S}{R_P} \quad (2.14)$$

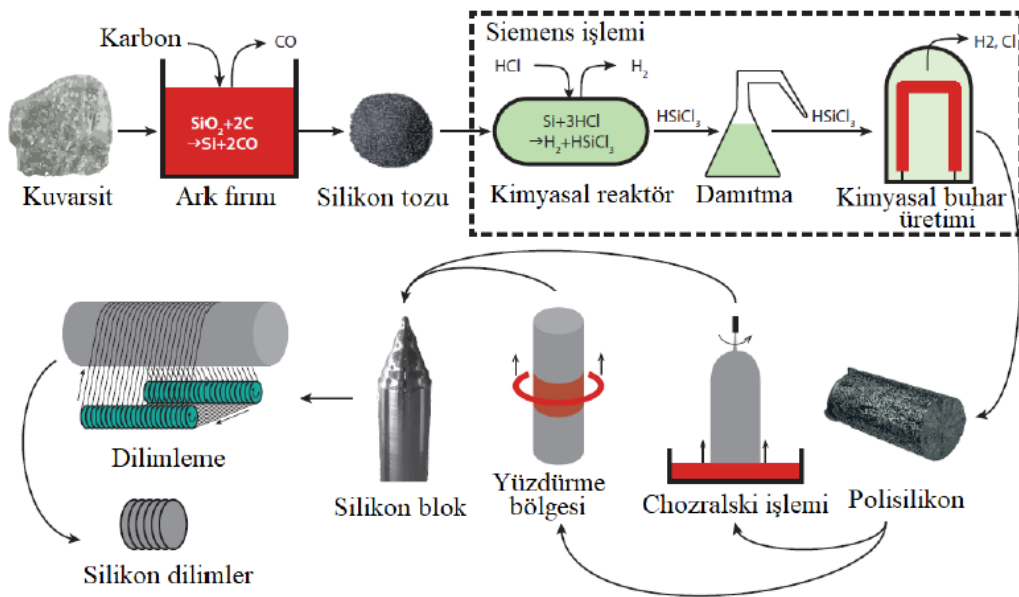
2.3. Fotovoltaik Hücre Çeşitleri

PV hücrelerinin üretimi için kullanılan teknolojiler genellikle iki farklı kategoride toplanmaktadır. Bunlardan biri kristalize silikon teknolojisi, diğeri ise son yıllarda yaygınlaşmaya başlayan ince film teknolojisidir. Kristalize silikon teknolojisi, sahip olduğu yüksek enerji dönüştürme verimliliği, görece düşük üretim maliyeti nedeniyle küresel üretimin çoğunluğunu oluşturmaktadır.

2.3.1. Monokristal Silisyum Fotovoltaik Hücreler

İlk ticari PV hücrelerdir. Silisyum, oksijenden sonra en bol bulunan ikinci element olup çoğunlukla, doğada silisyum dioksit (SiO_2) ve silikatlar (silikon ihtiva eden, oksijen, çeşitli metal bileşikleri) olarak bulunmaktadır. Kum ve kuvars en yaygın formlarından ikisidir. Kum genellikle silisyum haline getirilecek kadar saf değildir, ancak yüksek dereceli kuvarsit yatakları yaklaşık %99 saf silikat içerebilmektedir [11].

Doğada bulunan SiO_2 ve diğer silikatların endüstriyel uygulamalarda kullanılabilmesi için %98 ila %99 oranında polikristal silisyuma dönüştürülmesi gerekmektedir. Ancak polikristal silisyum PV uygulamaları için elverişsizdir. Bundan dolayı polikristalli yapıya dönüştürülmüş silisyum malzeme, monokristalli yapıya dönüştürülmek üzere en yaygın kullanılan yöntem olan Czochralski saflaştırma işlemine tabi tutulmaktadır [73]. Şekil 2.9'da, doğada bulunan kuvarsitlerin monokristal silisyum dilimlerine dönüştürülmesi için gerekli üretim aşamaları blok diyagramı olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Monokristal silisyum dilimlerinin üretilmesi [73]

Polikristal silisyumun saflaştırılmak üzere, Czochralski saflaştırma işlemine tabi tutulması bu hücrelerin maliyetlerinin görece yüksek olmasına neden olmaktadır. Ancak laboratuvar şartlarında erişilen %24 ve ticari uygulamalarda erişilen %15 ila

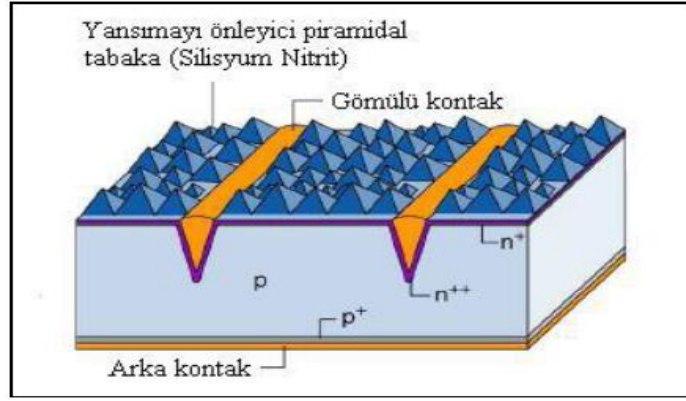
%21 arasındaki yüksek enerji dönüştürme oranları monokristal PV hücrelerin mevcut hücre üretim teknolojileri arasında en popüler olmasını sağlamaktadır. Şekil 2.10'da monokristal bir PV hücrenin üretim aşamaları gösterilmiştir [64].



Şekil 2.10. Monokristal silisyum fotovoltaik hücre üretim aşamaları [64]

Üretim aşamasında çekirdekler, ergimiş silisyum banyosundan çok düşük hızla çekilmektedir. Böylece monokristalli tabakanın büyümesi sağlanmaktadır. Hücreler yaklaşık 0.5 mm kalınlığında üretilmektedir. Hücre üretimindeki malzeme kaybı bir dezavantajdır. Hücre renkleri koyu mavi olup ağırlıkları yaklaşık 10 gramdan azdır. Monokristal silisyum güneş hücrelerinin üst yüzeyinde ön kontaklar bulunmaktadır. Ön kontaklar bakırdan üretilerek hücrenin ürettiği akımı toplamaktadır. Hücrenin ön yüzeyi güneş ışığı maksimum soğurmak için piramit veya konik şekillerdedir [64].

Ön kontakların altında ise yaklaşık 150 nm kalınlığında ve yansıtıcı özelliği olmayan, güneş ışığını büyük oranda soğuran bir kaplama tabaka bulunmaktadır. Bu yansıtıcı olmayan kaplamanın altında, hücredeki elektrik akımının oluştuğu P-N eklemi bulunmaktadır. N-bölgesi, hücrenin negatif; P-bölgesi ise hücrenin pozitif tarafını oluşturmaktadır. Hücrenin arka yüzeyinde ise elektronların girdiği pozitif kontak görevi yapan arka kontak yer almaktadır (Şekil 2.11).

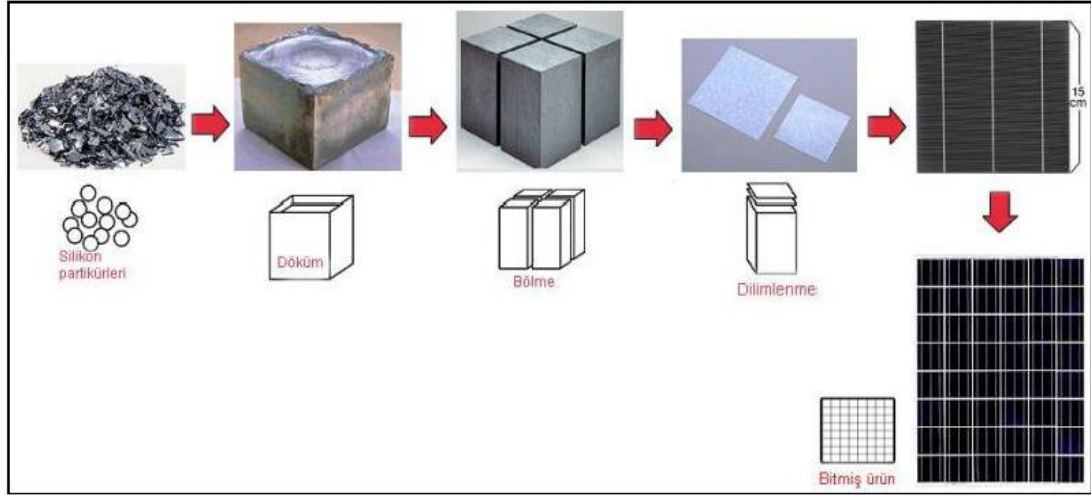


Şekil 2.11. Yansımayı önleyici piramit yapılı tabaka [64]

Bir PV panelin küresel pazarlarda geçerliliğinin olabilmesi için IEC 61215 sertifikasında belirtilen niteliklere sahip olması gerekmektedir. Bu sertifikada yer alan önemli niteliklerden biri, üretilen panellerin verimlilik testlerine tabi tutulması ve test sonuçlarının bir etiket olarak panelle birlikte sunulması zorunluluğudur. Standart koşullarda (STC) gerçekleştirilen bu test, PV panelin 1000 W/m^2 ışınım, 1.5 AM hava kütlesi, $25 \text{ }^\circ\text{C}$ hava sıcaklığı şartlarında; ürettiği maksimum güç (P_{max}), açık devre gerilimi (V_{oc}), maksimum gücün elde edildiği gerilim (V_{pm}), kısa devre akımı (I_{sc}) ve panellerin dizi haline getirilmesiyle oluşturulabilecek maksimum dizi gerilimi vb. değerler tolerans değeriyle beraber sunulmak zorundadır [74].

2.3.2. Polikristal Silisyum Fotovoltaik Hücreler

Polikristal silisyumun hücrelerin üretilmesinde dökme yöntemi en fazla kullanılan tekniktir. Monokristal ve polikristal silisyum için aynı başlangıç maddesi kullanılır. Her iki hücrede de istenilen saflık aynıdır (%99.99). Polikristal silisyum elde etmek için öncelikle erimiş silisyum kalıplara dökülerek soğutulur. Daha sonra yapı şeklinde bloklara bölünür. Bu teknik kullanılarak üretilen fotovoltaik hücrelerin verimleri ve üretim maliyetleri nispeten düşük olmaktadır [75]. Aslında polikristal silisyum, doğada bulunan kuvarsitleri monokristal silisyuma dönüştürürken uygulanan Siemens işlemi ile Czochralski saflaştırma işlemi arasında ortaya çıkan bir ara formdur (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 Polikristal silisyum fotovoltaik panel üretim safhaları

Polikristal silisyum hücrelerin üretim maliyetleri monokristal silisyumlara nazaran daha ucuzdur. Polikristal silisyum panellerden laboratuvar şartlarında % 18, ticari panellerde ise % 14 civarında verimlilik elde edilmektedir [76].

2.3.3. İnce (Thin) Film Fotovoltaik Hücreler

İnce film PV hücrelerinin kristalize hücrelere göre en önemli avantajı, saydam olan cam ve benzeri yüzeylere uygulanarak üretilebilmesinin yanında, esneklik gerektiren uygulamalarda sağladığı kolaylıklardır. İnce film silikon malzemeler genellikle, kimyasal buhar biriktirme (chemical vapour deposition, CVD) işlemleriyle elde edilmektedir. Bu yöntemle ince film üretimi esnasında, kullanılan gaz akış hızı, basınç ve sıcaklık değişkenlerine bağlı olarak reaksiyona sokulan elementlerden farklı elektriksel ve optik parametrelere sahip alaşımlar elde edilmektedir. İnce film PV hücreler, üretim aşamasında kullanılan alaşım durumuna göre, amorf silisyum (a-Si), galyum arsenit (GaAs), kadmiyum tellürid (CdTe), bakır indiyum diselenid (CuInSe₂) olarak sınıflandırılmaktadır [11].

Zaman içinde teknolojik gelişmeler sonucunda üretim maliyetlerinin düşürülmesi hedeflenmektedir. Yüksek maliyetle üretilmelerine karşın verimleri %7-14 arasındadır. Yüksek maliyet nedeni ile ticari pazarın ancak %7'sini teşkil etmektedir. Ancak atmosfer dışındaki verim %28 ile %30 civarında olduğundan İnce film PV hücreler uzay ve uydu uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır [76].

2.3.3.1. Amorf Silisyum İnce Film Fotovoltaik Hücreler

İçyapılarında sistematik olarak özel bir düzen bulunmayan cam gibi malzemelerdir. İçyapılarında birçok bağlanma hatası içerdiklerinden tam bir kristal atom düzenine sahip değildirler. Atomların düzensiz sıralanışı yasak bant aralığında daha fazla enerjilenme olmasına izin verdiğinden çok fazla birleşme merkezleri oluşmasına neden olmaktadır.

Malzeme içerisindeki gelişmiş güzel dizilim sonucunda amorf silisyumun elektriksel iletim kalitesinde meydana gelen düşüş yarı iletken içerisine %5 ile %10 oranında hidrojen katılarak elektriksel özellikleri fotovoltaik çevrime uygun düzeyde tutulabilir. Hidrojen doymamış Si bağlarının bazılarını doyurarak yasak enerji aralığında bulunan izinli durumların sayısını azaltır [76]. Bu nedenle, amorf silikon fotovoltaik hücrelerinin tasarımı kristal silikon PV hücrelerde kullanılan P-N bağlantı tasarımından oldukça farklıdır. Hidrojenlenmiş A-Si hücreler, aşağıdaki katmanlara sahip olacak şekilde tasarlanırlar [76]:

P + Üst katman: Kalınlığı çok az ($0.008 \mu\text{m}$) ve çok katmanlıdır.

Orta Katman: Biraz daha kalındır ($0.5-1 \mu\text{m}$) ve katkısızdır.

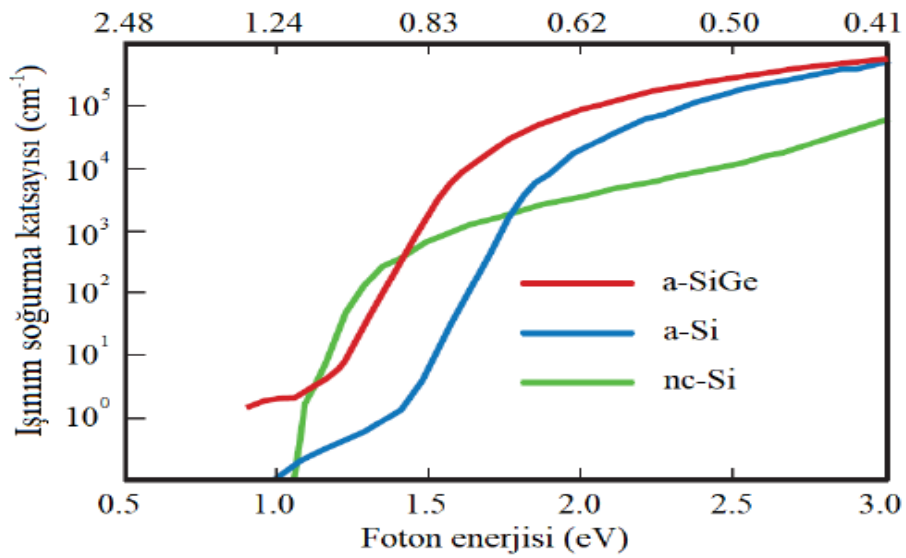
N - Alt Katman: Çok incedir ($0.02 \mu\text{m}$).

Şekil 2.13'de amorf silikon ince film bir PV panel gösterilmiştir [11].



Şekil 2.13. Amorf silisyum ince film PV panel [11]

Silisyum elementi yerine germanyum elementi kullanılarak benzer şekilde, amorfgermanyum (a-Ge) ve nanokristalin-germanyum (nc-Ge) alaşımları üretilebilmektedir. Bununla beraber, ince film silikon güneş hücrelerinde, valans elektron sayısı dört olan germanyum ve karbonlu alaşımlar da söz konusudur. Bunlar, amorf silikon-germanyum (a- SiGe), nanokristalin silikon-germanyum (nc-SiGe) ve amorf silisyum karbit (a-SiC) alaşımlarını içermektedir. Şekil 2.14’de a-SiGe, a-Si ve nc-Si alaşımlarıyla yapılmış amorf silikon hücrelerin ışınım soğurma katsayıları verilmiştir [11].



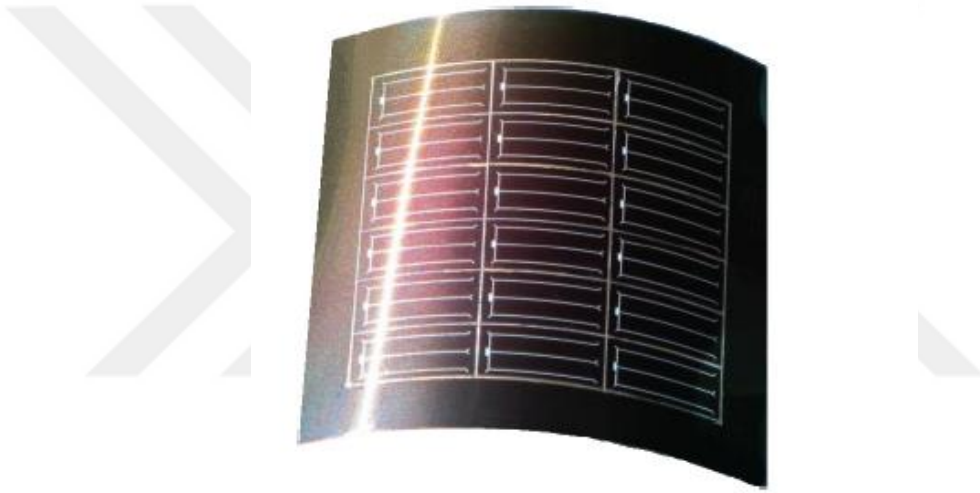
Şekil 2.14. Farklı türdeki ince film silisyum materyallerin soğurma katsayıları [11]

Nanokristalin silikonun bant aralığı, tanelerde bulunan kristal ağ nedeniyle kristalin silikona (~1.12 eV) yakındır. Amorf silikonun malzemenin bant aralığı, silikon ağına dâhil edilen hidrojen miktarı ile değişmek üzere 1.6 ile 1.8 eV arasındadır. Şekil 2.14’de görüldüğü gibi, a-Si’nin soğurganlığı, nc-Si’den daha yüksektir. Ancak foton enerjisinin yaklaşık 1.8 eV’tan yüksek olduğu ışınım miktarlarında nanokristalin silikon malzemenin soğurganlığının amorf silikondan çok daha iyi olduğu görülmektedir [77].

Günümüzde saat, hesap makinesi ve oyuncak gibi küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılmaktadırlar. Amorf silisyum güneş pillerinin, binalara entegre yarı saydam cam yüzeyler olarak, bina dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılabileceği tahmin edilmektedir [76].

2.3.3.2. Kadmiyum Tellürid (CdTe) İnce Film Fotovoltaik Hücreler

Kadmiyum tellürid ince filmler valans elektron sayısı iki olan kadmiyum (Cd) elementi ile valans elektron sayısı altı olan tellür (Te) elementinin oluşturduğu bileşiği içermektedir. Kadmiyum tellürid ince filmlerin enerji bant aralığı 1.44 eV'tur. Bu değer, galyum arsenit ince filmlerin enerji bant aralığına çok yakın olup, tekil jonksiyonlu güneş pilleri için ideal bir değerdir. Bu özellikleri, yüksek değerde foton soğurmaları için sadece yaklaşık 2 mikron kalınlığında bir malzemeye ihtiyaç duyulması avantajını sağlamaktadır [78]. Şekil 2.15'de kadmiyum-tellürid bileşiği ile üretilmiş bir PV modül görülmektedir.



Şekil 2.15. Kadmiyum tellürid ince film PV panel [11]

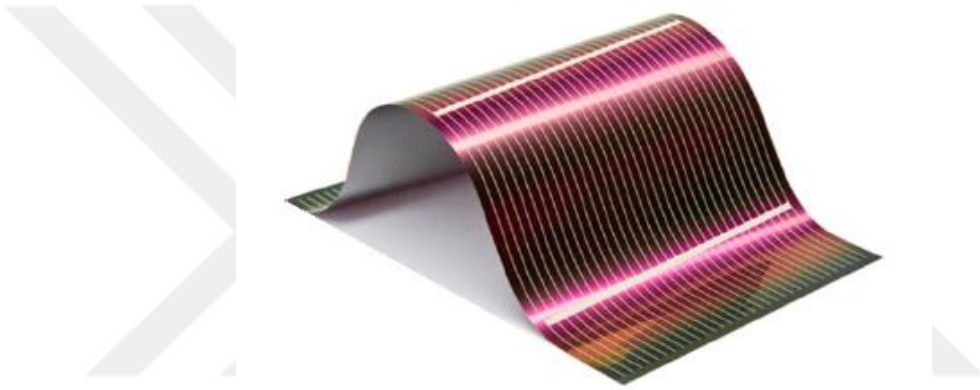
Kadmiyum tellürid ince film hücrelerin verimi laboratuvar şartlarında %19 iken ticari amaçla üretilen hücrelerde verim %7 civarındadır. İnce film hücreler arasında watt başına maliyet açısından en iyi orana sahiptirler [79].

2.3.3.3. Bakır İndiyum Diselenoid (CuInSe₂) İnce Film Fotovoltaik Hücreler

Periyodik tablonun birinci, üçüncü ve altıncı gruplarında yer alan elementlerin üçüncünün ya da daha fazlasının bir araya gelmesi ile oluşturulan bu bileşik yarı iletken malzemelerin soğurma katsayıları oldukça yüksek olup yasak enerji aralıkları güneşin spekturumu ile ideal bir şekilde uyuşacak biçimde ayarlanabilir. Bakır, indiyum ve selenyum dan yapılan üçlü bileşik yarı iletkenle başlayan bu grup CIS

güneş pilleri olarak anılır. CdTe güneş pillerine en yakın rakip olarak gözükmektedir [80].

Silisyum esaslı malzemelerden farklı olarak CIS kendiliğinden bir P-N jonksiyonu oluşturamamaktadır. Jonksiyonun oluşturulması için, kadmiyum sülfid (CdS) gibi başka bir yarı iletken bileşik ile ara yüz oluşturulmaktadır. CdS ancak N-tipi malzeme olarak kullanılabilirdiğinden CIS P-tipi olarak katkılanmak durumundadır. CIS PV hücrelerinde bulunan katmanlarla metalik temas kurmak için altın elementi etkili olsa da maliyeti artırdığından tercih edilmeyip bunun yerine görece verimsiz molibden elementi kullanılmaktadır [81]. Şekil 2.16’da bakır indiyum diselenid bileşiği ile üretilmiş bir ince film PV panel görülmektedir.



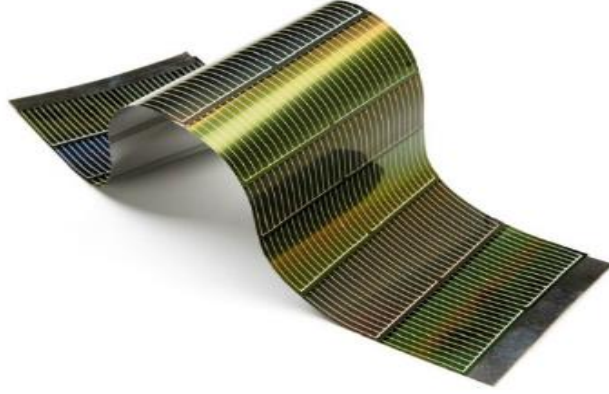
Şekil 2.16. Bakır İndiyum Diseleneid ince film PV panel [11]

CIS ince film PV hücreler üzerinde yapılan laboratuvar araştırmalarında kaydedilen enerji dönüşüm verimliliği yaklaşık %20 iken, ticari olarak üretilen CIS PV panellerin etkinliği %10 ila %12 arasında değişmektedir.

2.3.3.4. Galyum Arsenit (GaAs) İnce Film Fotovoltaik Hücreler

Galyum Arsenit ince film PV hücreler, tüm ince film teknolojileri içinde, hem standart test koşulları hem de yüksek ışınımlı koşullar altında en yüksek enerji dönüştürme verimliliğine sahiptirler. Alüminyum (Al), galyum (Ga) veya indiyum (In) gibi valans elektron sayısı üç olan elementler ve fosfor (P) veya arsenik (As) gibi valans elektron sayısı beş olan elementlerle yapılan bileşikler “III-V materyalleri” olarak tanımlanırlar. Bunlardan bazıları, Galyum arsenit (GaAs), galyum fosfit (GaP),

indiyum fosfit (InP), indiyum arsenit (InAs) ve daha karmaşık yapılara sahip olan GaInAs, GaInP, AlGaInAs ve AlGaInP yarı iletkenler bileşiklerdir [82]. GaAs bileşiği de III-V materyalleri arasında yer almakta olup ince film hücre üretme teknolojilerinde önemli bir konuma sahiptir. Şekil 2.17’de Galyum-Arsenit bileşiği ile üretilmiş bir ince film PV panel görülmektedir.



Şekil 2.17. Galyum Arsenit ince film PV panel [11]

Galyum arsenit bileşiği ile üretilen ince film hücrelerin enerji dönüşüm verimlilikleri, optik yoğunlaştırıcı sistemlerle beraber kullanıldığında, üretici firmaların tolerans değerleri de hesaba katıldığında %25 ila %28 gibi yüksek oranlardadır. Çok eklemlenmiş uygulamalarda, örneğin, galyum indiyum fosfit (GaInP)/GaAs tandem hücrelerinde enerji dönüşüm oranı, optik yoğunlaştırma sistemleri kullanılmaksızın %30 civarında olup uzay uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır. GaAs ince film hücrelerin yaygınlaşmasının önündeki en büyük neden maliyetlerinin çok yüksek olmasıdır [83-85].

2.3.4. Odaklamalı Fotovoltaik Hücre Teknolojisi

Odaklamalı FV hücre teknolojisi yarı iletken materyallerin inceltirilerek kullanımlarının azaltılması ve güneş konsantrasyonu kullanarak hücre verimliliklerinin artırılması stratejisi ile oluşturulmaktadır. Burada güneş ışını, su ile soğutulan hücreler üzerine mercek veya akrilik Fresnel aynaları ile odaklanarak konsantrasyon artışı ile artan elektrik gücü elde edilmektedir. Sistem verimlilikleri açısından en çok güneşli coğrafyalara uygun bir teknolojidir. Hücre verimi

konsantrasyon ile arttığı için modül üretiminde küçük alan (birkaç mm²) ile yüksek verimli (>% 20) hücreler üretilmektedir. Alçak konsantrasyonda (1–3 XG) Si, orta konsantrasyonda (3–100 XG) Si veya GaAs ve yüksek konsantrasyonlarda (>300 XG) ise çok-eklemlili (Si/Ge, GaAsP) hücreler kullanılmaktadır. Çok-eklemlili (GaInP/GaInAs /Ge) hücrelerde verim laboratuvar şartlarında % 41.6 iken ticari hücrelerde % 35–39, panellerde ise % 25–29 seviyelerindedir [14].

2.3.5. Ar-Ge Aşasında Olan Yeni Fotovoltaik Hücre Teknolojileri

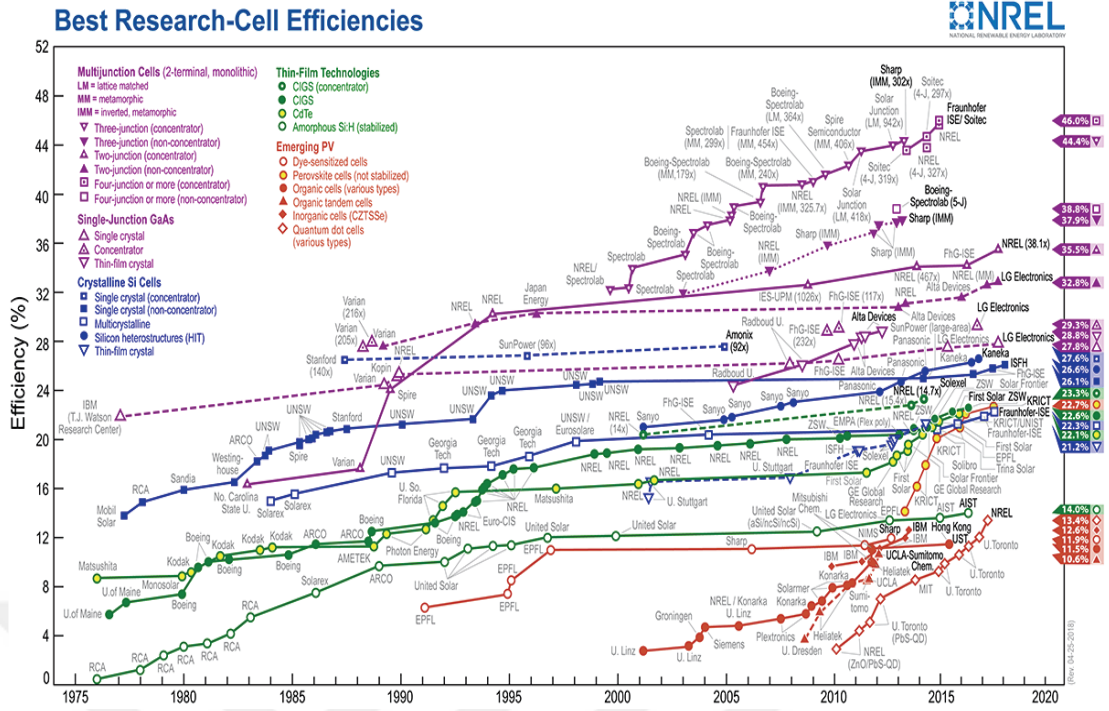
Boya ile duyarlaştırılmış ve organik güneş hücreleri yeni gelişmekte olan teknolojiler olup hücre verimlilikleri ve büyük alanlı panel imalatı açısından henüz inorganik ince film teknolojileri kadar gelişmemiştir. Bununla beraber üretiminde kullanılacak hammaddelerin ucuzluğu ve kaplama metotlarının basitliği nedenleriyle düşük verimliliklerde olsa bile birçok alanda uygulama bulabileceklerdir. Bu teknolojinin daha da iyileştirilip geliştirilmesinde Ar-Ge yapan üniversite ve enstitülerin yanı sıra üretim faaliyetlerini başlatan firmalar da bulunmaktadır [14].

Yukarıda incelenen ve pazarda yer alan PV hücre teknolojileri, kullanılan yarı iletken malzeme, bant aralığı, enerji dönüşüm etkinliği ve fiyat bakımından Çizelge 2.1’de karşılaştırılmıştır [11].

Çizelge 2.1. PV hücre teknolojilerinin karşılaştırılması [11]

Hücre Teknolojisi	Materyal Özellikleri	Absorbsiyon Değeri	Bant Aralığı	Fiyat
Kristalize Silisyum				
Monokristal	Yüksek	Düşük	Orta	Yüksek
Polikristal	Orta	Düşük	Orta	Orta
İnce Film				
Amorf silisyum	Düşük	Yüksek	Orta	Düşük
Çok Kristalli İnce Film (CIS, CGS, CIGS)	Orta	Yüksek	Yüksek	Düşük
Tek Kristalli İnce Film (GaAs, InP)	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek

Fotovoltaikler sistemler kullanılarak güneş enerjisinden direkt elektrik enerjisi üretiminin dünya genelinde rağbet görmeye başlamasının en önemli nedenlerinden biri, PV hücre üretim maliyetlerindeki düşüştür. Geçmişte güneş pillerinin üretimi çok zor ve sınırlı iken birçok araştırmacının katkısıyla geliştirilen teknikler sayesinde hem hücre verimlilikleri arttırılmış hem de fiyatlarda düşme sağlanmıştır. 1977 yılında, silikon esaslı PV hücrelerin fiyatı watt başına 76 USD iken, PV alanındaki yeni üretim teknikleri ve PV pazarının dünya çapında gelişmesinin sağladığı rekabet, 2015 yılı sonlarında fiyatların watt başına 0.30 USD'lere kadar inmesini sağlamıştır. Hücre fiyatlarındaki düşüş fotovoltaik sistemlerin kuruluş maliyetlerinin de düşmesine neden olmuştur [86]. Ayrıca, Fotovoltaik hücre verimliliklerinin arttırılması amacıyla Ar-Ge çalışmaları devam etmektedir. Son çalışmalar neticesinde %46'ya varan değerlerde verimler elde edilmiştir. Ar-Ge çalışmaları neticesinde ulaşılan fotovoltaik hücre verimleri Şekil 2.18'de verilmiştir [87].



Şekil 2.18. Ar-Ge çalışmaları neticesinde ulaşılan fotovoltaik hücre verimlerinin yıllara göre değişimi [87]

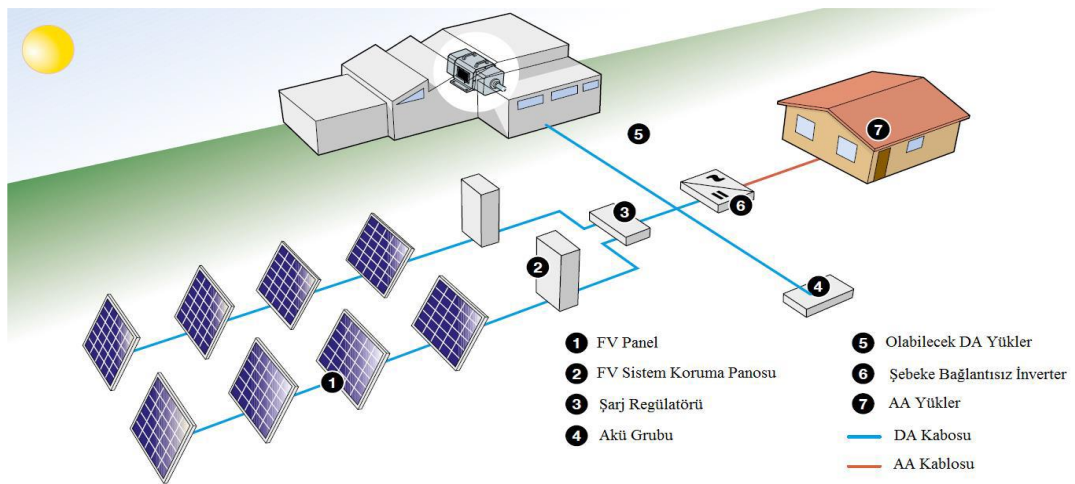
2.4. Fotovoltaik Güneş Enerji Sistemleri

PV hücreler, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. PV paneller uygulamaya bağlı olarak akümülatörler, invertörler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanarak bir fotovoltaik sistemi oluştururlar. Bu sistemler yakın zamanlara kadar sadece yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımamanın zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırken artık şebeke bağlantısı olan yerleşim yerlerinde de şebeke bağlantılı olarak evlerin çatılarına ve büyük ölçekli güç santral uygulamalarında da kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Bunun dışında dizel jeneratörler ya da başka güç sistemleri ile birlikte karma olarak kullanılmaları da mümkündür [88].

2.4.1. Şebekeden Bağımsız (Off-Grid) Fotovoltaik Sistemler

Şebekeden bağımsız sistemlerde istenen enerji miktarını karşılayacak sayıda fotovoltaik panel enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akümülatör (kuru tip akü, asitli akü, jel akü veya lityum iyon aküler) bulundurulmaktadır. Fotovoltaik paneller gün boyunca elektrik enerjisi üreterek bunu akümülatörde depolar ve ihtiyaç duyulan enerji akümülatörden alınmaktadır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi (şarj kontrol) ise akünün durumuna göre ya fotovoltaik panellerden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda sisteme bir invertör eklenerek akümülatördeki DC gerilim 220 V - 50 Hz. lik sinüs dalgasına dönüştürülmektedir. Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli destek elektronik devreler sisteme katılabilir. Bazı sistemlerde fotovoltaik panellerin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleyici (MPPT) cihazda bulunmaktadır [88].

Şebekeden bağımsız PV sistemler tarafından DC yükler (DC elektrik motorları, LED aydınlatmalar, haberleşme cihazları vb.) ve AC yükler (motorlar, pompalar, aydınlatmalar vb.) beslenebilmektedir (Şekil 2.19). Şebeke bağlantısız PV santrallerin kullanıldığı sulama pompaları gibi bazı sistemlerde anlık üretilen DC enerjinin kullanılması durumunda akü grubuna ihtiyaç duyulmamaktadır [60].



Şekil 2.19. Şebeke bağlantısız FV santral bileşenleri genel yapısı [60]

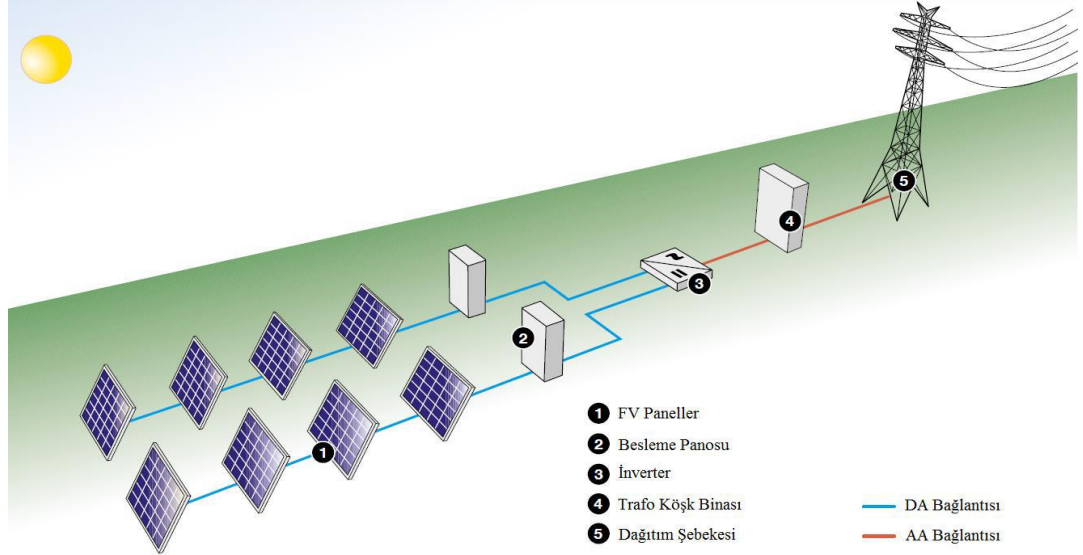
Fotovoltaik sistemlerin şebekeden bağımsız (Off-Grid) olarak kullanıldığı tipik uygulama alanları aşağıda sıralanmıştır:

- Haberleşme istasyonları, kırsal radyo, telsiz ve telefon sistemleri
- Petrol boru hatlarının katodik koruması
- Metal yapıların (köprüler, kuleler vb) korozyondan koruması
- Elektrik ve su dağıtım sistemlerinde yapılan telemetrik ölçümler, hava gözlem istasyonları
- Bina içi ya da dışı aydınlatma (LED aydınlatma uygulamaları vb)
- Dağ evleri ya da yerleşim yerlerinden uzaktaki evlerde TV, radyo, buzdolabı gibi elektrikli aygıtların çalıştırılması
- Tarımsal sulama ya da ev kullanımı amacıyla su pompajı
- Orman gözetleme kuleleri
- Deniz fenerleri
- İlk yardım, alarm ve güvenlik sistemleri
- Deprem ve hava gözlem istasyonları
- İlaç ve aşı soğutma [88].

2.4.2. Şebeke Bağlantılı (On-Grid) Fotovoltaik Sistemler

Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Sistemler şebekenin bulunduğu yerlerde direkt olarak şebekeye bağlantı yapılarak ürettiği enerjiyi elektrik iletim veya dağıtım hattına aktaran santrallerdir. Bu tarzda üretim yapan fotovoltaik santraller depolama birimine ihtiyaç duymazlar.

Şekil 2.20’de görüldüğü gibi şebeke bağlantılı fotovoltaik santraller iki şekilde tasarlanabilmektedirler. Birincisinde DC akımı AC akıma çevrerek doğrudan tek yönlü sayaç üzerinden şebekeye aktarılır. İkincisinde ise konut, mesken ve sanayi vb. elektrik tüketiminin olduğu yerlerde inverterden sonra çift yönlü sayaç kullanılarak aynı zamanda farklı yüklerde beslenilir [60].



Şekil 2.20. Şebeke bağlantılı FV santrale ait bileşenlerin genel yapısı [60]

Fotovoltaik santralde bulunan besleme panoları PV panellerin çıkışlarının bağlanıldığı ve koruma elemanlarının bulunduğu kısımlardır. Burada şalter ve manyetik kaçak akım röleleri gibi anahtarlama ve koruma elemanları bulunmaktadır. Şebeke bağlantılı inverterler PV paneller tarafından üretilen doğru akımı alternatif akıma çeviren yarı iletken anahtarlama elemanlarından oluşan cihazlardır. Piyasada bulunan inverterlerin verimleri yaklaşık %98 civarındadır [89]. Son zamanlarda fotovoltaik santrallerde inverter olarak yüksek verimliliklerinden dolayı trafosuz tam sinüs inverterler tercih edilmektedir.

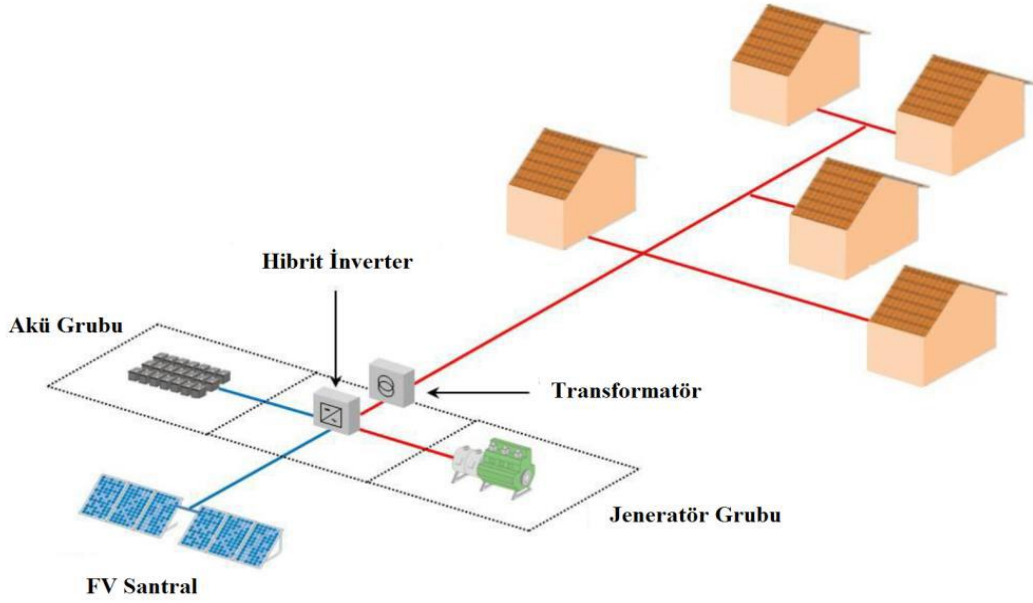
Şebeke bağlantılı inverterler güç büyüklüklerine göre merkezi inverter ve dizi inverter olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Merkezi inverterlerde tüm PV panel dizileri toplanıp tek bir invertere girişi yapılan genelde yüksek güçlü sistemlerdir. Dizi inverter de ise her bir PV panel dizisi çıkışı bir invertere giriş yapılarak çıkışları toplanıp dağıtımı yapılır. Dizi inverterlerde tek fazlı ve üç fazlı olmak üzere iki çeşitleri bulunmaktadır [60].

Fotovoltaik santrallerde bulunan trafo köşk binası içerisinde trafo, AG dağıtım panosu ve OG panosu (trafo koruma hücresi, ölçü hücresi ve kesicili çıkış hücresi) bulunmaktadır.

2.4.3. Hibrit Fotovoltaik Sistemler

Fotovoltaik sistemler meteorolojik şartlara bağılı olması nedeniyle süreksiz ve kesintili enerji üretimi sağlamaktadır. Fotovoltaik santralin kesildiğı veya yetersiz olduğı durumlarda diğeri güç üretim sistemlerinin devreye girerek kesintisiz güç sağlayacak şekilde tasarlanmış olan santrallere hibrit fotovoltaik santraller denilmektedir (Şekil 2.21). Hibrit fotovoltaik santrallerde ikincil güç üretici olarak genellikle rüzgâr türbinleri veya dizel jeneratörler tercih edilmektedir [90].

Hibrit Fotovoltaik Santraller şebeke bağılantılı veya şebeke bağılantısız olarak tasarlanabilmektedir [91].



Şekil 2.21. Hibrit FV santrale ait bileşenlerin genel yapısı [90]

2.5. Fotovoltaik Panellerin Olumlu ve Olumsuz Özellikleri

2.5.1. Olumlu Özellikleri

- Güneş ışınımının direkt elektrik enerjisine dönüştüren tüm sistemler içinde en yüksek verime sahiptirler. Günümüzde üretilen güneş panellerinin verimleri %30 dolaylarında görülmektedir.
- Yeteri kadar güneş ışınımına bağlı olarak ihtiyaç duyulan bütün coğrafi konumlarda kurulabilirler.
- Kurulması hızlı ve basittir. İhtiyaç halinde kapasiteleri rahatlıkla arttırılabilir veya azaltılabilir.
- Güneş panelleri modüller şeklinde bir araya geldiklerinden dolayı herhangi bir modülde arıza çıkıp devreden çıkılması halinde diğer modüller elektrik enerjisi üretmeye devam ederler.
- Teorik ve laboratuvar çalışmalarına göre ömürleri ortalama 20-25 yıl arasındadır.
- Sessiz ve temiz bir şekilde elektrik enerjisi üretirler, konvansiyonel enerji kaynaklarının aksine ekolojik çevreye zarar vermezler.
- Birim ağırlık olarak yüksek çıkış gücüne sahiptirler.
- Üretimleri için kullanılan maddeler (örneğin Silisyum) dünyada bolca bulunmaktadırlar.
- Tükenebilen geleneksel enerji kaynakları kullanılmamaktadır. Enerji üretiminde hammadde masrafı yoktur.

2.5.2. Olumsuz Özellikleri

- İlk kurulum aşamasında yüksek maliyetler söz konusudur.
- İlk olarak üretilen elektrik akımı doğru akım olduğundan dolayı bu doğru akımı alternatif akıma dönüştürmek için bazı ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle de üretilen enerjide kayıplar ve verim düşüşleri görülmektedir.
- Sürekli üretim söz konusu olmadığı için üretilen elektrik enerjisinin depolanması için bir akü grubuna ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da sistem için ek maliyet doğurmaktadır.

- Güneş ışınımının yüksek olduğu alanlar gerekmektedir.
- Güneş ışınımının çok fazla olduğu bölgelerde yüksek sıcaklıktan dolayı verimin düşmesi riski söz konusudur.
- Üretilen enerjinin veriminde çevresel faktörlerin (sıcaklık, nem, rüzgâr, panel sıcaklığı, toz gibi) olumsuz etkileri olduğundan sistem tasarlanırken bu parametreler dikkate alınmalıdır.



3. FOTOVOLTAİK PANELLERDE VERİM

Fotovoltaik güneş panellerinin verimleri 1000 W/m² güneş ışınımı, 25°C sıcaklık ve 1.5 kütle hava oranı (airmass) gibi standart test koşulları (STC) doğrultusunda belirlenmektedir. Fotovoltaik hücreden elde edilecek bir güç miktarı hesaplanabilmektedir. Bir fotovoltaik güneş pilinden elde edilen maksimum gücün, fotovoltaik hücrenin üstüne düşen maksimum güç değerine bölünmesine fotovoltaik güneş hücresinin verimi adı verilir ve η sembolüyle gösterilmektedir [92]. Fotovoltaik güneş hücresinin veya panelinin maksimum güç çıkış değeri P_m ve atmosferin dışında birim alan yüzeyine düşen güneş enerjisi şiddetinin optik giriş güç değeri P_{in} olmak üzere verim,

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} \quad (3.1)$$

ile hesaplanabilmektedir [93].

Fotovoltaik güneş pillerinin verimini tespit etmek için üç parametre kullanılmaktadır. Bu parametreler; açık devre gerilimi (V_{OC}), kısa devre akımı (I_s) ve doluluk faktörüdür (fill factor) [63]. Radyasyon kaybı katsayısı ise, uzay uygulamalarında kullanılan dördüncü bir parametre değeridir [63].

Açık Devre Gerilimi (V_{OC}): Fotovoltaik hücreden akan akım değerinin sıfır (0) olması halinde, pil terminalleri arasında ölçülen gerilim değeridir[94]. Başka bir ifade ile fotovoltaik güneş pilinin dış devresine bağlanan yük direncinin (R_L), devrenin kendi direncinden daha büyük olması halinde terminaller arasında ölçülen gerilim değeridir. Yük direnci çok yüksek olduğundan dolayı devreden herhangi bir elektrik akımı geçmez [63].

Kısa Devre Akımı (I_s): Fotovoltaik güneş hücresinin terminallerine verilen gerilimin sıfır olması durumunda, ışınım altında fotovoltaik pilden geçen akım değeridir. Seri direnç kayıplarının ihmal edilmesi durumunda; ışıkla meydana gelen akıma eşit olup, ışıma şiddetine doğrudan bağlıdır [94]. Başka bir ifade ile bu akım devre direncinin, pilin dış devresine eklenen yük direncinden (R_L) yüksek olması durumunda, yük direnci üzerinden geçen akımdır [63].

Fil Faktörü (FF): Bir fotovoltaik güneş hücresine ait maksimum çıkış gücünü, açık devre gerilimi ve kısa devre akımına dayalı olarak belirlemede kullanılan bir değişkendir [94]. Doluluk faktörü de denilmektedir. Devreye bağlı seri direncin artması ile doluluk faktörü azalmaktadır [95] ve

$$FF = \frac{P_m}{V_{OC} \times I_S} = \frac{V_{max} \times I_{max}}{V_{OC} \times I_S} = \frac{\eta \times I_S \times A_C}{V_{OC} \times I_S} \quad (3.2)$$

ile tanımlanabilir. FF açık devre geriliminin fonksiyonu olarak,

$$FF = \frac{V_{OC1} - \ln(V_{OC1} + 0.72)}{V_{OC1} + 1} \quad (3.3)$$

ile verilir. Burada;

$$V_{OC1} = \frac{V_{OC}}{kT/q} \quad (3.4)$$

ile tanımlanır. kT/q ifadesi hücrenin termal gerilimi ile ilgili olup normal şartlardaki oda sıcaklığında 0.02559 V dur. [94]

Fill faktörünün parametresi, fotovoltaik güneş pilinin ideal olma ölçütüdür. İdeal bir güneş pili için doluluk faktörü 1 değerine eşit çıkmaktadır. Doluluk faktörünün yüksek olabilmesi için, devreye seri bağlı direnç değerinin (R_s), diyodun ideal olma parametresinin (A_o), ters doyum akım yoğunluğu değerinin (J_o) ve sıcaklık (T) değerinin küçük; yasak enerji aralığı (E_g) ve paralel direnç değerinin (R_p) büyük olması gerekmektedir [63]. Buna göre;

$$\eta = \frac{(V_{OC} I_S) FF}{P_{in}} \times 100(\%) \quad (3.5)$$

ile de verim hesaplanabilir. [15]

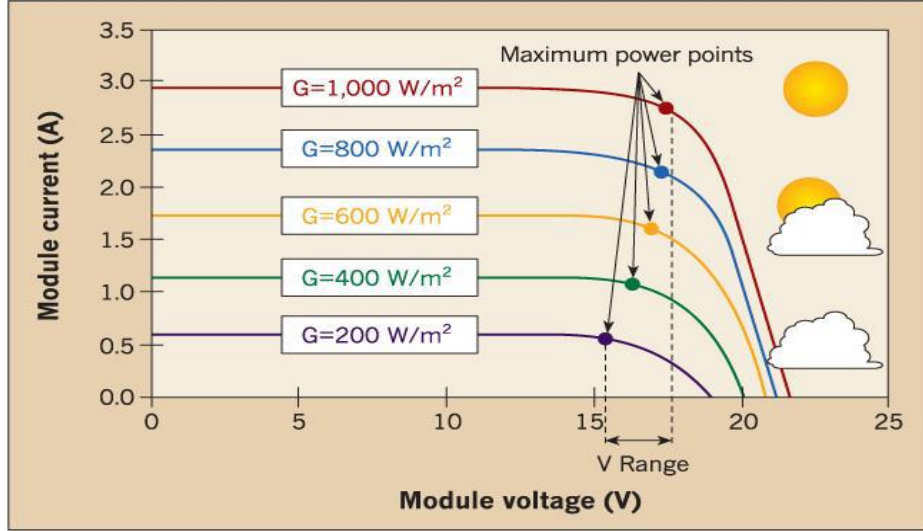
3.1. Çevresel Parametrelerin Fotovoltaik Panel Verimine Etkileri

PV paneller yapılarındaki yarı iletken malzemeye bağlı olarak güneş enerjisini %6-%30 verimle elektrik enerjisine dönüştürürler. Düşük verimliliğe sahip PV panellerin verimine etki eden birçok etken bulunmaktadır. Bunlar; panel eğim açısı, gölgelenme, sıcaklık, güneş ışınım şiddeti, PV sıcaklığı, rüzgâr hızı, nem ve diğer kayıplardır [96,97].

Bu etkenler arasında yer alan güneş ışınım şiddeti, sıcaklık, rüzgâr hızı, nem ve panel sıcaklığı panel verimine etki eden en önemli parametrelerdir. Gün boyunca güneş ışınım şiddeti ve sıcaklık gibi atmosferik şartların değişmesi panel verimini de önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle değişen atmosferik şartlara bağlı olarak çevresel faktörlerin panel verimine olan etkisinin bilinmesi ve üretilecek gücün tahmini önemlidir. PV paneller üzerinde belirtilen değerler, laboratuvar ortamlarında gerçekleştirilen testler sonucu Standart Test Koşulları (STC) olarak adlandırılan 1000 W/m² güneş ışınım şiddeti, 25 °C hücre sıcaklığı ve A.M. 1.5 hava kütle oranı şartlarındaki panelin elektriksel değerlerini vermektedir. STC dışındaki değişimlerde PV panelin elektriksel değerleri bilinmemektedir [98-100]. PV sistemlerin yıllık performanslarının değerlendirilmesi için doğru yöntemin belirlenmesinde çevresel faktörlerin dikkate alınması gerekmektedir [101].

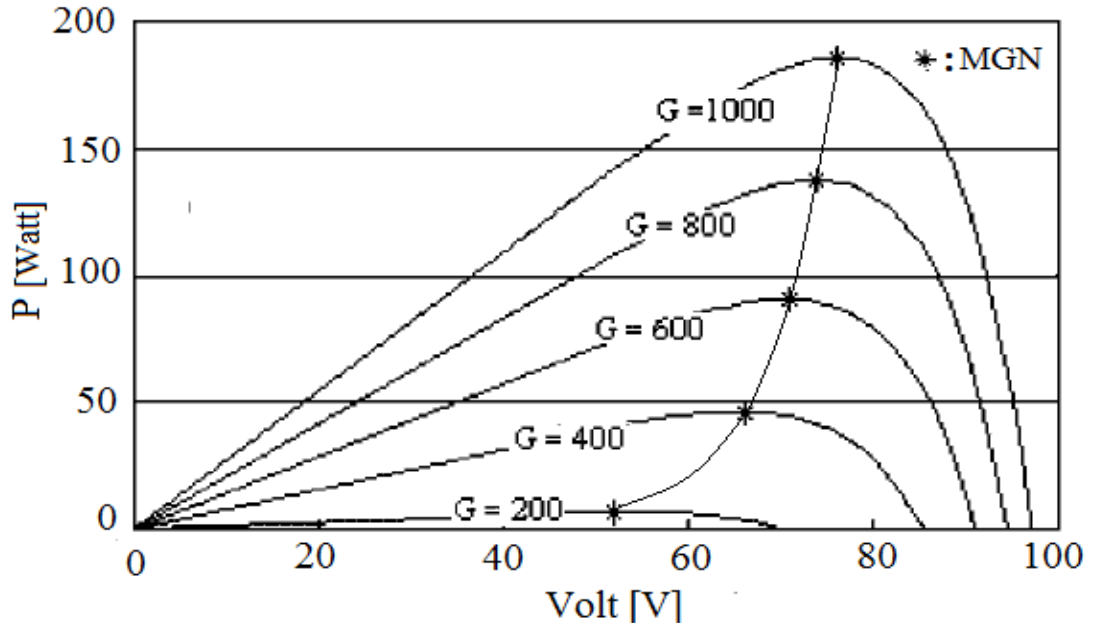
3.1.1. Güneş Işınım Şiddetinin Etkileri

PV sistemlerde güneş ışınım şiddeti güç çıkışı üzerinde en büyük etkiye sahiptir. Fotoakım (PV kısa devre akımı) genliği güneş ışınım şiddeti ile doğru orantılı olarak değişmektedir. PV hücrenin pratik çalışma aralığındaki foto-dönüştürme verimi güneş ışınımındaki değişimlerden fazla etkilenmez. Fakat bu aynı gücün elde edileceği anlamına gelmez, çünkü bulutlu bir gündeki hücrenin topladığı enerjide düşük olacağından, yani giriş enerjisi azaldığından (verim sabit) çıkış gücü de düşmektedir. Ayrıca PV panelde üretilen akım güneş ışığı yoğunluğu ve radyasyonu ile artmaktadır. Işınımın önemli oranda değişmesi akımı önemli ölçüde değiştirmesine rağmen gerilim neredeyse sabit kalır (Şekil 3.1) [102].



Şekil 3.1. Güneş ışınımının fotovoltaik hücre I-V karakteristiğine etkisi [102]

Güneş ışınlarının fotovoltaik hücre üzerine düşme açısına bağlı olarak panelin gücü değişmektedir. Şekil 3.2’de değişik radyasyon düzeyleri (güneşlenme düzeyi) için ideal P-V karakteristiği verilmiştir.



Şekil 3.2. Güneş ışınımının fonksiyonu olarak ideal P-V karakteristiği (Maksimum Güç noktası (MGN) ve G: Güneşlenme düzeyi (W/m^2)) [103]

Şekilden de açıkça görüldüğü gibi panelden çekilen maksimum güç değeri (MGN) güneşlenme düzeyi ile doğru orantılı olarak değişmektedir [103]. Güneş ışınları yüzeye dik geldiğinde ve ışınların atmosferde daha kısa yol almaları sebebiyle UV radyasyon da bu durumda en yüksek değerine ulaşmaktadır. Güneş ışınlarının yeryüzüne geliş açısı, dünyanın güneş etrafındaki yıllık hareketine ve enlemlere göre değişmektedir. Yılda iki kez güneşi dik açıyla alan ekvator bölgeleri, yüksek enlemler kutup bölgelerine oranla daha fazla güneş radyasyonuna maruz kalmaktadır. Ayrıca sıcak enlemlerde, uzun dönemli gün ışığının ve yerel öğleye yakın zamanlarda yüksek güneş irtifasının sonucu olarak yaz mevsiminde en fazladır [104,105].

Fotovoltaik hücre üzerine gelen ışık miktarı, yük taşıyıcıların oluşumunu doğrudan etkiler ve neticede modülün ürettiği akımı da etkilemektedir [106]. Fotoakım (PV kısa devre akımı) genliği güneş yoğunluğu ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Örneğin %90 güneş yoğunluğu (900 W/m²) altındaki kısa devre akımı, %45 güneş yoğunluğu (450 W/m²) altındaki kısa devre akımının iki katıdır. I_{sc}, STC'de ölçülen kısa devre akımını ve G_{ref} de STC'deki ışık şiddetini göstermek üzere, G güneş pili yüzeyine gelen etkin ışık şiddetindeki kısa devre akımı aşağıdaki gibi ifade edilir [107]:

$$I_{GW/m^2} = \frac{I_{sc}}{G_{ref}} G \quad (3.15)$$

Açık devre gerilimi güneş pilinin veya modülün kısa devre ve diyot karanlık doyma akımına logaritmik olarak bağlı olduğundan, artan ışık şiddetiyle açık devre geriliminin de değeri akımdaki değişime göre daha yavaş bir şekilde artmaktadır [107]. k bir katsayı, G yüzeye gelen ışığın enerjisini göstermek üzere kısa devre akımı ve açık devre geriliminin ışık şiddetiyle olan değişimi:

$$I_{sc} \cong I_L = kG \quad (3.16)$$

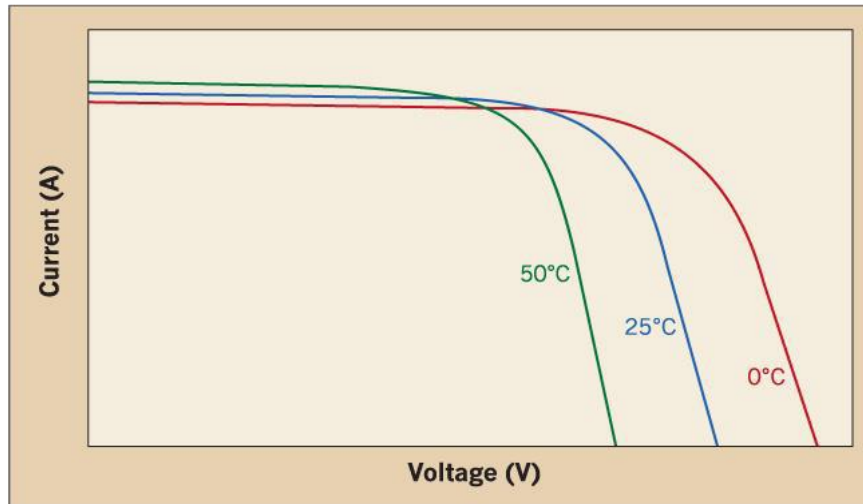
$$V_{oc} = \frac{nk_B T_c}{q} \ln \left(\frac{kG}{I_o} \right) = a \ln \left(\frac{kG}{I_o} \right) \quad (3.17)$$

denkliğiyle ifade edilebilir.

Güneş ışınımı kısa devre akımını (I_{SC}) ve açık devre gerilimini de arttırdığı için (V_{OC}) PV sistemden elde edilen güçte artar. PV sistemlerinde panelleri güneş ışınımını en fazla alacak şekilde yerleştirmek elde edebileceğimiz gücü yükseltecektir.

3.1.2. Çevre Sıcaklığı ve PV Hücre Sıcaklığının Etkileri

PV' lerin çalışmasında sıcaklığın etkisi oldukça önemlidir. Çevre sıcaklığındaki artışlar hücre sıcaklıklarının da artmasına neden olmaktadır. PV' lerin kısa devre akımı sıcaklığın düzgün artışıyla yükselme eğilimi gösterir [108]. Fakat açık devre voltajı ve dolun faktörü logaritmik olarak azalma gösterir. Sonuçta üretilen güç daha düşük değerlerde olmaktadır. Yani PV sıcaklığı arttıkça PV den elde edilen güç düşmektedir. Fotovoltaik panellerde, havanın açık olduğu soğuk bir günde, sıcak havaya göre performansın daha yüksek olduğu görülmektedir. Her $1^{\circ}C$ 'lık sıcaklık artışı, elde edilen gücü %0.5 oranında azaltmaktadır. Atmosferdeki fazla su buharı, ışınımın perdelenmesine neden olmaktadır. Havadaki su buharı, yağmur ve kar şeklinde yoğunlaştığında atmosfer daha berrak olup ışınımın engellenmesi en az seviyede olur [109]. Dolayısıyla özellikle yüksek ortam sıcaklığına sahip olan bölgelerde güneş panellerinden yüksek verim elde edebilmek için soğutma kaçınılmazdır. PV panellerin çalışma sıcaklığının değişmesi ile I-V eğrilerinde meydana gelen değişim Şekil 3.3'de gösterilmektedir.



Şekil 3.3. PV Panel verimin ortam sıcaklığıyla değişimi [105]

Sıcaklığın düşük tutulması ile yüksek çıkış verimi elde etmek amacıyla uzay uygulamalarında kullanılan fotovoltaik güneş panellerinin üzeri erimiş silikondan oluşmuş, saydam bir katman ile kaplanmaktadır. Bu katman çok katmanlı bir filtre karakteristiği gösterir ve mor ötesi ışınların güneş pilinin yüzeyinden yansımalarını sağlamaktadır [63]. Çizelge 3.1’de kullanılan malzemeye göre sıcaklık değişim oranı gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Bazı yarıiletken enerji bant aralığının sıcaklıkla değişimi [108]

Malzeme	T = 300 °K	T = 0 °K
Si	1.12 eV	1.17 eV
Ge	0.67 eV	0.75 eV
PbS	0.37 eV	0.29 eV
PbTe	0.29 eV	0.19 eV
InSb	0.16 eV	0.23 eV
GaSb	0.69 eV	0.79 eV

Sıcaklığın etkisi tüm panel üreticileri tarafından tanıtım kataloglarında (datasheet) verilir. Bu bilgilerle farklı sıcaklık durumlarındaki sistem güç çıkışı hesaplanabilir. Türkiye’de yapılan çalışmalar ışığında uzun yılların ortalamasına bağlı olarak meydana gelen verilere göre güneş paneli verimlerinin yaklaşık olarak %2.68’lik verim kaybı söz konusudur. Yüksek güneş ışınımına bağlı olarak yüksek güneş paneli verimi söz konusu iken yine yüksek ışınım ve yüksek sıcaklık değerleri söz konusu olduğunda güneş paneli veriminde düşme durumu da kaçınılmaz bir gerçektir [110].

3.1.3. Nemin Etkileri

Nem havadaki su buharı oranı olarak tanımlanmaktadır. Güneş panellerinin çalışma prensibi; güneşten gelen elektromanyetik ışımının paneldeki yarı iletken malzemenin fotoelektrik özelliği göstererek gelen ışımının elektrik enerjisine dönüşmesi şeklindedir. Güneş ışınlarının panele ulaşana kadar çevresel şartlardan etkilenmesi demek panellerdeki verimin değişmesi anlamına gelmektedir. Dolayısıyla panellerin yerleştirildiği bölgedeki nem de panellerin verimini değiştirebilecek bir

başka etkidir. Bu konudaki çalışmalar incelendiğinde; özellikle sahil bölgelerinde nem değerindeki dalgalanmaların farklı panel tiplerinde (monokristal-Si, polikristal-Si ve Amorphus-Si) enerji üretiminde küçük de olsa dalgalanmalara sebep olduğu gösterilmiştir [111]. Bir başka çalışmada ise; laboratuvar ortamında, sıcaklık sabit tutularak farklı nem değerlerinde bir güneş panelinin açık devre gerilimi, kapalı devre akımı ve ürettiği enerji ölçülmüş ve %25'lik bir nem değerinde ürettiği enerji 47538 wattaat ölçülürken, %55'lik nem değerinde ise 30681 wattaat olarak ölçülmüştür [112]. Özellikle göl kenarı, deniz kenarı gibi bölgelerde güneş panellerinin verimlerinde nemin bir etken olduğu düşünülebilir.

3.1.4. Rüzgâr Hızının Etkileri

Daha önce belirtildiği gibi PV hücre performansı hücre sıcaklığına keskin bir şekilde duyarlıdır. PV hücre sıcaklığı, hava değişkenleri (ortam sıcaklığı, rüzgâr, vb.), güneş ışınımı, hücre materyali ve sisteme bağlı özellikler (cam kapak geçirgenliği, plaka emme, vb.) gibi farklı parametrelerin bir fonksiyonudur [113].

Panel ısısı çevre sıcaklığından, rüzgâr hızından, bulut yapısından ve PV sistemin pozisyonundan etkilenmektedir. Rüzgâr hızı PV panel sıcaklığını düşüreceğinden; PV hücre sıcaklığı rüzgâr hızına yüksek, rüzgâr yönüne ise düşük ölçüde duyarlıdır [114].

3.1.5. Toz ve Kirlenmenin Etkileri

Güneş panellerinin verimini etkileyen bir diğer önemli çevresel faktör ise panel yüzeyinin toz, çamur, kuş dışkısı, yaprak vb kirlenmesidir. Özellikle güneş panellerinin yerleştirildiği bölgenin coğrafi konumu, panel yüzeylerinin kirlenmesi sonucu enerji verimliliğini yüksek oranda etkilemektedir. Yapılan çalışmalarda; panel yüzeylerinin özellikle tozdan kirlenmesi yüzünden verimlerinin %4 ile %32 oranında etkilendiği tespit edilmiştir. Bu konuda ilk çalışma 1942 yılında güneş ışınları ile su ısıtma sistemine sahip bir düzenek üzerinde yapılmış ve tozun (güneş panelinin yüzeyindeki kirliliğin) verimi %4.7 azalttığı gözlemlenmiştir. Yarı-iletken teknolojinin ilerlemesi ve güneş panellerinin kullanımı arttıkça çalışmalarda artmıştır [115-118].

Bir güneş panelinin yüzeyine düşecek bir yaprak veya kuş dışkısının panelin elektrik karakteristiğine etkisi üzerine de çalışmalar yapılmıştır. Dorobantu ve çalışma

arkadaşlarının yapmış olduğu bir çalışmada güneş paneli üzerindeki kuş dışkısının termal kameralar ile incelenmesi sonucunda panelin ilgili bölgesinde panel sıcaklığını 100  C kadar arttırdığı ve panel verimini olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir [119,120].

3.1.6. Kar ve Buz Etkileri

Güneş panellerinin yerleştirildiği bölgenin coğrafi konumuna göre karşılaşılan bir diğer önemli çevresel etken kar ve buzdur. Bu evresel etkenin güneş panellerinin verimine etkileri; panellerin yerleştirildiği mekanik aksama binen ekstra yk, güneş ışınlarının saçılarak dağılması ve güneş panellerinin yüzeylerinin kaplanması şeklinde özetlenebilir. Bu konu ile ilgili olarak diğer çevresel etkenlere nazaran çok fazla çalışma yapılmamıştır. Fakat coğrafi konuma göre çok önemli bir etken olabilmektedir [121].

3.1.7. Gölgelenmenin Etkileri

Fotovoltaik panellerin gölgede kalması panel verimliliğini etkilemektedir. Glgeye neden olan etkenler çatıdaki antenler, ormanlık araziler, ağaç dallar dağlar, yüksek binalar gibi çevresel etkenlerdir. Hücre zerindeki kk de olsa bir gölgelenme verimliliğe önemli lde etkilemektedir. Bir hücredeki gölgelenme diğer dizelerde ki hücrelerin performansını da önemli lde etkilemektedir. Dış etkenlerden kaynaklan gölgelenmenin yanı sıra aynı dizede ki panel sırası ndeki panel sırası tarafından gölgelenebilir bu da verimliliğe olumsuz etki etmektedir [122]. Bu nedenle PV panellerin güneş ışınını aldığı güney cephesinde gölge oluşturacak herhangi bir engel bulunmamasına dikkat edilmelidir [120].

3.2. Hücresel Parametrelerin Güneş Panellerinin Verimine Etkileri

3.2.1. Yüzey Parametresinin Etkileri

PV panel üzerine düşen güneş ışınlarının bir kısmı, panelin içyapısında bulunan yarı iletken madde tarafından soğrulmadan panelin üst yüzeyi tarafından atmosfere geri yansıtılmaktadır. Bu geri yansıtma miktarı güneş panelinin oluşturulmasında kullanılan yarı iletken maddenin yapısına göre değişkenlik göstermektedir [92]. Fotovoltaik güneş pillerinin güneş ışınlarını yansıtma katsayısı, ışığın geçtiği ortamların kırıcılık parametrelerine ve yok olma parametrelerine bağlı olarak

$$R = \frac{(n_{k1} - n_{k2})^2 + k_{y1}^2}{(n_{k2} - n_{k1})^2 + k_{y2}^2} \quad (3.18)$$

ile hesaplanabilmektedir [93]. Burada:

n_{k1} ve n_{k2} : Işığın geçtiği ortamın kırıcılık indisleri

k_{y1} ve k_{y2} : Bu ortamlara ait yok olma katsayıları

olarak ifade edilmektedir.

3.2.2. Spektral Etki

Yarı iletken üzerine düşen tek bir dalga boyuna sahip ışık, elektron ve hol çiftlerinin meydana gelmesine neden olmaktadır. Elektron-hol çiftlerinin meydana gelme hızlarının, yarı iletken yüzeyinden güneş pilinin içine doğru olan değişim miktarı

$$G = (1 - R)\alpha N e^{\alpha x} \quad (3.19)$$

ile hesaplanır. Burada:

N = Yarı iletken üzerine düşen ışık foton akısı

R = Yansıtma katsayısı

α = Soğurma katsayısı olarak ifade edilmektedir[123].

Çok büyük dalga boyuna sahip olmayan ışınım için α parametresi çok büyük olduğundan dolayı yarı iletken üzerine düşen bu ışınım yarı iletken tarafından hemen soğurulmaktadır [93].

3.2.3. Foton Açısı Etkisi

Yarı iletken maddeden meydana gelen fotovoltaik güneş paneli üzerine düşen fotonlar, panel yüzeyine geldiğinde gelen ışığın bir bölümü panel yüzeyi tarafından geri yansıtılır ve yansıyan kısımdan sonra kalan diğer ışın miktarı ise yarı iletken madde tarafından emilir ya da yarı iletken maddeden geçer [93].

Gelen ışın güneş panelinin üst yüzey normali ile bir açı yaparak geldiği zaman, güneş ışınımının bir kısmı panel yüzeyi tarafından yansıtılmaktadır. Yüzeyin yansıtma katsayısı, ışınların geçtiği ortamların kırıcılık indisine ve yok olma parametrelerine dayalı olarak değişmektedir [92].

Gelen ışınların güneş pili yüzeyi tarafından yansıtıldıktan sonra gelen ışığın şiddeti zayıfladıktan sonra yarı iletken içinden geçmektedir. Bu geçen zayıf ışınım ise

$$T = \frac{(1 - R)^2 e^{-\alpha x}}{(1 - R)^2 e^{-2\alpha x}} \quad (3.20)$$

bağıntısı ile verilmektedir.

3.2.4. Güneş Pili İç Seri Direnç Etkisi

PV panel iç yapısında bulunan seri dirençten dolayı oluşan verim kayıpları, panel boyunca oluşan akımı bir araya getirmek amacıyla Pp- tipi ve N- tipi bölgelerin üstüne yerleştirilen metal iletkenlerden dolayı meydana gelen kayıplardır. Özellikle güneş ışınımının yoğunlaştığı yüzey alanı üzerinde, iletkenlerin yüzey alanları minimum düzeyde tutulmalıdır. Bu şekilde meydana gelen akım için alacağı yolun uzunluğu ve bunun sonucunda da PV panelin seri iç direncinin değeri artar. Bu iletken kayıplarından farklı olarak bir güneş pilinin karakteristiği sırasında oluşan akımın ölçülebilmesi için bağlanan bağlantı iletkenleri PV panel üzerinde seri direnç etkisi meydana getirmektedirler [95]. Seri direnç değişik katmanlardan geçen akımdan

dolayı bir dağılım göstermektedir. Güneş pilinin iç seri direnci dolayısıyla akım-gerilim karakteristiği eğrisinde sapma oluşmaktadır.

3.2.5. Fotovoltaik Panel Kalınlığının Etkisi

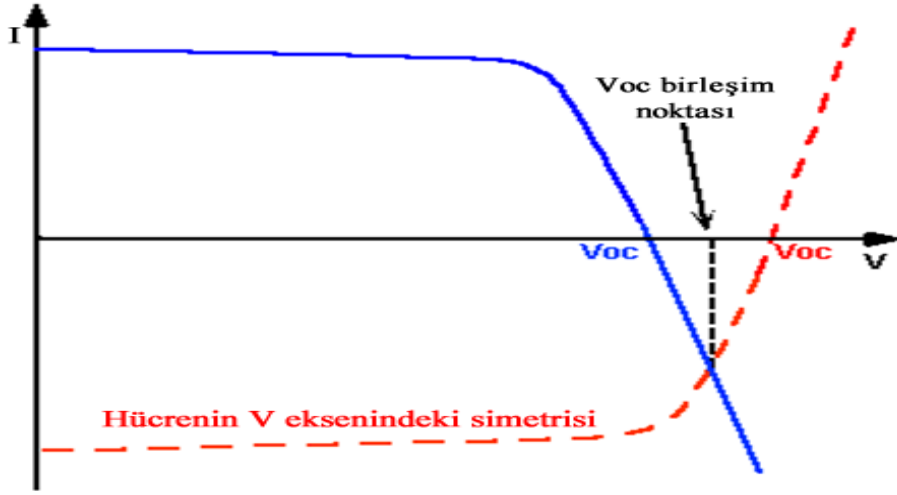
PV panellerin kalınlık oranı küçüldükçe geçirilmiş ışınımlardan ileri gelen kayıplar artmaktadır. Dolayısıyla buna bağlı olarak da güneş pilinin verimi düşmektedir. Genel olarak kullanılan silisyum tabanlı fotovoltaik güneş pillerinin kalınlığı 0.2- 0.4 mm arasında değişim göstermektedir [92].

3.3. PV Panel Seri-Paralel Bağlantının Verime Etkisi

PV paneller birbirlerine seri veya paralel bağlanarak toplam akımı ve gerilimi artırılabilir. Özdeş PV paneller kullanılırken her bir modülde farklı miktarda gerilim veya akım üretimi söz konusu olmaz [124]. Ancak PV panellerin verimini etkileyen gölge açılmal durumu gibi faktörler devreye girerse PV modülün üreteceği akım ve gerilim değeri farklı olacaktır. Özdeş olmayan iki PV panelin bağlanması ile akımı düşük olan PV panelin akımını düşürecek ve özdeş olmayan iki PV panelin paralel bağlanmasında ise gerilimi düşük olan PV modülün gerilimini düşürecek dolayısıyla modülün verimliliği ve çıkış gücü düşecektir [125].

PV paneller paralel bağlandığında çıkış akımı PV panellerin her birinin ürettiği akımın toplamına eşit olacağından akım açısından bir kayıp olmamaktadır. Fakat gerilim çıkışı düşünüldüğünde PV panellerin gerilimleri eşit olmadığı için eşdeğer gerilimde kayıplar olacaktır. Böyle bir durumda çıkışın ne olacağı deneysel yöntemlerle ölçülebilir. Ayrıca yapılan çalışmada bir PV panelin gerilim grafiği uzatılarak simetrik kesişim noktalarından eşdeğer gerilimin hesaplandığı görülmüştür [126]. Şekil 3.4’de ve 3.5’de bu durum gösterilmiştir. Temel elektriksel kanunlar göz önünde bulundurulursa ve deney düzeneği kurulduğunda eşdeğer gerilimin öncelikle yüksek değerden başlayıp bir süre sonra parabolik olarak minimum değerde olduğu gözlenmiştir.

Bu nedenle farklı gerilim üreten PV paneller paralel bağlandığı durumda eşdeğer gerilim düşük olan gerilim değerine eşit olacağı söylenebilir.



Şekil 3.4. Farklı PV panellerin paralel bağlantıdaki gerilim eşdeğeri [124]

PV paneller arasında seri bağlantı kurulursa bu sefer toplam akımda kayıp söz konusu olacaktır. Eşdeğer gerilim bulunurken PV panellerin ürettiği gerilimler toplanır. Fakat eşdeğer akım hesaplanırken eşdeğer akım PV paneller arasındaki en düşük akım değeri olacaktır.



Şekil 3.5. Farklı PV panellerin seri bağlantıdaki akım eşdeğeri [124]

PV panel içerisinde kullanılan PV hücreler birbirlerine gruplanarak bağlanırsa bir hücrede oluşacak düzensizlik sadece o grubu etkileyerek verim kaybını düşürecektir. Bu yüzden grup sayısı panel içerisinde artırılmalıdır [126].

3.4. İverterter Etkisi

DA/AA dönüştürücü, doğru akım kaynakların bulunduğu fakat alternatif akım kaynaklarının bulunmadığı koşullarda doğru akım kaynakların çıkışındaki gerilimi istenilen gerilim, güç ve frekans değerlerinde AA gerilime dönüştürmek için kullanılmaktadır [127]. İverterterler güçlerine, çıkış dalga çeşitlerine ve kullanılacakları yere göre çeşitli tiplerde üretilmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaşması ile beraber inverterlerin kullanım oranı da paralel olarak artmaya devam etmektedir. Rüzgâr ve güneş gibi kaynaklardan elde edilen enerjinin tüketiciye sunulması için de inverterler devreye girmektedir.

Gelen voltaj ve frekansları tam sinüs dalga olarak ayarlayan inverter çeşitlerine tam sinüs inverter denir. Verimleri %89 ile %94 arasındadır. PV sistem tasarımı yapılmadan önce inverter seçimi yapılmalıdır. İverterterin giriş akım, gerilim ve güç özelliklerine göre bağlantı kurulabilecek PV panel sayısı değişmektedir. İverterterin giriş akım değerine göre PV panel sistemindeki paralel bağlantıların sayısı, giriş gerilim değerine göre PV panel sistemindeki seri bağlantıların sayısı belirlenmelidir [124].

4. TAHMİN YÖNTEMLERİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI

Literatür tarmasında tahmin yöntemleri olarak;

- Box-Jenkins Yöntemi: Temel vurgusu, zaman serilerini yalnızca kendi geçmiş değerleri ve olasılıksal hata terimi ile açıklamaktır.
- Otoregresif Koşullu Değişen Varyas Yöntemi (General Autoregressive Conditional Heteroskedasticity): Hata teriminin varyansının önceki dönem hata terimlerinin varyansının bir fonksiyonu olduğunu varsayar.
- Stokastik Oynaklık Modeli (Stochastic Volatility Model): Bir problemi zaman içerisinde değişebilir hale getirerek düzeltmeye çalışır.
- Bulanık Mantık Yaklaşımı (Fuzzy Logic Approach): İnsan beynini kopya edip beyin fonksiyonlarını matematiksel fonksiyonlara çevirerek işlem yapmaktadır.
- Gri Sistem Teorisi (Grey System Theory): Belirsiz sistemlerin tepkilerini ya da analizlerinin, sınırlı sayıda veri yardımı ile tahminleyebilmek için kullanılmaktadır.
- Dalgacık Dönüşüm (Wavelet Transform): Genellikle Fourier Teoremi gibi durağan işaretlerin incelenmesinde kullanılmakla beraber durağan olmayan işaretlerin incelenmesinde de kullanılmaktadır. Daha çok sınıflandırma amacıyla kullanılmakta tahmin işlemlerinde yapay sinir ağları ile beraber kullanılmaktadır.
- Destekçi Vektör Regresyonu (Support Vector Regression): Destek vektör algoritması ilk başta sınıflandırma için çıkmış bir algoritma olmasına rağmen regresyon içinde kullanılmaktadır. Bu iki model sayesinde bazı veri problemlerinin çözümü sağlanmaktadır.
- Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks) dikkat çekmektedir [128].

Dalgacık teorisi ve yapay sinir ağlarının birleşimi dalgacık dönüşümün gelişmesine yol açmıştır. Bu özel tahmin sürecinde, model gizli birimlere gömülü dalgacık dönüşümü ile uyumlu bir sinir ağı topolojisi içermektedir. Mellit vd tarafından yapılan çalışmada dalgacık teorisi ve YSA birleştirilerek model geliştirilmiştir. Çalışmalarında, bir dalgacık ağı kullanarak günlük toplam güneş ışınım verisinin tahmini için uygun bir model olduğu ve bu modelin önceki değerlere dayanarak gelecekteki toplam güneş ışınım değerlerini tahmin edebileceği belirtilmiştir [16]. Ancak sadece güneş ışınım tahmini için geçerliliği kontrol edilmiş fakat çevresel faktörlerin PV panellerin verimine etkileri konusuna değinilmemiştir.

Karmaşık nöron yapısına sahip insan beyninin davranışlarının açıklanması bilimsel araştırmalarda önemli bir hedef olmuştur. Yapay Sinir Ağları bilimsel açıdan insan beyninin sahip olduğu nöron hücre yapısı model alınarak geliştirilmiştir. YSA farklı sezgisel ve topolojik yapılarından ötürü birçok mühendislik ve tıp alanında kullanılmaktadır [129, 130]. YSA, insan beyin fonksiyonlarını taklit ederek olayları öğrenme, sınıflandırma, birbiri ile ilişkilendirme genelleme, optimizasyon gibi konularda başarılı davranışlar geliştiren bir bilgisayar sistemidir [131].

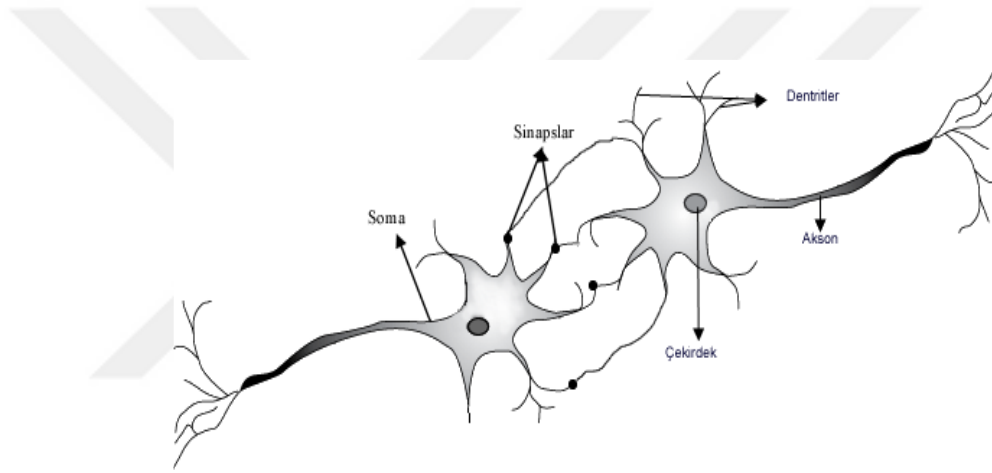
Güneş panellerinde verimin tahmin edildiği ve çevresel faktörlerin PV panellere etkilerinin incelendiği çalışmaların çoğunluğunda YSA yöntemleri kullanılmıştır. Bu nedenle bu tez çalışmasında yapay sinir ağları tahmin modelleri incelenmiştir. Ayrıca, tez çalışmasının bulgular kısmında Yapay Sinir Ağları (YSA) ile Destek Vektör Regresyon (SVR) yöntemleri Adıyaman bölgesi için karşılaştırılmış ve Yapay Sinir Ağları yönteminin daha iyi sonuç verdiği gösterilmiştir.

4.1. YSA'nın Tarihsel Gelişimi

YSA 1943'de McCulloch ve Pitts tarafından nöronların matematiksel bir modeli olarak tanımlanmıştır. Bu matematiksel modelde yapay sinir hücresi aldığı verileri bir eşik değerinde iletmekte veya sönmölemektedir. Hebb, 1949'da aynı anda birden fazla yapay sinir hücresi arasındaki bağlantının gücünün arttırmak için bir öğrenme algoritması geliştirmiştir. Bu algoritma birçok öğrenme kuralına temel teşkil etmiştir. 1959 yılına gelindiğinde Roseblatt tarafından McCulloch ve Pitts'in ortaya koyduğu modeli geliştirerek günümüz YSA modelinin temeli olan perceptron (algılayıcı) adını verdikleri matematiksel modeli ortaya koymuşlardır. Algılayıcı, gelen sinyal verisini güçlendirerek, -1 ile +1 arasında bir çıkış üretmektedir. (Rosenblatt, 1959). 1969 yılında ise Miksy ve Papert tarafından katmanlı algılayıcı YSA modelinin XOR problemlerini çözemediği tespit edildiğinden katmanlı YSA bilimsel alanda cazibesini kaybetmiş ve gelişimi duraksamaya başlamıştır [132]. 1982 yılına gelindiğinde ise J.J. Hopfield tarafından optimizasyon problemlerini çözmek için tek katmanlı ve geri beslemeli bir yapay sinir ağı modeli geliştirilmiştir [133]. Daha sonra Rumelhart ve arkadaşları, 1986'da YSA'nın çıkış hatasını azaltan Geri Yayılım Algoritmasını ortaya koymuşlardır [134]. Geri yayılım algoritması pek çok YSA uygulamasında temel öğrenme algoritması olarak kullanılmaktadır.

4.2. Biyolojik Sinir Hücresi Yapısı

Karmaşık bir yapıya sahip biyolojik sinir ağı hücrelerine nöron denir. Biyolojik bir nöron Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Beyinde, sinaplardan aksona doğru, kodlanmış bir bilgi akışı (elektrokimyasal medyayı kullanarak, nörotransmitter olarak adlandırılır) mevcuttur. Her bir nöronun aksonu diğer nöronlara bilgi iletmekle görevlidir. Nöron, sinaptaki çok sayıda diğer nörondan bilgi alır. Her bir nöronun, diğer nöronlardan 10000 den daha fazla uyarın aldığı tahmin edilmektedir. Nöron grupları alt sistemler halinde organize edilirler ve bu alt sistemlerin birleşmesiyle beyin oluşur. İnsan beyninin yaklaşık olarak birbirine bağlanmış 100 milyar nörona sahip olduğu tahmin edilmektedir [135,136].



Şekil 4.1. Biyolojik bir nöronun basitleştirilmiş modeli [129]

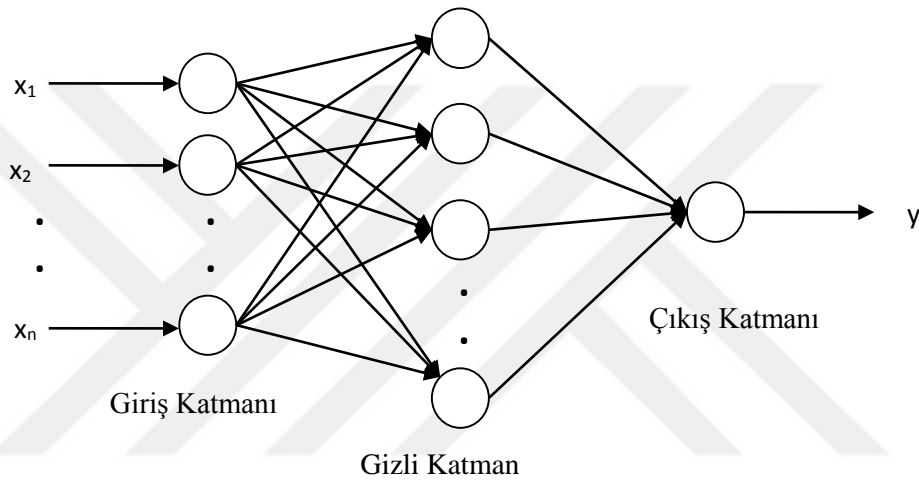
Biyolojik sinir sistemi, merkezinde sürekli olarak bilgiyi alan, yorumlayan ve bu bilgiye uygun olarak bir karar üreten beyin yani merkezi sinir ağının bulunduğu temel olarak üç katmanlı bir sistem olarak Şekil 4.2'de gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Biyolojik sinir sisteminin blok diyagramı [137]

Alicılar (receptors), organizmanın içinden veya dış ortamdan algıladığı uyarıları, beyne bilgi olarak gönderen elektriksel sinyallere dönüştürmektedirler. Tepki sinirleri ise, beyin tarafından üretilen elektriksel darbeleri organizmanın çıktısı olacak biçimde tepkilere dönüştürmektedirler. Merkezi sinir ağı olan beyinde ise, alıcı ve tepki sinirleri ileri ve geri besleme olarak değerlendirilerek uygun tepkilerin üretilmesi sağlanmaktadır.

Tipik birçok katmanlı yapay sinir ağı mimarisinin şematik bir diyagramı Şekil 4.3' te gösterilmektedir. Ağ genelde bir girdi katmanından, bazı gizli katmanlardan ve bir çıktı katmanından oluşmaktadır.



Şekil 4.3. Çok katmanlı yapay sinir ağlarının modeli [129]

Bu basit formda olduğu gibi, her bir nöron uyarlanabilir sinaptik ağırlıklarla bir önceki tabakanın diğer nöronlarına bağlanır. Bilgi genellikle bağlantı ağırlıkları seti olarak saklanmaktadır (muhtemelen biyolojik sinir sistemlerinde sinaps etkinliğine karşılık gelir). Eğitim, bağlantı ağırlıklarını uygun bir öğrenme yöntemi kullanarak düzenli biçime getirmeye çalışmaktadır. Ağın kullanıldığı öğrenme moduna göre; bir girdi istenen çıktı ile birlikte ağa sunulur ve ağlar istenen çıktıyı üretmeye çalışacak şekilde ağırlıkları ayarlamaktadır. Eğitime başlamadan önce rastgele ve anlamsız olan ağırlıklar, eğitimden sonra anlamlı bilgiler içermiş olurlar [136]. Yapay sinir ağlarının biyolojik sinir ağları ile karşılaştırılması Çizelge 4.1'de verilmiştir.

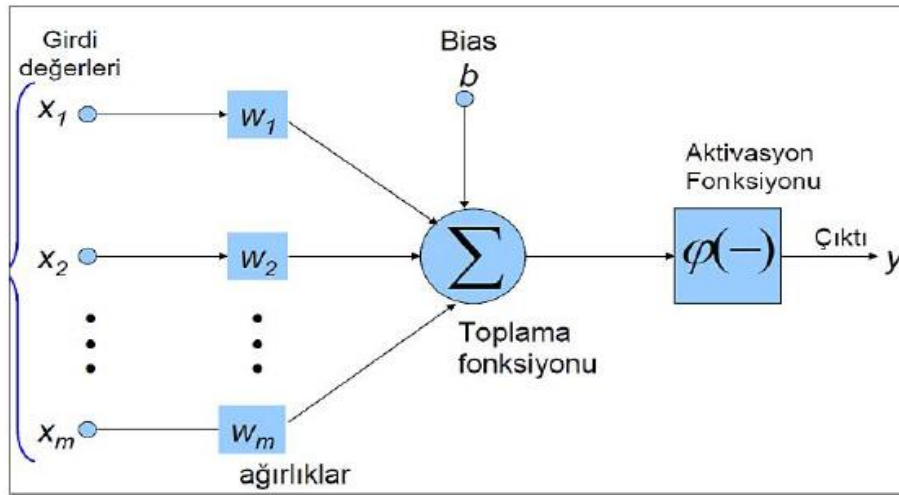
Çizelge 4.1. Biyolojik sinir ağı ve yapay sinir ağlarının karşılaştırılması [138]

Yapay Sinir Ağları	Biyolojik Sinir Sistemi
İşlemci Eleman	Nöron
Nöronlar Arası Bağlantılar	Dentrit
Aktivasyon Fonksiyonu	Hücre Gövdesi
Yapay Nöron Çıkışı	Aksonlar
Ağırlıklar	Sinapslar

4.3. Yapay Sinir Ağını Oluşturan Birimler

Literatürde bir yapay sinir hücresi beş kısımdan oluşmaktadır (Şekil 4.4) [139]:

- Girdiler
- Ağırlıklar
- Toplama Fonksiyonu (Birleştirme Fonksiyonu)
- Aktivasyon fonksiyonu
- Çıktılar



Şekil 4.4. Temel yapay sinir ağı modeli [140]

Girdiler: Dış dünyadan yapay sinir hücresine gelen bilgiler için girdi kavramı kullanılmaktadır. Ancak burada gözden kaçırılmaması gereken nokta, bir yapay sinir hücresine yalnızca dış dünyadan değil kendisinden de bilgilerin gelebileceğidir [131].

Ağırlıklar: Yapay sinir hücresine girdiler vasıtasıyla gönderilen bilgiler girdiler üzerinden çekirdeğe iletilmeden önce geldikleri bağlantılardaki ağırlıklar ile çarpılarak çekirdeğe iletilir. Bu sayede girdilerin, oluşacak çıktı üzerine olan etkileri sağlanmış olunur. Ancak bu ağırlıklar belirlenirken değerleri pozitif, negatif veya sıfır olabilir. Herhangi bir ağ için negatif veya pozitif değerler ağa olan etkisi duruma göre değişkenlik gösterir. Ağırlığı sıfır olan girdilerin çıktı üzerinde herhangi bir etkisi bulunmamaktadır [139].

Toplama Fonksiyonu (Birleştirme Fonksiyonu): Bir yapay sinir hücresine gelen girdi ve ağırlık değerinin çarpılmasıyla elde edilir ve o sonunda tüm girdilerin ağırlıklarla çarpılarak toplanmasıyla net girdiyi hesaplayan bir fonksiyondur. İşlem birimi birden fazla işlem biriminden veya dışarıdan gelen X_1, X_2, \dots, X_m şeklinde m adet giriş verisini alabilmektedir. Bu girişler, hücreye gelen W_1, W_2, \dots, W_m ağırlıklarına göre işlem biriminde etkili olmaktadır. Hücreye gelen girişler ve ağırlıklar çarpılır. b ile eşik değeri etki alanı belirlenerek kendisine gelen girdileri toplam fonksiyonu yardımıyla birleştirir. YSA’da toplam fonksiyonu şu şekilde ifade edilir [129]:

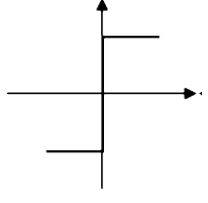
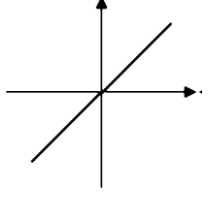
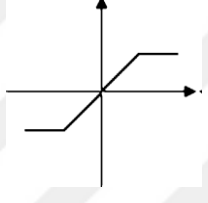
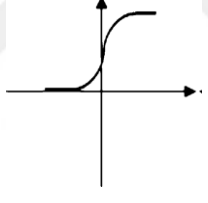
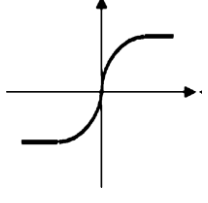
$$y_x = \left[\sum_{t=1}^m x_t w_t \right] + b \quad (4.1)$$

İşlem biriminin çıkışı, bir aktivasyon fonksiyonu yardımıyla belirli bir davranışa yakınsanmaktadır. Böylece hücrel davranış betimlenmiş olacaktır. Yapay işlem biriminin çıkış denkliği aşağıda verilmiştir [129]:

$$f_s = f(y_x) \quad (4.2)$$

Aktivasyon Fonksiyonu: Bu fonksiyon hücreye gelen net girdiyi işleyerek hücrenin bu girdiye karşılık üreteceği çıktıyı belirleyen bir fonksiyondur. Aktivasyon fonksiyonu genellikle doğrusal olmayan fonksiyonlardan seçilmektedir. Yapay sinir ağlarının bir özelliği olan “doğrusal olmama” özelliği aktivasyon fonksiyonlarının doğrusal olmamasından dolayı kaynaklanmaktadır. Aktivasyon fonksiyonu seçilirken fonksiyonun türevinin kolay hesaplanabilir olması gerekir. Günümüzde kullanımı yaygın olan “Çok katmanlı algılayıcı” modelinde genellikle “Sigmoid fonksiyonu” aktivasyon fonksiyonu olarak tercih edilmektedir [139]. Çizelge 4.2’de yaygın kullanılan aktivasyon fonksiyonları gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. Aktivasyon fonksiyonları [129]

Aktivasyon Fonksiyonu	Grafik	Fonksiyon denklemi
Birim Basamak		$f(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x \geq 0 \\ -1, & \text{if } x < 0 \end{cases}$
Doğrusal		$f(x) = nx$
Doygun Doğrusal		$f(x) = \begin{cases} +1, & x \geq 1 \\ x, & x > 1 \\ -1, & x \leq -1 \end{cases}$
Sigmoid		$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$
Hiperbolik Tanjant		$f(x) = \frac{e^{2x} - 1}{e^{2x} + 1}$

Çıktı: Yapay sinir ağlarında problemin çözümü çıktı olarak bilinir. Girdilerden her biri kendine ait olan ağırlık değeri ile çarpılarak, uygun olan birleştirme fonksiyonu yardımıyla net girdiye dönüştürülmektedir. Daha sonra bu net girdi de aktivasyon fonksiyonu yardımıyla net çıktı olarak hesaplanmaktadır [141].

4.4. Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması

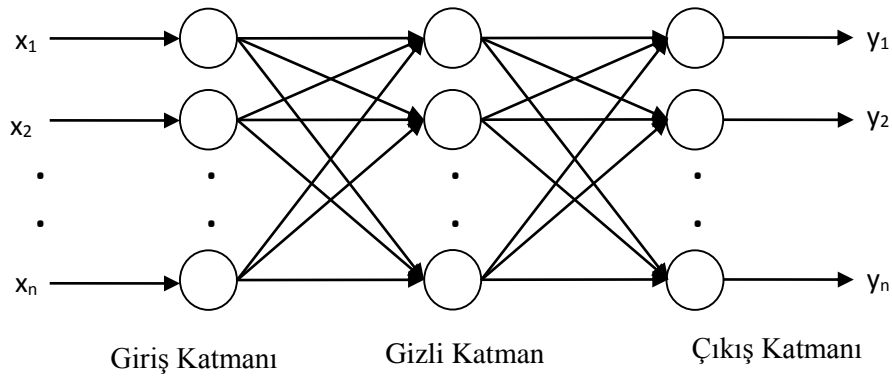
Yapay sinir ağlarını, farklı ölçütleri göz önüne alarak sınıflandırmak mümkündür. Yapay sinir ağları yapılarına göre ve öğrenme yöntemlerine göre sınıflandırılabilirler.

4.4.1. Yapısal Sınıflandırma

Yapısal sınıflandırma sinir hücrelerinin bağlantı yönlerine göre yapılmaktadır. Yapısal sınıflandırma, İleri beslemeli ağ ve geri beslemeli ağ şeklinde sınıflandırılmaktadır.

4.4.1.1. İleri Beslemeli Ağ

İleri beslemeli bir ağ yapısında yapay sinir hücreleri genellikle katmanlara ayrılmıştır. Giriş katmanlarındaki nöronlar, yapay sinir hücreleri tarafından çıkış katmanına doğru tek yönlü bağlantılarla iletilir. Genel olarak bir katmanda bulunan yapay sinir hücreleri bir önceki katmandaki yapay sinir hücreleri tarafından beslenmektedir [142]. Şekil 4.5’de yaygın kullanılan ileri beslemeli ağ modeli gösterilmektedir.

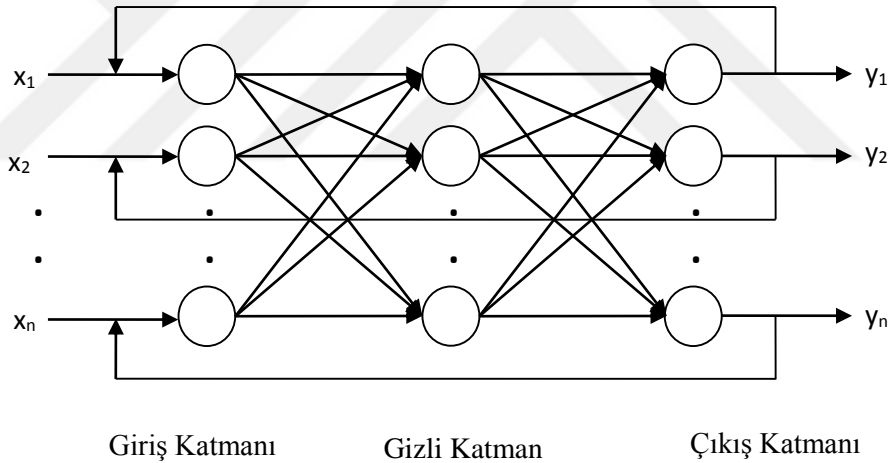


Şekil 4.5. İleri beslemeli ağ modeli [129]

4.4.1.2. Geri Beslemeli Ağ

Geri beslemeli yapay sinir ağları, ara katman ve çıkış katmanlarındaki çıkışların, giriş birimlerine ya da bir önceki katmana doğru (ara katmanlara) geri beslendiği bir ağ yapısı olarak bilinmektedir. Böylece, girişler hem ileri, hem geri yönde aktarılmaktadır [142].

Geriye beslemeli ağların dinamik hafızaları bulunmaktadır bir katmandan diğer bir katmana gelen çıkış, hem o anda ki girişleri hem de önceki girişleri yansıtmaktadır. Bundan dolayı, geri beslemeli sinir ağları çoğunlukla tahmin amaçlı uygulamalar için kullanılmaktadırlar ve bu ağlar çeşitli tipteki zaman serilerinin tahmininde de oldukça başarı sağlayan bir ağ yapısı olarak bilinirler. Geri beslemeli ağlara Hopfield, Elman, Jordan, Narmax gibi ağlar örnek verilebilir [142]. Şekil 4.6'da geri beslemeli ağ modeli gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Geri beslemeli ağ modeli [129]

4.4.2. Öğrenme Yöntemlerine Göre Sınıflandırma

YSA'larda öğrenme, eğitim ve gözlem sonucunda oluşan davranış değişiklikleri, kurallar ve yöntemler yardımıyla ağırlıkların güncellenmesi ile sağlanabilir. Öğrenme algoritması, problemin özelliğine göre kuralların YSA'ya nasıl uygulanacağını belirtir [143].

4.4.2.1. Öğretmeli Öğrenme Yöntemi

Bu yöntemde, çözülecek problemlerin yapılarına ve davranışlarına göre hazırlanan eğitim seti kullanılmaktadır. YSA modeli kullanılarak üretilen çıkış değerleri ile gerçek değerler karşılaştırılarak hata oranı tespit edilir. Rastgele atanan ağırlık değerleri hata payını düşürmek için tekrar düzenlenmektedir. Ağırlık parametre değerleri, hata payı kabul edilebilir seviyeye gelinceye kadar ayarlanmaktadır. Rumelhart ve McClelland, Widrow ve Hoff tarafından geliştirilen geri beslemeli ağlar ve delta kuralları öğretmeli öğrenmeye örnek verilebilir [134, 144].

4.4.2.2. Öğretmensiz Öğrenme Yöntemi

Öğretmensiz öğrenme yöntemi çözülecek probleme ait giriş verilerine karşılık giriş bilgilerine bağlı olarak öğrenmeyi gerçekleştirir. Ağ öğrenme kurallarını, giriş bilgilerine göre geliştirir. Böylece giriş verileri gruplandırılarak eğitildikten sonra verilen girişlerin hangi sınıfa ait olduğu belirlenir. Kohonen tarafından geliştirilen SOM öğrenme yöntemi danışmansız öğrenme yöntemidir [145,146].

Bu tez çalışmasında, sıcaklık, güneş ışınım şiddeti, nem, rüzgâr hızı ve PV panel sıcaklığı parametreleri girdi PV panelden elde edilen güç ise çıktı olarak kullanılmıştır. Çevresel parametrelerin değişimi ile panelden üretilen gücün ne olacağı tahmin edilirken öncelikle YSA algoritmaları eğitilip daha sonra tahmin gerçekleştirilmiştir. Tahmin yapılırken girdi olarak kullanılan çevresel parametreler ve çıktı olan panel gücü etkili olduğundan çalışmada geri beslemeli öğretmeli yapay sinir ağ algoritmaları kullanılmıştır. Adıyaman, Malatya ve Şanlıurfa illerinde kurulan ölçüm istasyonlarından elde edilen verilerin %70'i eğitim, %15'i doğrulama ve %15'i test verisi olarak kullanılmıştır.

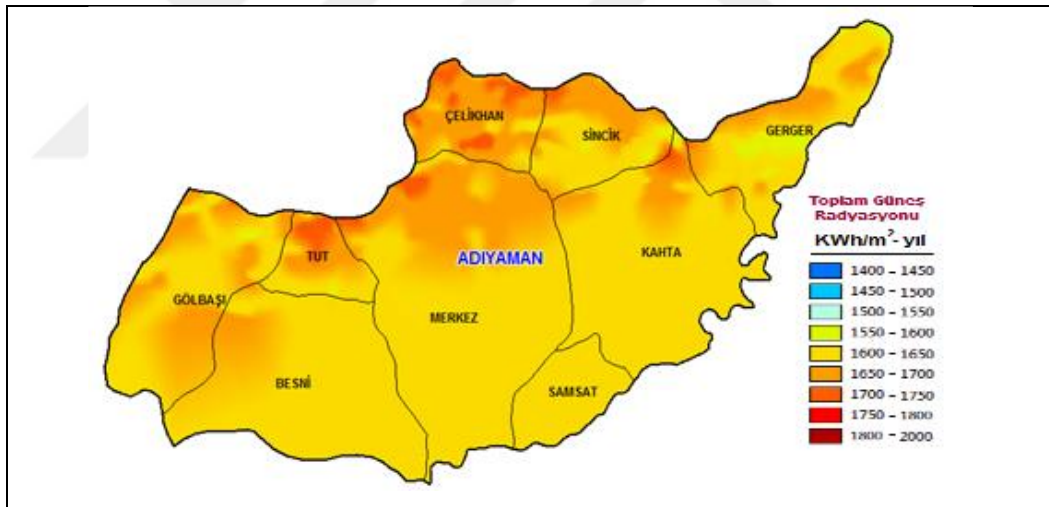
5. UYGULAMA

5.1. Ölçüm Yapılan İllerin Özellikleri

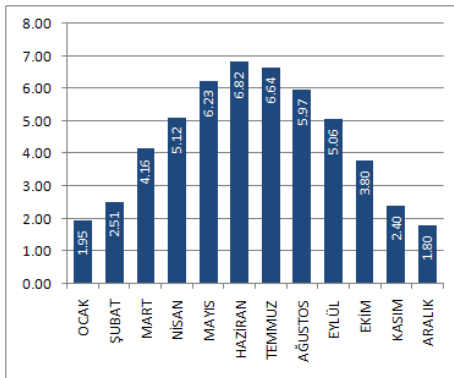
Ölçüm işlemlerinin sağlıklı yürütülebilmesi için birbirine coğrafik konum olarak yakın olmalarına rağmen meteorolojik parametreler açısından birbirinden farklı olduklarından Adıyaman, Malatya ve Şanlıurfa illeri seçilmiştir.

5.1.1. Adıyaman İli

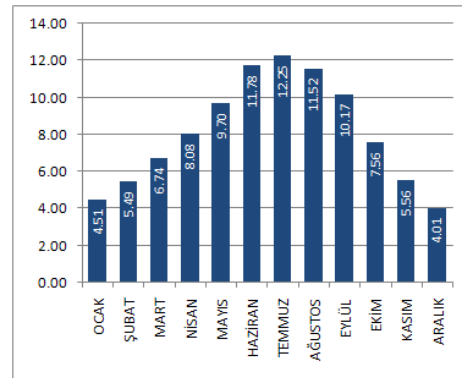
Adıyaman; Güney Doğu Anadolu bölgesinde, 37°-38° kuzey enlemleri ve 37°-39° Doğu boylamları yer almakta olup yüksek derecede güneş ışınım potansiyeline sahiptir. Adıyaman'a ait güneş enerji potansiyel atlası, Global radyasyon değerleri güneşlenme süreleri aşağıda verilmiştir (Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3) [147].



Şekil 5.1. Adıyaman ili güneş enerjisi potansiyel atlası



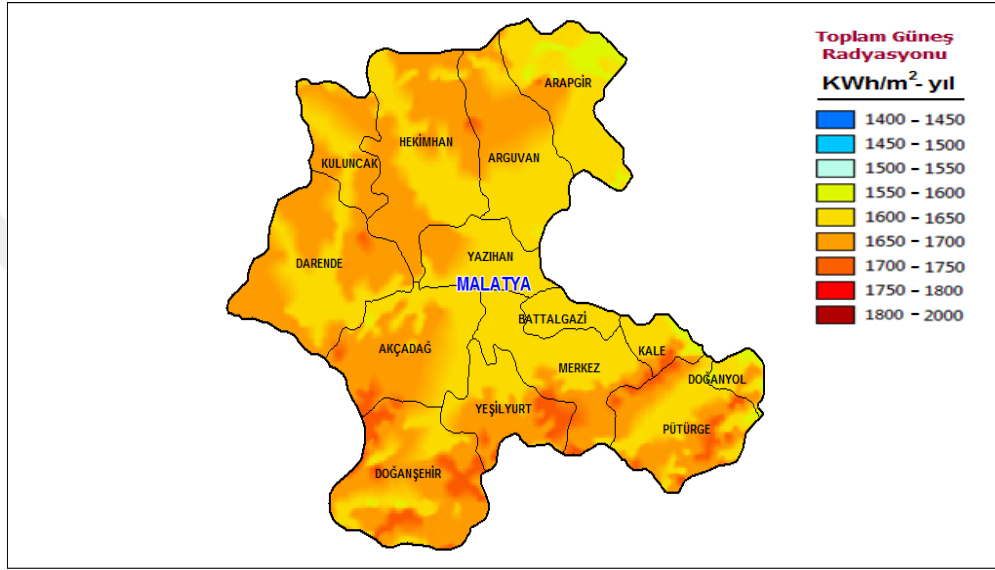
Şekil 5.2. Adıyaman ili global radyasyon değerleri (KWh/m²-gün)



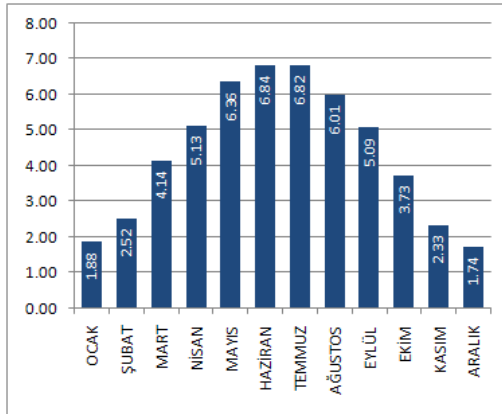
Şekil 5.3. Adıyaman ili güneşlenme süreleri (saat)

5.1.2. Malatya İli

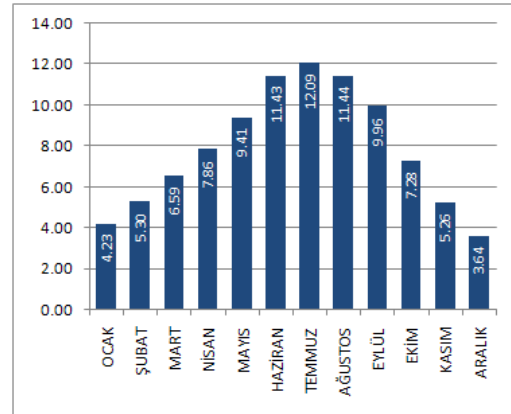
Malatya; Doğu Anadolu bölgesinde, 37°-39° kuzey enlemleri ve 37°-39° Doğu boylamları yer almakta olup yüksek derecede güneş ışınım potansiyeline sahiptir. Malatya'ya ait güneş enerji potansiyel atlası, Global radyasyon değerleri güneşlenme süreleri aşağıda verilmiştir (Şekil 5.4, 5.5 ve 5.6) [148].



Şekil 5.4. Malatya ili güneş enerjisi potansiyel atlası



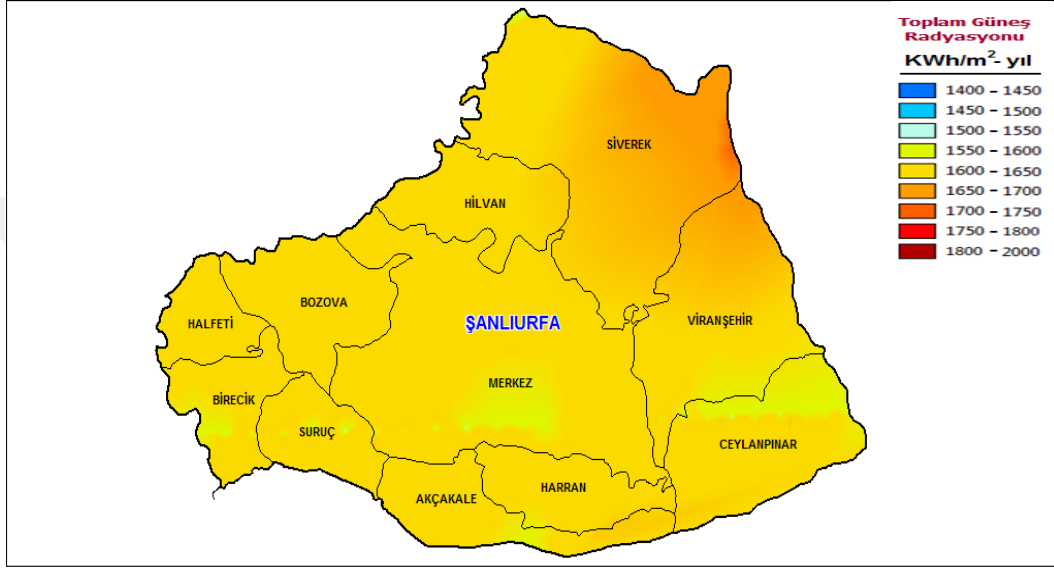
Şekil 5.5. Malatya ili global radyasyon değerleri (KWh/m²-gün)



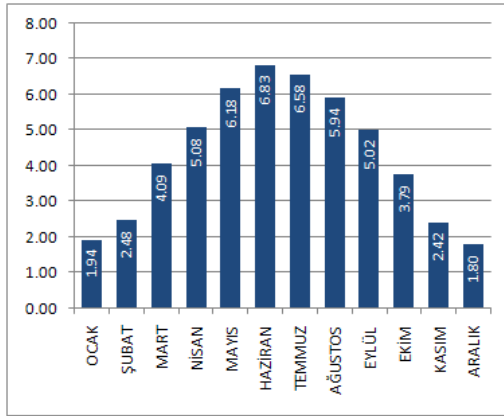
Şekil 5.6. Malatya ili güneşlenme süreleri (saat)

5.1.3. Şanlıurfa İli

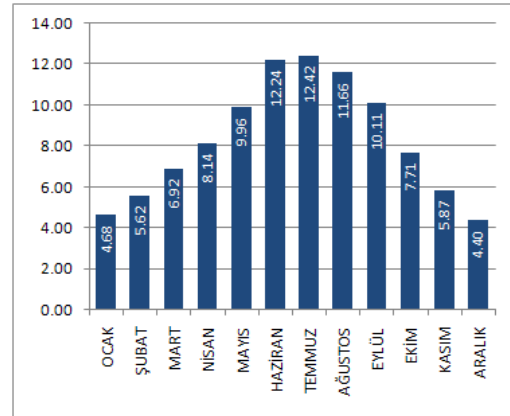
Şanlıurfa; Güney Doğu Anadolu bölgesinde, 37°-39° kuzey enlemleri ve 37°-39° Doğu boylamları yer almakta olup yüksek derecede güneş ışınım potansiyeline sahiptir. Şanlıurfa'ya ait güneş enerji potansiyel atlası, Global radyasyon değerleri güneşlenme süreleri aşağıda verilmiştir (Şekil 5.7, 5.8 ve 5.9) [149].



Şekil 5.7. Şanlıurfa ili güneş enerjisi potansiyel atlası



Şekil 5.8. Şanlıurfa ili global radyasyon değerleri (KWh/m²-gün)



Şekil 5.9. Şanlıurfa ili güneşlenme süreleri (saat)

5.2. Ölçüm İstasyonlarının Kurulması

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında tasarlanan ölçüm istasyonlarında yer alan ekipmanlara ilişkin donanımsal tasarımlara ait değerlendirmeler yapılmıştır.

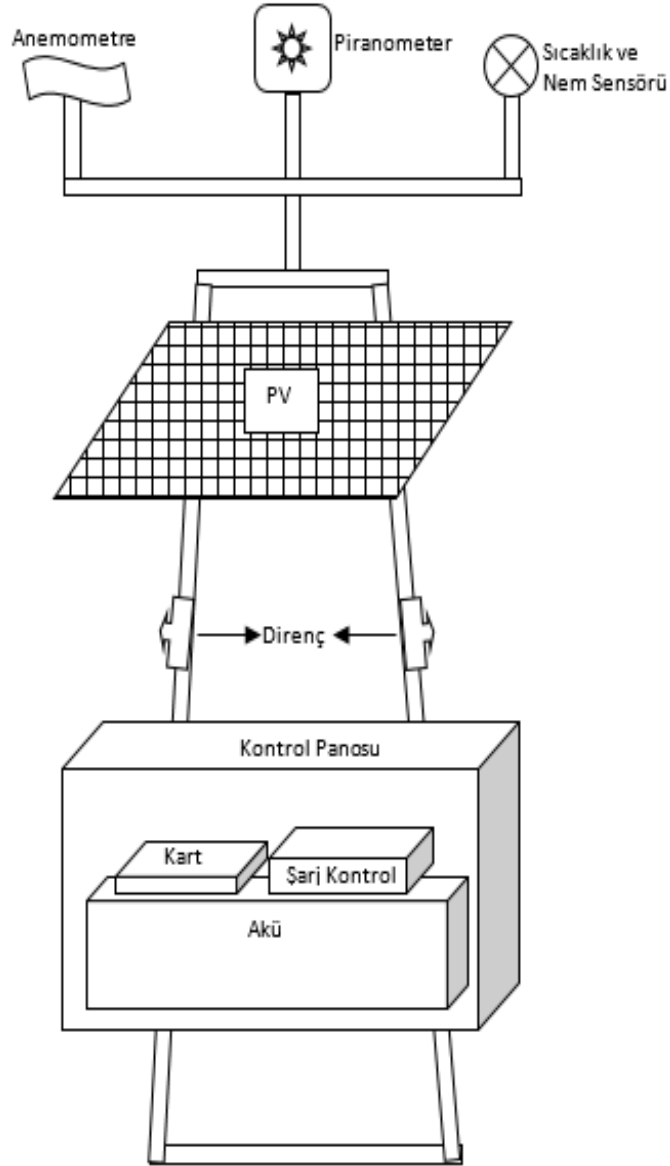
Güneş enerji sistemlerinde verimi etkileyen parametrelerin incelenmesi için; Adıyaman-Malatya-Şanlıurfa pilot bölgelerinden ölçüm alacak terminal ölçüm sistemlerinin tasarımı yapılmıştır. Bu terminaller bölgenin sıcaklık, nem, rüzgâr, güneş ışınımı, panel yüzey sıcaklığı ve panelden elde edilen akım ve gerilim değerlerini ölçüp Adıyaman Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulunda bulunan ana terminale GSM üzerinden kısa mesaj olarak göndermekte ve ana terminalde bu veriler SD karta kaydedilerek işlenmektedir.

PCB kartların tasarımında sensörlerden gelen bilgileri işlemek için dsPIC 33F serisi işlemci kullanılmıştır. Bölgesel terminallerden elde edilen veriler ana terminale SIM900 modülü kullanılarak iletilmektedir.

Bölgesel ölçüm terminalleri; 120W Polikristal panel, 100Ah Jel Akü, 10A-12V MPPT li şarj kontrol cihazı, panellerden elde edilen enerjinin harcanması için 4 adet dirençsel yük, sıcaklık-nem-güneş ışınımı-rüzgâr-akım-gerilim sensörleri, ölçüm için dizayn edilen kart ve malzemeleri içinde muhafaza edecek panodan oluşmaktadır.

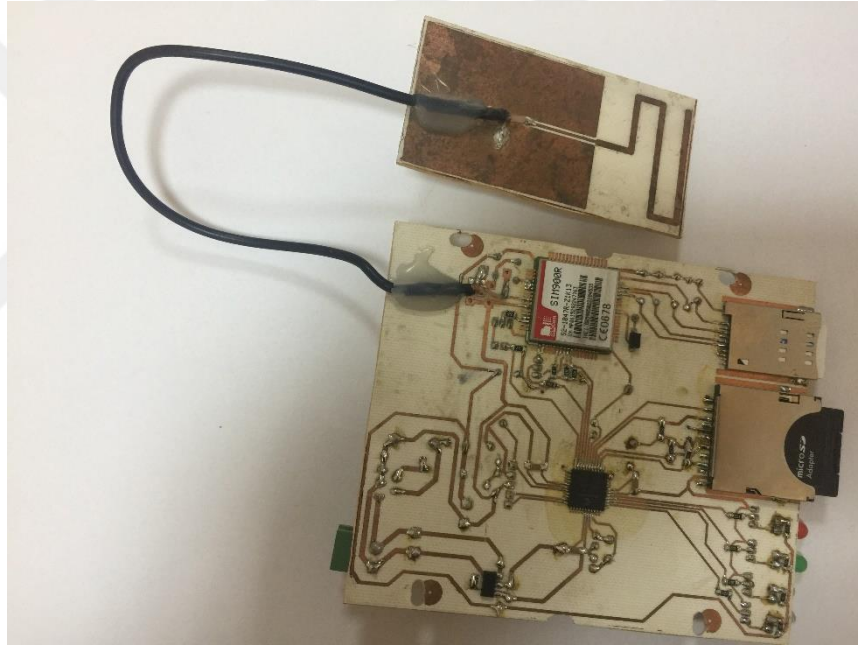
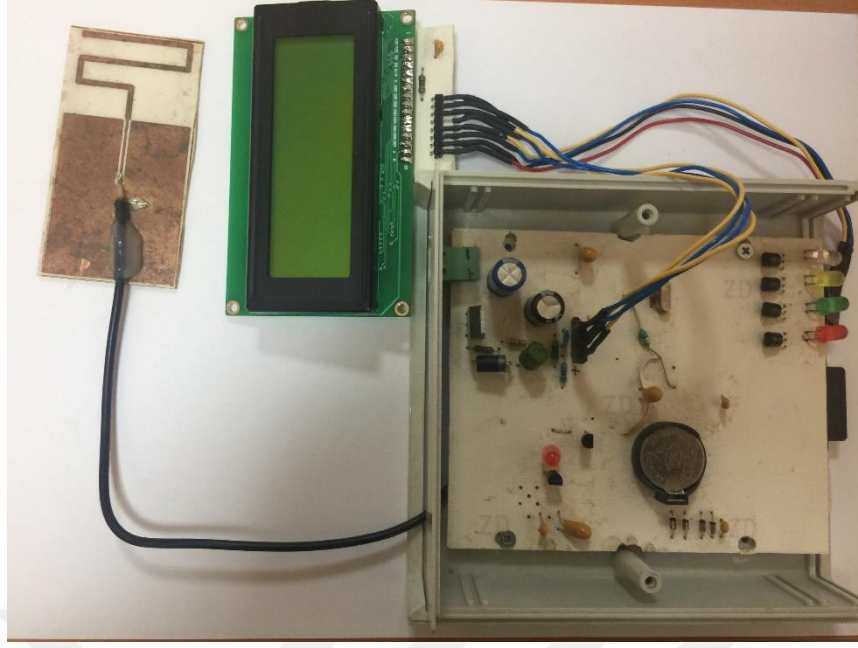
Ana terminal bölgesel terminallerden gelen 5 dakika aralıklarla ölçülen değerleri içeren kısa mesajlarda yer alan bilgileri SD karta kaydederek ve SD karttaki bilgilerin bilgisayar ortamına aktararak işlenmesini sağlamaktadır.

Bölgesel terminallerde sıcaklık ve nem değerlerini ölçmek için; radyasyon koruma kılıflı, analog gerilim çıkışlı dış saha sıcaklık ve nemölçer prob kullanılmaktadır. Rüzgâr hızını ölçmek için; 0.28-50m/sn aralığında ölçüm yapabilen, 0.02 m/sn hata payına sahip analog gerilim çıkışlı anemometre kullanılmıştır. Güneş ışınımını ölçmek için; 0-2000 W/m² arası ölçüm yapabilen analog gerilim çıkışlı piranometer prob kullanılmıştır. 120 W Polikristal panelin ürettiği enerji MPPT kontrollü şarj kontrol cihazı ile aküye şarj edilmekte ve akü çıkışına bağlanan dirençsel yük ile panelden elde edilen enerji harcanarak ortam şartlarına göre panel üretim verimliliği incelenmektedir. Şekil 5.10'da Adıyaman-Malatya-Şanlıurfa bölgelerine kurulan terminal ölçüm istasyonlarının şematik şekli gösterilmektedir.



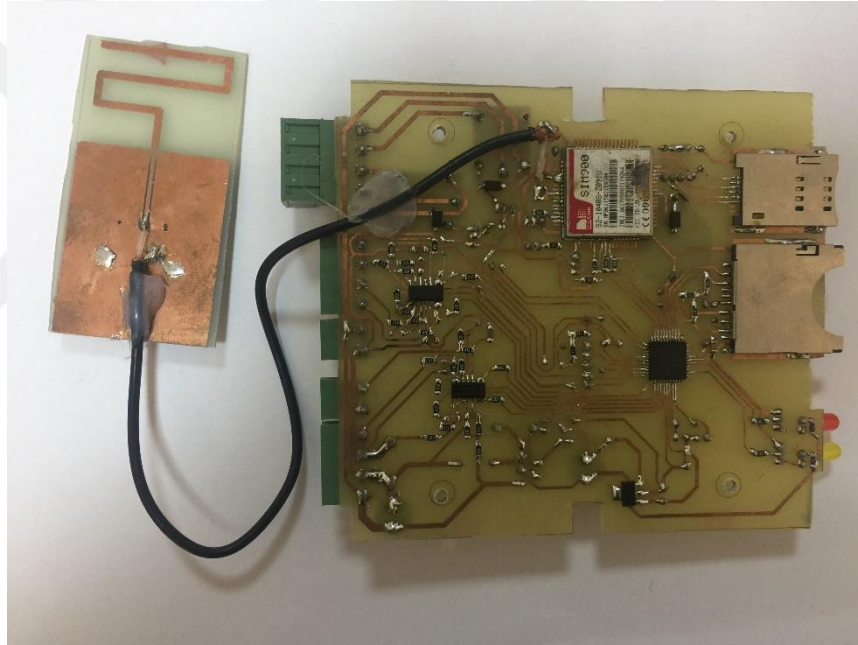
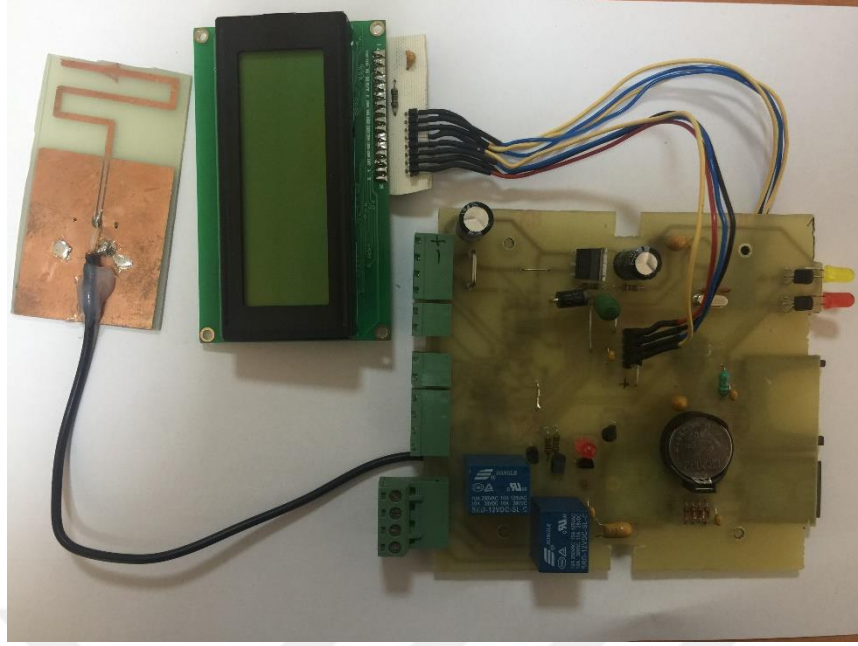
Şekil 5.10. Terminal ölçüm istasyonları şematik gösterimi

Ana terminal veri toplama ve bölgesel terminal ölçüm istasyonlarında gerçek zamanlı ölçüm yapabilmek için tasarlanan devrelerin bileşenleri aşağıda ayrı ayrı gösterilmektedir. Şekil 5.11’de hazırlanan ana terminal veri toplama cihazı gösterilmektedir.



Şekil 5.11. Ana terminal veri toplama cihazı

Şekil 5.12’de Adıyaman, Malatya, Şanlıurfa illeri için hazırlanan bölgesel ölçüm veri toplama cihazı gösterilmektedir.



Şekil 5.12. Bölgesel ölçüm veri toplama cihazı

Adıyaman-Malatya-Şanlıurfa Mühendislik Fakültelerine terminal ölçüm sistemleri, bölgenin sıcaklık, nem, rüzgâr, güneş ışınımı, panel yüzey sıcaklığı ve panelden elde edilen akım ve gerilim değerlerini ölçerek öncelikle verileri SD karta kaydetmekte ve elde edilen verileri 5 dk aralıklarla Adıyaman Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulunda bulunan ana terminale GSM üzerinden kısa mesaj olarak göndermektedir. Ana terminalde bölgesel terminallerden gelen verileri SD karta kaydedilmekte ve daha sonra bu veriler bilgisayar ortamına aktarılarak işlenmektedir.

5.2.1. Ana ve Bölgesel Terminal Ölçüm Cihazlarının Yapısı

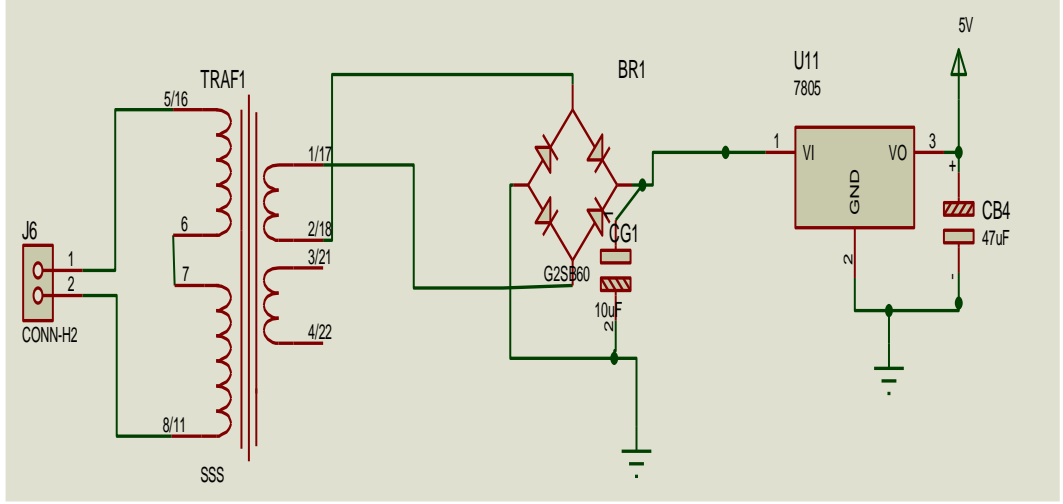
Çevresel faktörlerin güneş panellerine olan etkilerini izlemek ve gerekli ölçümleri yapmak için birkaç farklı tasarım bulunmaktadır. Bu tasarımlar mikrodenetleyici kontrollü devreler, DSP, bilgisayar ve veri toplama/işleme birimleri gibi donanımlar ya da bu donanımların beraber kullanılarak geliştirilen sistemlerdir. Geliştirilen bu sistemler diğer sistemlere göre yazılımsal süreçler, donanımsal maliyetler, çevresel kartlar ile iletişim gibi avantaj veya dezavantajları bulunmaktadır.

Bu tez çalışmasında, ana veri toplama ve bölgesel terminal ölçüm cihazı tasarımında mikrodenetleyici tabanlı sistem kullanılması tercih edilmiştir. Bu sistemin tercih edilmesinin nedenleri; yüksek hızlarda işlem yapabilmeleri, amaca yönelik yazılım ile istenilen sonuçların hızlı ve doğru bir şekilde elde edilebilmesi ve seri üretim açısından verimli olması gibi avantajlardır. Tasarlanan bölgesel ölçüm cihazları kesintisiz bir şekilde sürekli olarak standartlara uygun bir şekilde ölçüm yapabilecek, sonuçları anlık olarak cihaz içinde bulunan hafıza kartına kaydedebilecek ve elde edilen verileri ana terminale iletebilecek yapıdadır.

Ana Terminal ve Bölgesel Ölçüm Terminal Cihazları donanımsal yapısını oluşturan kısımlara ait uygulama devreleri aşağıda gösterilmiştir.

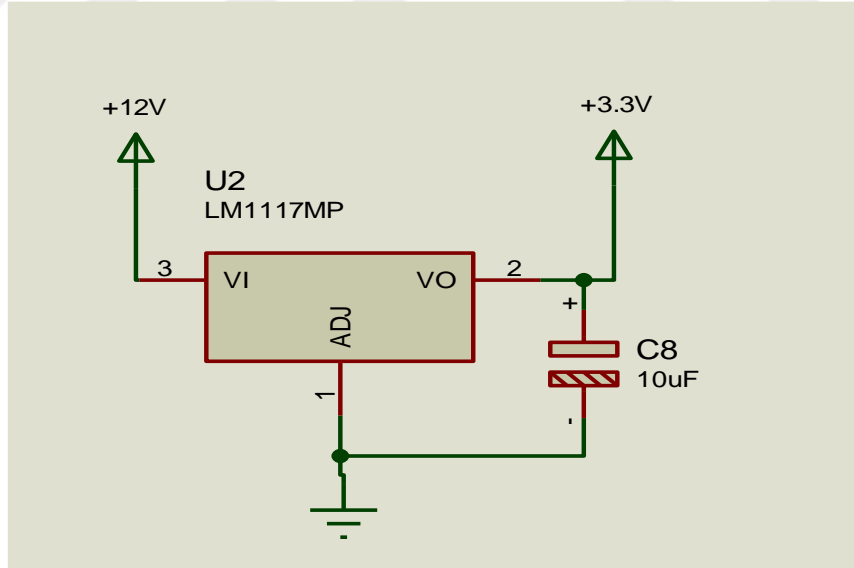
5.2.1.1. Güç Besleme Devresi

Şekil 5.13’de gösterilen devrede ana terminal ve bölgesel ölçüm terminal cihazları devresinin ihtiyacı olan gerilim değerlerinin elde edilmesi için tasarlanmıştır. Bu devrede; J6 konnektörü yardımıyla transformatörün primer ucu, şebeke gerilimine bağlanmıştır. Transformatörün sekonder ucundan 7.5 V AC gerilim elde edilmektedir. Köprü diyotlar yardımıyla sinüs dalga formu tam doğrultulmuş ve CG1 kondansatör ile filtre edilerek 12 V DC değeri elde edilmiştir. 7805 entegresinin girişine 12V DC gerilimi uygulanarak VO çıkış ucundan gerekli olan 5 V DC gerilim değeri elde edilmiştir.



Şekil 5.13. Besleme devresi (5 V)

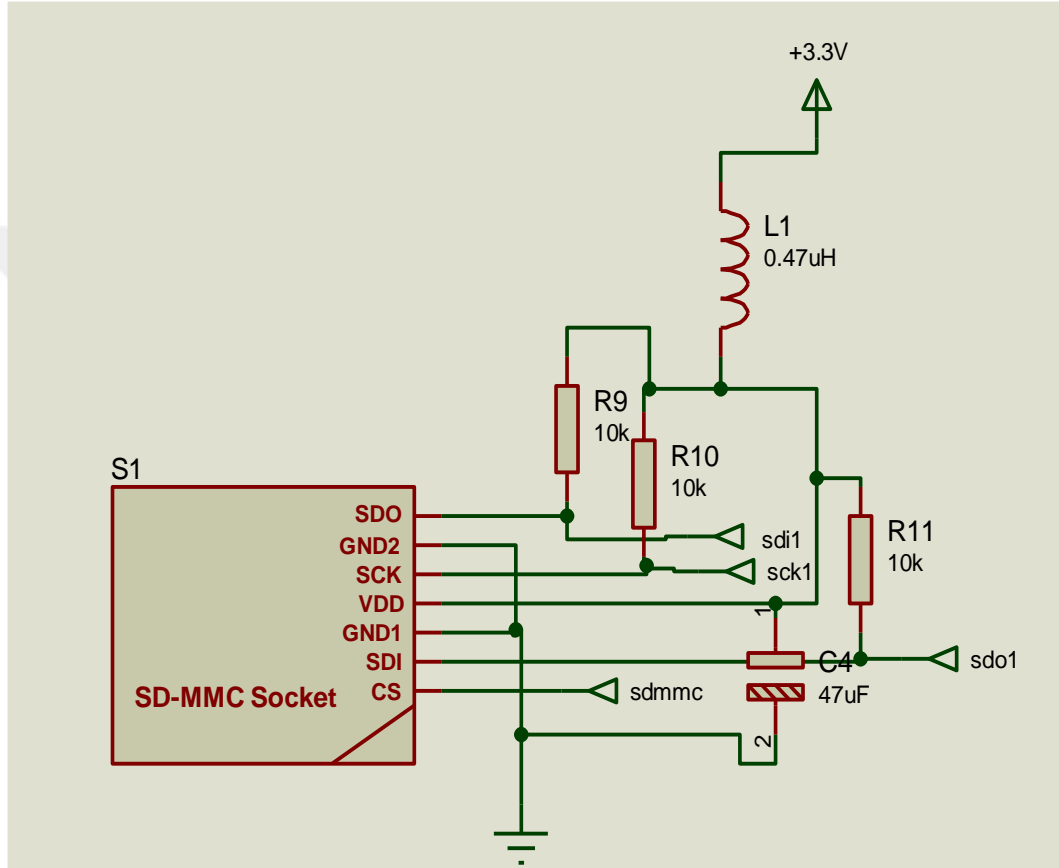
Mikrodenetleyicinin çalışma gerilimi olan 3.3 V DC gerilimi için Şekil 5.14’de gösterildiği gibi LM1117MP entegresi kullanılarak devre tasarlanmıştır. Bu devrede kullanılan LM1117MP entegresinin girişine (VI ucuna) uygulanan 12 V DC gerilim ile VO çıkış ucundan 3.3 V DC gerilim değeri elde edilmiştir.



Şekil 5.14. Besleme devresi (+ 3,3 V)

5.2.1.2. Hafıza Kartı Uygulama Devresi

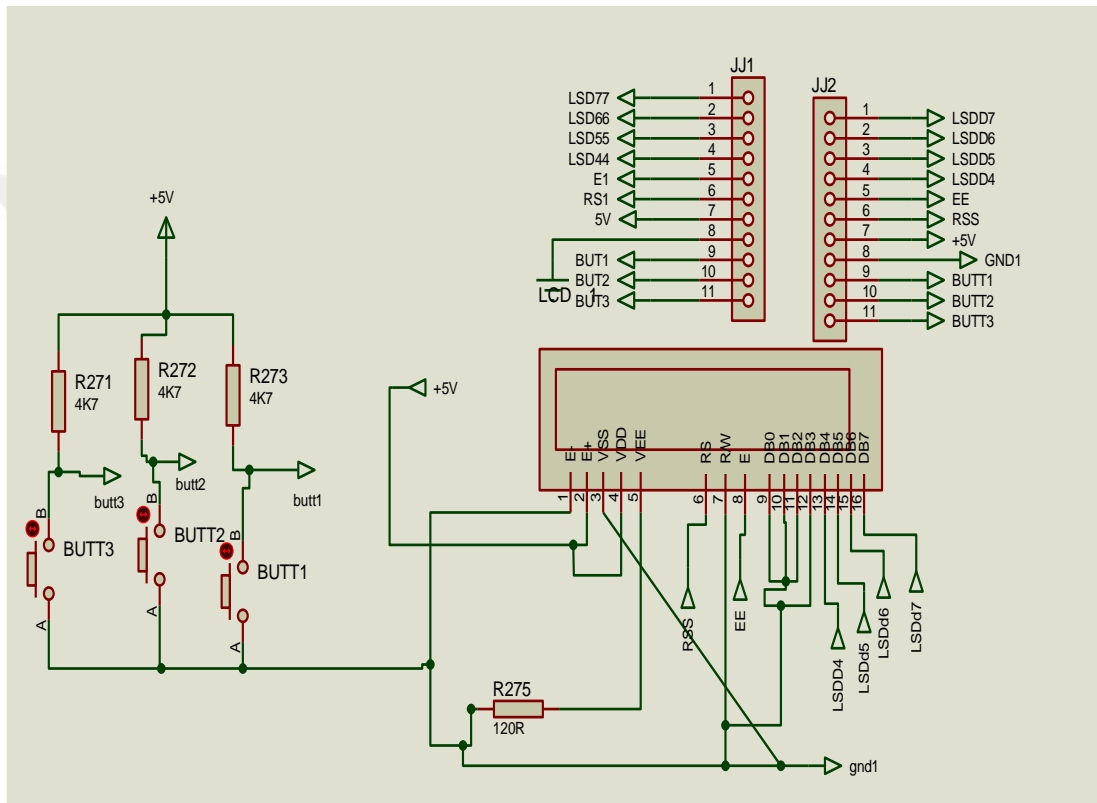
Bölgesel ölçüm terminallerinde ölçülen verileri kaydetmek ve ana terminalde ise bölgesel terminallerden gelen verileri SD karta kaydetmek için tasarlanan Hafıza Kartı uygulama devresi Şekil 5.15’de gösterilmektedir. Hafıza Kartı devresi 4 Gigabyte büyüklüğünde hafıza kartını desteklemektedir.



Şekil 5.15. Hafıza kartı uygulama devresi

5.2.1.3. LCD Ekran Uygulama Devresi

2 satır 16 sütundan oluşan LCD ekran; ana terminale gelen ve bölgesel terminallerde ölçülen sıcaklık, nem, rüzgar hızı, güneş ışınım şiddeti, panel yüzey sıcaklığı, üretilen akım ve gerilim verilerini tarih ve zaman (saat:dakika:saniye) bilgileriyle ekranda görmek için tasarlanan LCD ekrana ait devre Şekil 5.16'da gösterilmektedir.



Şekil 5.16. LCD ekran uygulama devresi

5.2.1.4. Mikrodenetleyici Bağlantı Devresi

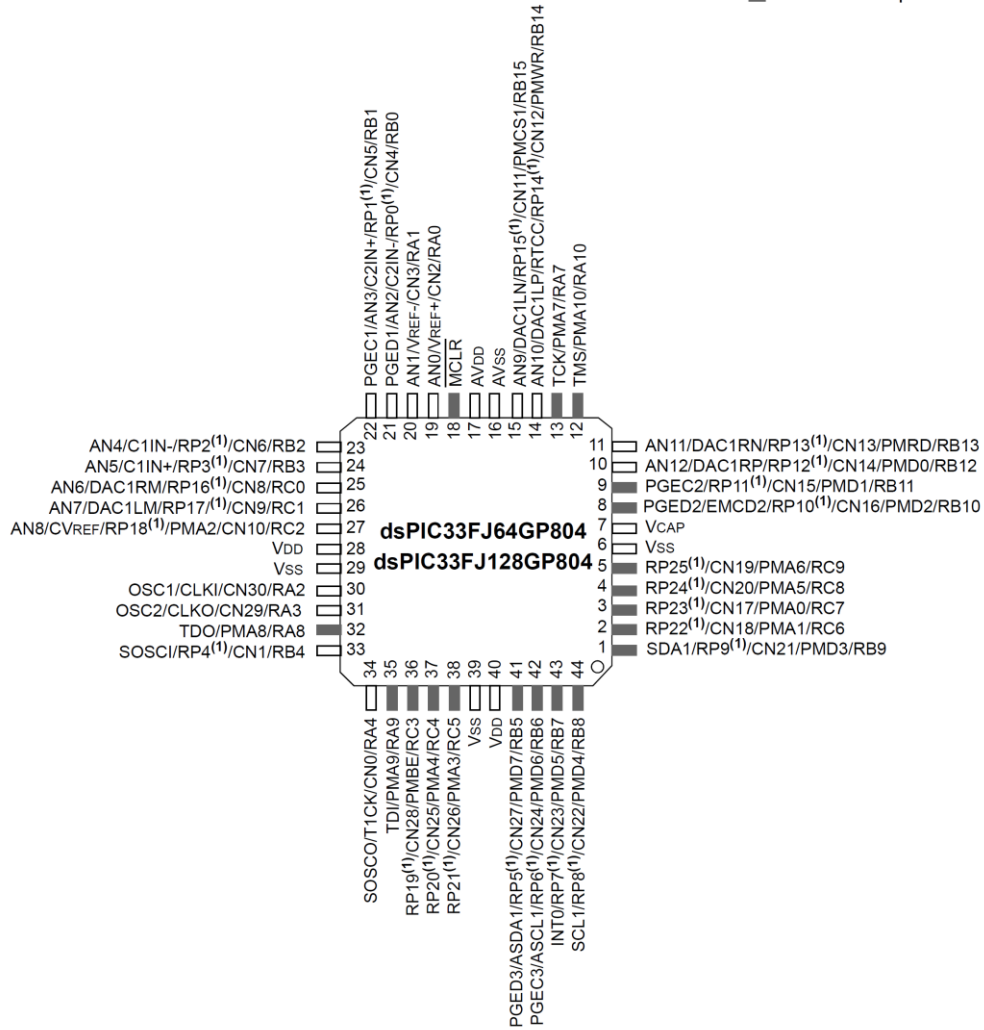
Ana Terminal ve Bölgesel Ölçüm Terminallerinde çevresel faktörleri ölçerek kaydetmek ve ana terminal ile bölgesel terminal veri iletişimini gerçekleştiren ölçüm cihazının en önemli bölümünü oluşturan mikrodenetleyici gerilim sinyali parametrelerinin standartlara uygun olarak ölçülmesi ve analiz edilmesi, elde edilen sonuçların hafıza kartına kaydedilmesi ve ana terminal ile bölgesel terminel arasında veri iletimi işlemlerini gerçekleştirmektedir. Elektronik devrenin uygulama

aşamasında kullanılan mikrodenetleyici için Mikrochip firması tarafından üretilen dsPIC33FJ128GP804 kodlu mikrodenetleyici kullanılmaktadır. Bu mikrodenetleyiciye ait teknik veriler EK – A’da gösterilmektedir.

dsPIC33FJ128MC804, 16 bit digital signal kontrollü bir mikrodenetleyici olup, 128 kByte Flash Bellek ve 64 kByte Statik RAM hafızaya sahiptir. 44 pinlik mikrodenetleyicinin pinlerinin bağlantıları Şekil 5.17’de gösterilmektedir.

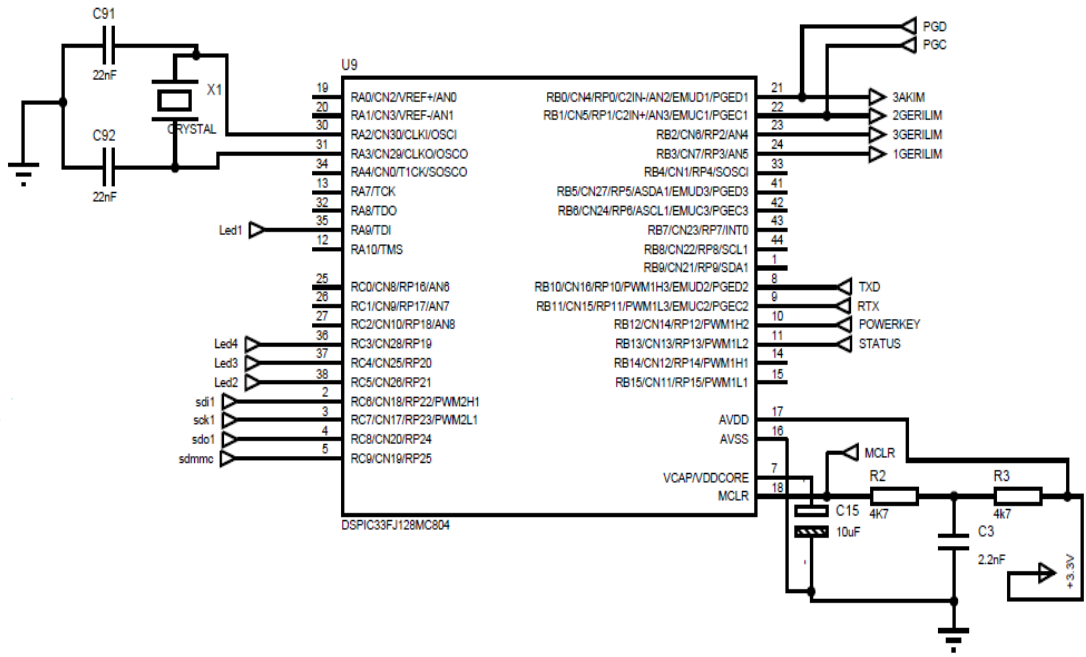
44-Pin TQFP

■ = Pins are up to 5V tolerant

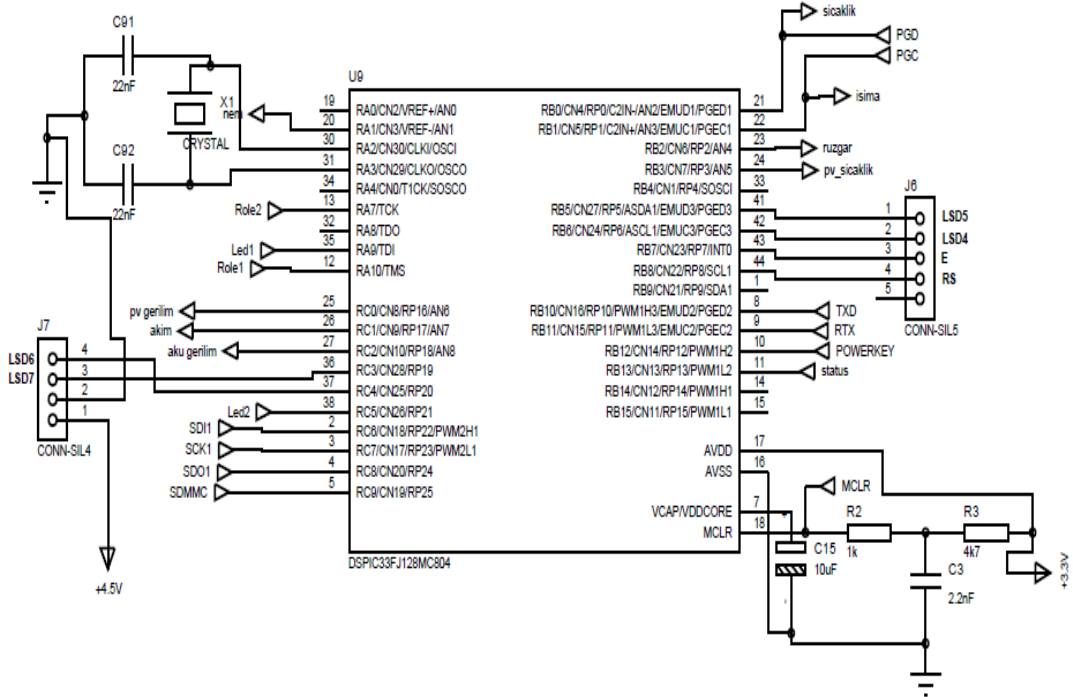


Şekil 5.17. Mikrodenetleyici pin diyagramı (MICROCHIP).

dsPIC33FJ128GP804 kodlu Mikrochip firması tarafından üretilen mikrodenetleyiciye ait bağlantı uygulamaları ana terminal (Şekil 5.18) ve bölgesel terminal (Şekil 5.19) için aşağıda gösterilmektedir.



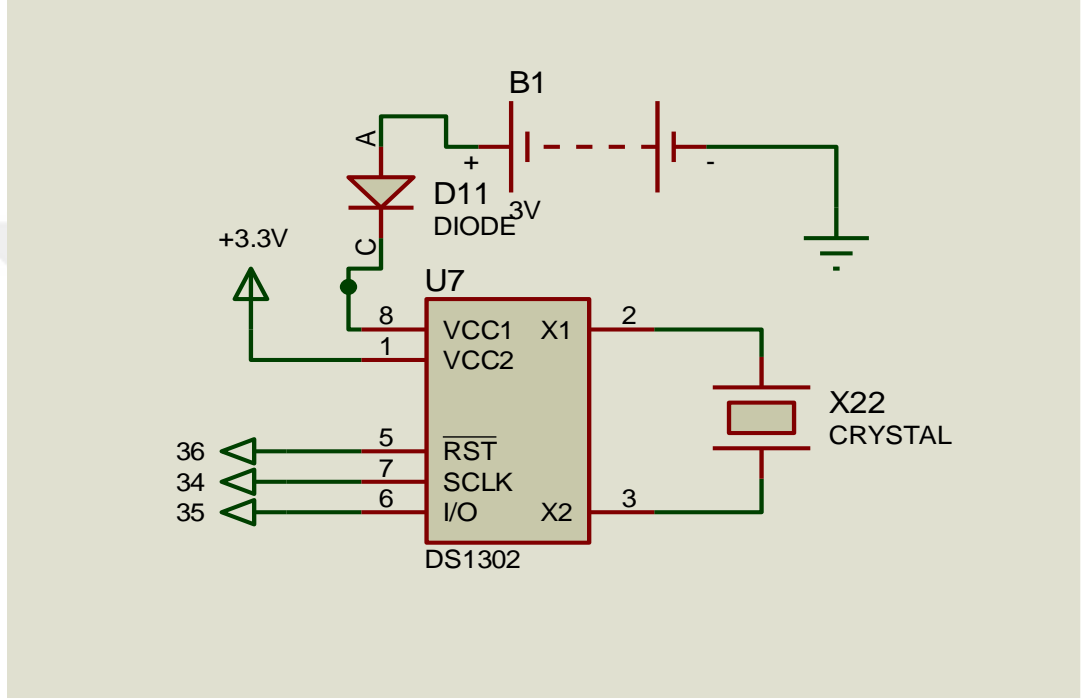
Şekil 5.18. Ana Terminal Mikrodenetleyici bağlantı devresi



Şekil 5.19. Bölgesel Terminal Mikrodenetleyici bağlantı devresi

5.2.1.5. Sistem Saat Devresi

Uygulama devresine ait zaman bilgisini saat:dakika:saniye olarak sürekli güncel tutabilmek için tasarlanan devre Şekil 5.20’de gösterilmektedir. Bu devre zaman bilgisini güncel tutabilmesi için ayrıca 3V’luk pil ile sürekli enerjilidir.



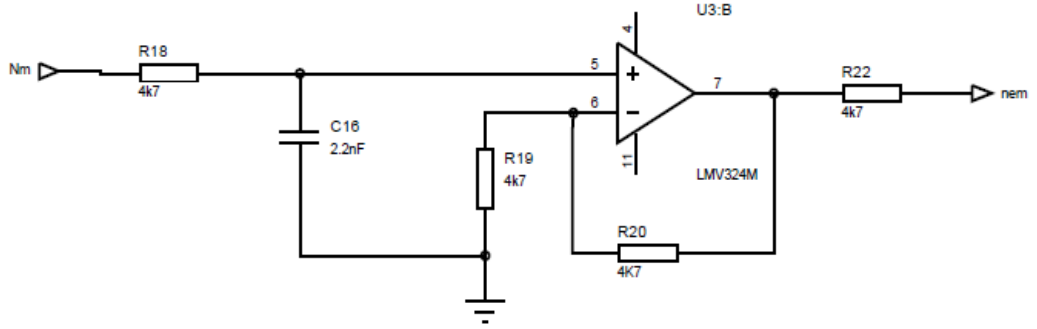
Şekil 5.20. Saat devresi

5.2.1.6. SIM Kart Uygulama Devresi

Bölgesel terminallerden ana terminale 5 dakika aralıklarla gelen çevresel faktörler (sıcaklık, nem, güneş ışınımı şiddeti, panel sıcaklık, rüzgâr hızı) ile panelin ürettiği akım ve gerilim değerleri kısa mesajlar (SMS) ile iletilmektedir. Ana terminal ve bölgesel terminaller arasındaki veri akışını sağlamak için Şekil 5.21’de verilen SIM900 uygulama devresi kullanılmıştır.

5.2.1.8. Nem Ölçüm Devresi

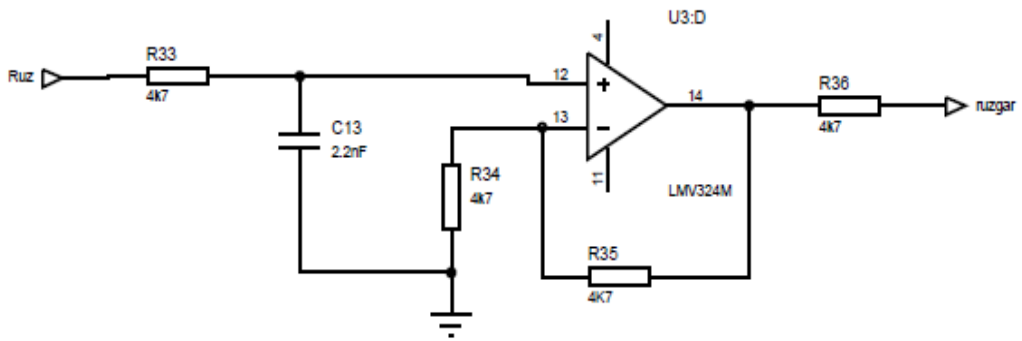
Bölgesel ölçüm terminallerinde istasyonun kurulduğu bölgenin nemini ölçmek için kullanılan proplardan elde edilen analog veriler Şekil 5.23’de verilen uygulama devresinde sayısal olarak işlenmekte ve daha sonra mikroişlemci yazılımı ile derlenip SD karta kaydedildikten sonra SMS ile ana terminale iletilmektedir.



Şekil 5.23. Bölgesel terminaller nem ölçüm devresi

5.2.1.9. Rüzgâr Hızı Ölçüm Devresi

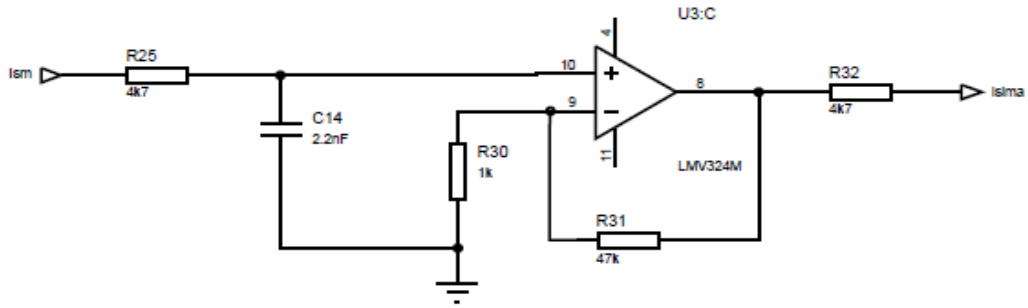
Bölgesel ölçüm terminallerinde istasyonun kurulduğu bölgenin rüzgâr hızını ölçmek için kullanılan anemometre probundan elde edilen analog veriler Şekil 5.24’de verilen uygulama devresinde sayısal olarak işlenmekte ve daha sonra mikroişlemci yazılımı ile derlenerek SD karta kaydedildikten sonra SMS ile ana terminale iletilmektedir.



Şekil 5.24. Bölgesel terminaller rüzgâr hızı ölçüm devresi

5.2.1.10. Güneş Işınım Şiddeti Ölçüm Devresi

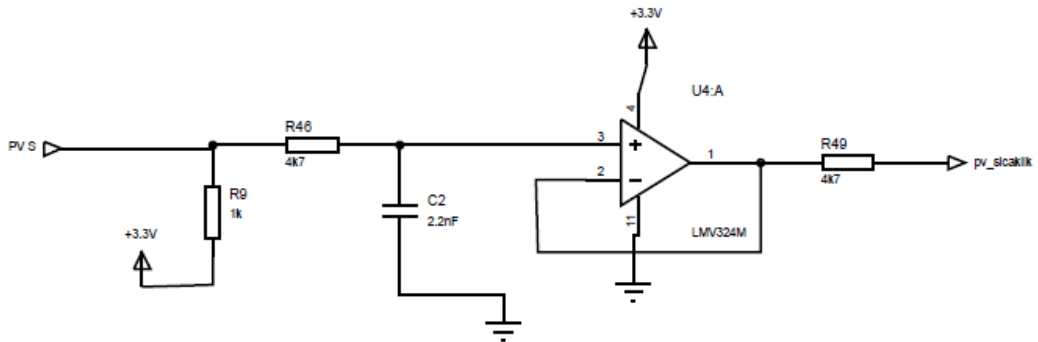
Bölgesel ölçüm terminallerinde istasyonun kurulduğu bölgenin güneş ışınım şiddetini ölçmek için kullanılan pirenometer probundan elde edilen analog veriler Şekil 5.25’de verilen uygulama devresinde sayısal olarak işlenmekte ve daha sonra mikroişlemci yazılımı ile derlenerek SD karta kaydedildikten sonra SMS ile ana terminale iletilmektedir.



Şekil 5.25. Bölgesel terminaller güneş ışınım şiddeti ölçüm devresi

5.2.1.11. PV Sıcaklık Ölçüm Devresi

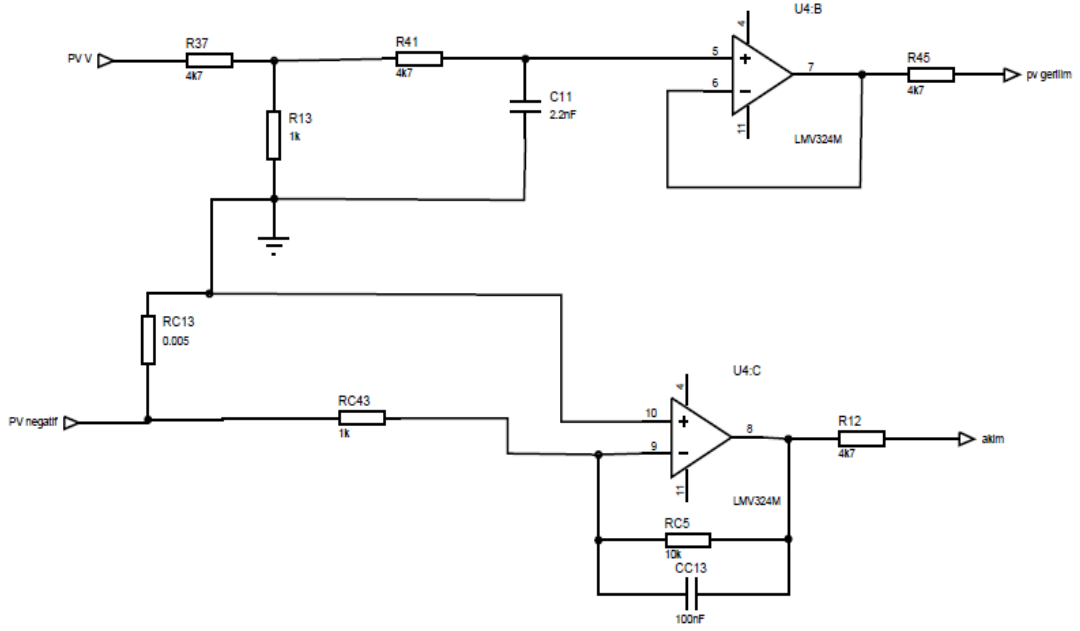
Bölgesel ölçüm terminallerinde panel gövdesine yapıştırılan sensör aracılığı ile ölçülen panel sıcaklık verileri Şekil 5.26’da verilen uygulama devresinde sayısal olarak işlenmekte ve daha sonra mikroişlemci yazılımı ile derlenerek SD karta kaydedildikten sonra SMS ile ana terminale iletilmektedir.



Şekil 5.26. Bölgesel terminaller güneş ışınım şiddeti ölçüm devresi

5.2.1.12. Akım ve Gerilim Ölçüm Devresi

Bölgesel ölçüm terminallerinde yer alan PV panelin üretmiş olduğu akım ve gerilim değerleri Şekil 5.27’de devre ile ölçülmekte ve daha sonra mikroişlemci yazılımı ile derlenerek SD karta kaydedildikten sonra SMS ile ana terminale iletilmektedir.



Şekil 5.27. Bölgesel terminaller PV panel akım ve gerilim ölçüm devresi

5.2.2. Çevresel Faktörlerin Etkilerini Ölçmek İçin Kullanılan Propların Özellikleri

Bölgesel ölçüm terminallerinde sıcaklık, nem, rüzgâr hızı, güneş ışınım şiddeti ve panel sıcaklığını ölçmek için aşağıda özellikleri verilen proplar kullanılmıştır.

5.2.2.1. Sıcaklık ve Nem Ölçüm Probu

Bölgesel terminal ölçüm istasyonlarında çevre sıcaklığını ve nemi ölçmek için; radyasyon koruma kılıflı, -40 ile +60 °C ölçüm aralığına sahip, 0.01 °C hassasiyetli, 8 sn'den daha düşük tepkime sürelili, %2 nem ölçüm doğruluğuna sahip analog gerilim çıkışlı dış saha sıcaklık ve nemölçer prob kullanılmaktadır. Probdan ölçülen sıcaklık ve nem verileri analog gerilim olarak terminal ölçüm cihazına aktarılmaktadır. Cihazda sıcaklık ve nem devresinde dijital olarak işlenerek ölçülen çevre sıcaklık ve nem değerleri SD karta kaydedildikten sonra GSM modülü aracılığı ile SMS olarak ana terminal cihazına iletilmektedir. Ölçülen değerler istenirse LCD ekrandan anlık gerçek zamanlı olarak takip edilebilmektedir. Şekil 5.28'de bölgesel terminal ölçüm istasyonlarında çevre sıcaklık ve nem değerlerini ölçmek için kullanılan prob gösterilmektedir.



Şekil 5.28. Çevre sıcaklık ve nem ölçüm probu

5.2.2.2. Güneş Işınım Şiddeti Ölçüm Probu

Bölgesel terminal ölçüm istasyonlarında Güneş ışınım şiddetini ölçmek için; 0-2000 W/m² arası ölçüm yapabilen, -30 ile +70 °C aralığında çalışabilen, 1 msn'den düşük tepkime sürelili, 400-1100 nm spektral ölçüm aralıklı, %3'den daha düşük sıcaklık bağımlılığına sahip analog gerilim çıkışlı piranometer prob kullanılmıştır. Probdan ölçülen güneş ışınım şiddeti verileri analog gerilim olarak terminal ölçüm cihazına aktarılmaktadır. Cihazda güneş ışınım şiddeti ölçüm devresinde dijital olarak

işlenerek ölçülen değerler SD karta kaydedildikten sonra GSM modülü aracılığı ile SMS olarak ana terminal cihazına iletilmektedir. Ölçülen değerler istenirse LCD ekrandan anlık gerçek zamanlı olarak takip edilebilmektedir. Şekil 5.29'da bölgesel terminal ölçüm istasyonlarında güneş ışınım şiddetini ölçmek için kullanılan piranometer prop gösterilmektedir.



Şekil 5.29. Güneş ışınım şiddeti ölçüm probu

5.2.2.3. Rüzgâr Hızı Ölçüm Probu

Bölgesel terminal ölçüm istasyonlarında rüzgâr hızını ölçmek için; 0.28-50 m/sn aralığında ölçüm yapabilen, 0.02 m/sn hata payına sahip, 0.05 m çözünürlüğe sahip, -10 ile +70 °C aralığında çalışabilen ve analog gerilim çıkışlı anemometre kullanılmıştır. Probdan ölçülen rüzgâr hızı verileri analog gerilim olarak terminal ölçüm cihazına aktarılmaktadır. Cihazda rüzgâr hızı ölçüm devresinde dijital olarak işlenerek ölçülen değerler SD karta kaydedildikten sonra GSM modülü aracılığı ile SMS olarak ana terminal cihazına iletilmektedir. Ölçülen değerler istenirse LCD ekrandan anlık gerçek zamanlı olarak takip edilebilmektedir. Şekil 5.30'da bölgesel terminal ölçüm istasyonlarında rüzgâr hızını ölçmek için kullanılan anemometre prop gösterilmektedir.



Şekil 5.30. Rüzgâr hızı ölçüm probu

5.2.2.4. Panel Sıcaklık Ölçüm Probu

Bölgesel terminal ölçüm istasyonlarında kullanılan panellerin yüzey sıcaklığını ölçmek için; -50 ile +150 °C aralığında ölçüm yapabilen, ± 0.01 °C hassasiyetli ve analog gerilim çıkışlı termokupl kullanılmıştır. Termokupldan ölçülen panel sıcaklık verileri analog gerilim olarak terminal ölçüm cihazına aktarılmaktadır. Cihazda panel sıcaklık ölçüm devresinde dijital olarak işlenerek ölçülen değerler SD karta kaydedildikten sonra GSM modülü aracılığı ile SMS olarak ana terminal cihazına iletilmektedir. Ölçülen değerler istenirse LCD ekrandan anlık gerçek zamanlı olarak takip edilebilmektedir. Şekil 5.31’de bölgesel terminal ölçüm istasyonlarında panel sıcaklığını ölçmek için kullanılan termokupl gösterilmektedir.



Şekil 5.31. Panel sıcaklık ölçüm probu (termokupl)

Adıyaman (Şekil 5.32), Malatya (Şekil 5.33) ve Şanlıurfa (Şekil 5.34) illerinde kurulan bölgesel terminal ölçüm istasyonlarının uygulama görüntüleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 5.32. Adiyaman ili terminal ölçüm istasyonu



Şekil 5.33. Malatya ili terminal ölçüm istasyonu

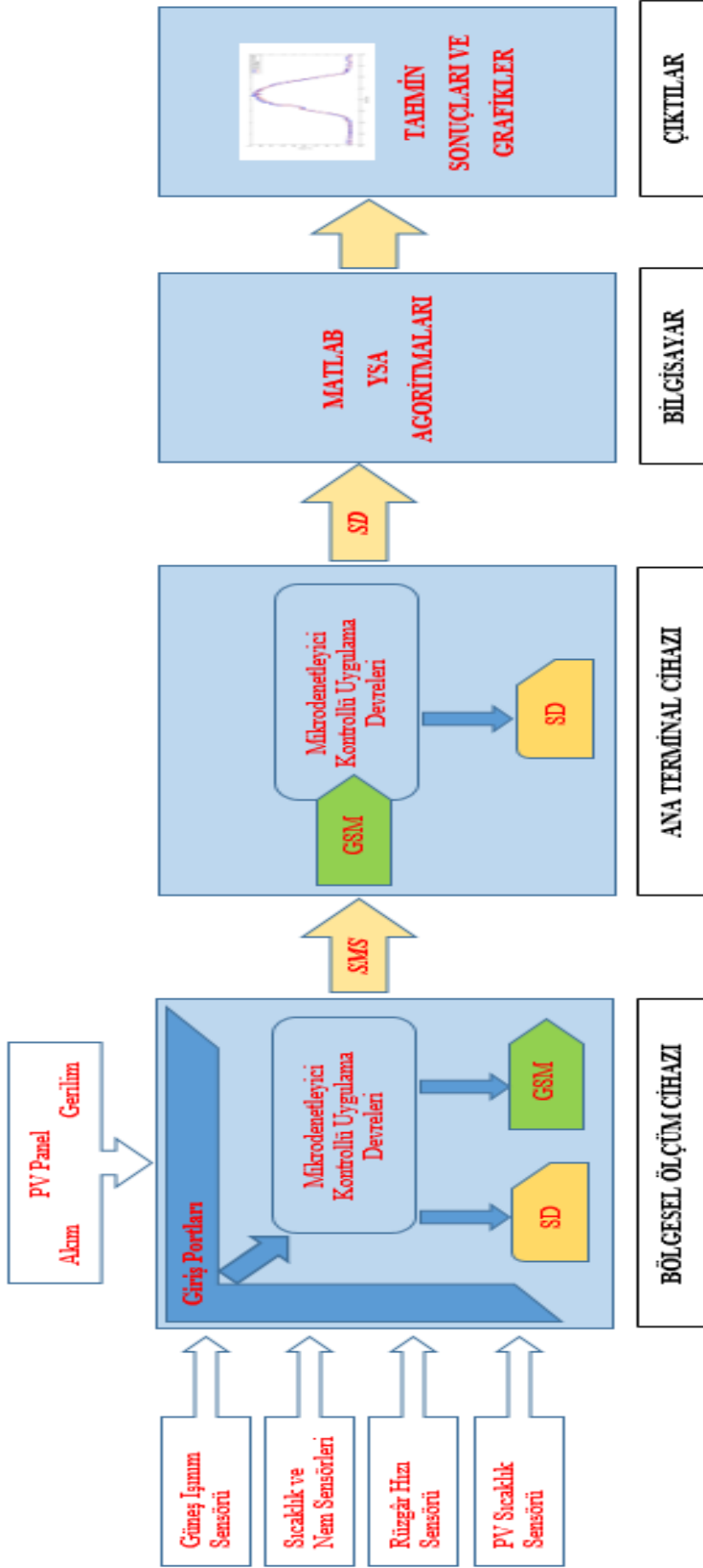


Şekil 5.34. Şanlıurfa ili terminal ölçüm istasyonu

5.3. Ölçüm Sisteminin Çalışması

Adıyaman-Malatya-Şanlıurfa illerinde kurulan Bölgesel Ölçüm İstasyonlarında çevresel faktörlerin etkilerini ölçmek için kullanılan sıcaklık, nem, güneş ışınım şiddeti, rüzgâr hızı, PV panel sıcaklığı proplarından gelen veriler ve panelde üretilen akım ve gerilim verileri bölgesel ölçüm cihazına gelmektedir. Bu veriler cihaz içindeki mikrodenetleyici kontrolünde ilgili uygulama devrelerinde işlendikten sonra SD kara kaydedilmekte ve daha sonra GSM modülü üzerinden 5 dk aralıklarla SMS olarak Ana Terminal cihazına gönderilmektedir. Ana terminal cihazında gelen veriler mikrodenetleyici kontrolünde işlenmekte ve daha sonra SD karta kaydedilmektedir. Ana ve bölgesel terminallerde işlenen veriler istendiğinde LCD ekrandan anlık olarak takip edilebilmektedir.

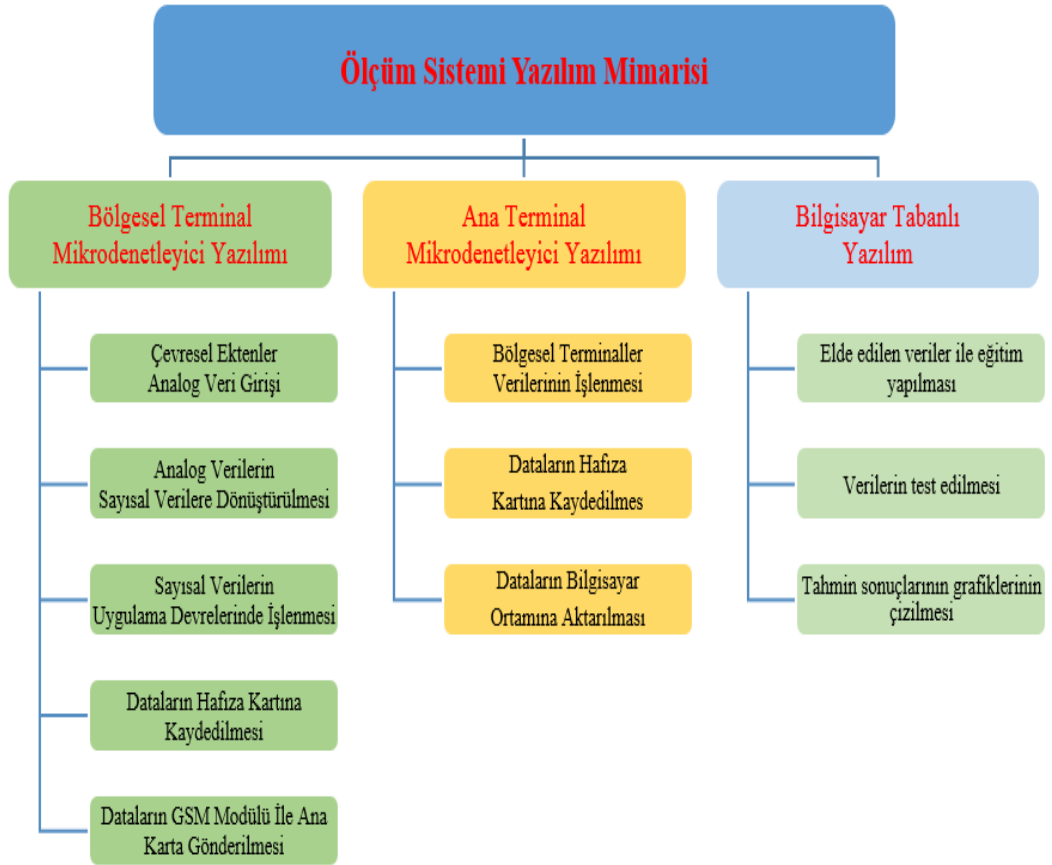
Ana terminalde SD kara kaydedilen verileri daha sonra bilgisayar ortamına aktararak işlenmekte ve MATLAB programı kullanılarak hazırlanan yazılım yardımı ile Yapay Sinir Ağları algoritmaları kullanılarak tahmin süreci gerçekleştirilmektedir. Şekil 5.35’de deneysel çalışmanın blok diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 5.35. Ölçüm sistemi çalışma blok diyagramı

5.4. Ölçüm Sisteminin Yazılımsal Yapısı

Çevresel faktörlerin PV Panel verimine etkilerinin incelenmesi ve tahmin edilmesi yazılımları genel olarak iki farklı yapı altında hazırlanmıştır. Bu yazılımlar bölgesel ölçüm ve ana terminal sistemi üzerinde veri toplama ve işleme yazılımları ile bilgisayar ortamında hazırlanan yazılımlardır (Şekil 5.36). Ana terminal ve bölgesel ölçüm cihazları üzerinde hazırlanan yazılım MPLAB editörü kullanılarak C++ kodları ile hazırlanmıştır. Bilgisayar ortamında hazırlanan yazılımlar ise MATLAB programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.36. Ölçüm sisteminin yazılımsal yapısı

Bölgesel ölçüm cihazında bulunan mikrodenetleyici yazılımları, çevresel etken sensörlerinden (sıcaklık, güneş ışınım şiddeti, nem, rüzgâr, PV panel sıcaklık) gelen ve panelin ürettiği akım, gerilim verilerini uygulama devrelerini kullanarak sayısal olarak işleyip hafıza kartına kaydettikten sonra GSM modülü aracılığı ile elde edilen

sonuçları SMS olarak ana terminal cihazına göndermektedir. Ana terminal cihazında bulunan mikrodenetleyici yazılımları ise Adıyaman-Malatya-Şanlıurfa bölgesel terminallerinden gelen verileri gruplandırıp hafıza kartına kaydetmektedir. Ana ve bölgesel terminallerde yer alan yazılımlar aracılığı ile istenirse LCD ekrandan anlık veriler kontrol edilebilmektedir.

Bilgisayar tabanlı MATLAB yazılımlarda ise ana terminal cihazı hafıza kartından alınan veriler Yapay Sinir Ağları algoritmaları ile eğitim ve test işlemlerinde kullanılmakta ve elde edilen tahmin sonuçlarının grafikleri hazırlanmaktadır.



6. YSA TAHMİN SONUÇLARI

Adıyaman-Malatya-Şanlıurfa bölgelerinden ölçüm alan bölgesel terminal ölçüm sistemlerinde 5 dakika aralıklarla ölçülen sıcaklık, nem, rüzgâr, güneş ışınımı, PV panel sıcaklığı, panelden elde edilen akım ve gerilim değerleri terminal ölçüm istasyonlarında yer alan SD kartlara kaydedilmekte ve aynı zamanda GSM modülü üzerinden Ana terminal istasyonuna gönderilmektedir. Ana istasyonda gelen bilgiler SD karta kaydedildikten sonra bilgisayar ortamına aktarılarak MATLAB programı ile analiz edilmektedir. Her bir bölgesel terminal istasyonundan parametreler (sıcaklık, güneş ışınımı, rüzgar, nem, modül sıcaklığı, akım ve gerilim) için günlük her parametre için 288 olmak üzere toplamda 2016 veri elde edilmektedir. Ölçümler Ağustos 2017 ile Temmuz 2018 arasında bir yıl süre ile gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışmasında bölgesel terminallerden gelen veriler iki modül şeklinde incelenmiştir.

6.1. İllerin Tahmin Sonuçları (Modül-1)

Adıyaman, Malatya ve Şanlıurfa illerinden Ağustos 2017 ile Temmuz 2018 arasında bir yıl süre ile elde edilen veriler MATLAB ortamında YSA algoritmaları kullanılarak analiz edilmiştir. Tahmin işlemi için; trainbfg, trainlm, traincgb, traincgf, trainrp, trainbr algoritmaları kullanılmıştır.

Yapay Sinir Ağları yönteminde kullanılan parametreler;

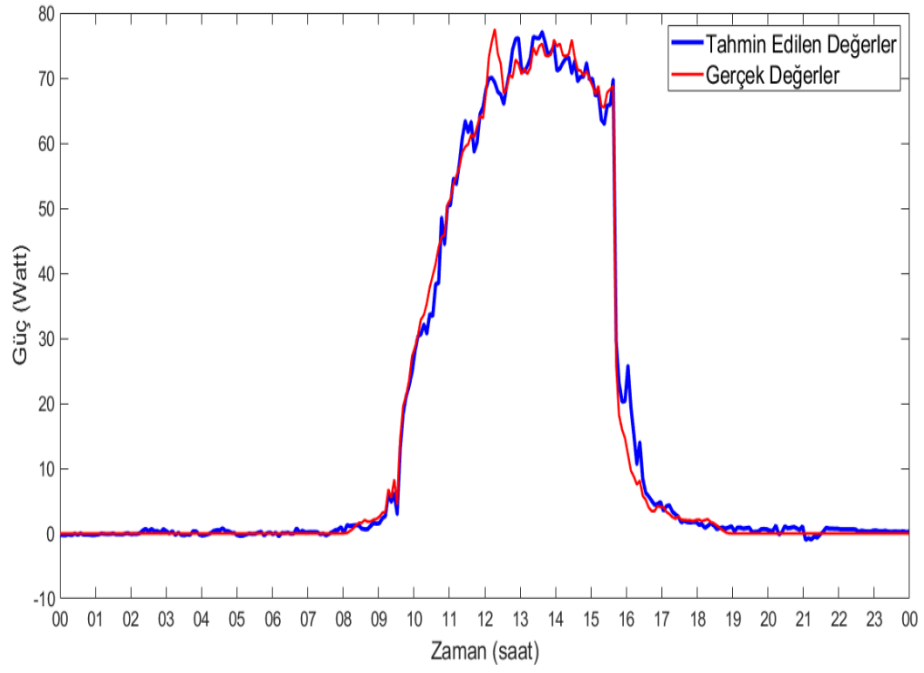
Input layers	: 5 (Sıcaklık, Güneş ışınım şiddeti, Nem, Rüzgâr, PV Modül Sıcaklığı)
Hidden layer neurons	: 27
Train data	: 6250
Test data	: 1339
Validation data	: 1339
Activation function	: Sigmoid Fonksiyonu

Adıyaman- Malatya-Şanlıurfa illerine ait veriler kullanılarak elde edilen tahmin sonuçlarını gösterir çizelgeler ve ilkbahar, yaz, sonbahar, kış mevsimlerini temsilen Ocak, Nisan, Ağustos ve Ekim ayları için örnek tahmin grafikleri aşağıda verilmiştir.

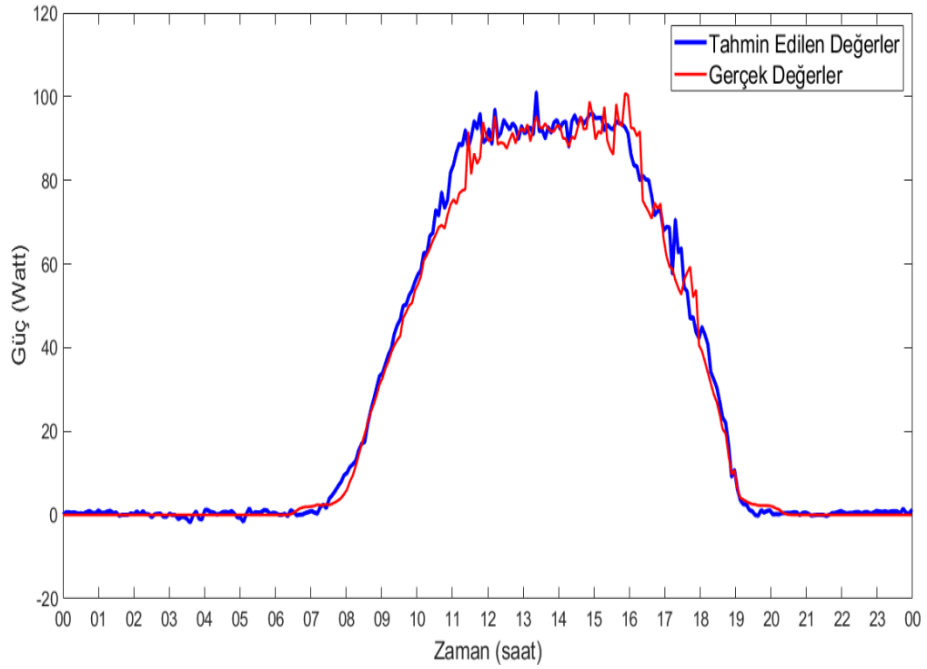
Çizelge 6.1. Adıyaman ili YSA algoritma sonuçlarının karşılaştırılması

ADİYAMAN	YSA Algoritmaları					
Aylar	trainbfg	trainbr	traincgb	traincgf	trainrp	trainlm
Ocak	0.9940	0.9973	0.9934	0.9939	0.9931	0.9966
Şubat	0.9783	0.9942	0.9784	0.9781	0.9763	0.9851
Mart	0.9854	0.9961	0.9856	0.9873	0.9891	0.9952
Nisan	0.9850	0.9893	0.9843	0.9852	0.9842	0.9878
Mayıs	0.9777	0.9874	0.9757	0.9769	0.9756	0.9820
Haziran	0.9949	0.9968	0.9951	0.9943	0.9946	0.9962
Temmuz	0.9959	0.9970	0.9958	0.9956	0.9961	0.9968
Ağustos	0.9936	0.9977	0.9965	0.9964	0.9960	0.9961
Eylül	0.9911	0.9962	0.9911	0.9917	0.9894	0.9930
Ekim	0.9967	0.9984	0.9964	0.9949	0.9948	0.9982
Kasım	0.9961	0.9980	0.9960	0.9957	0.9957	0.9976
Aralık	0.9951	0.9980	0.9954	0.9952	0.9948	0.9975

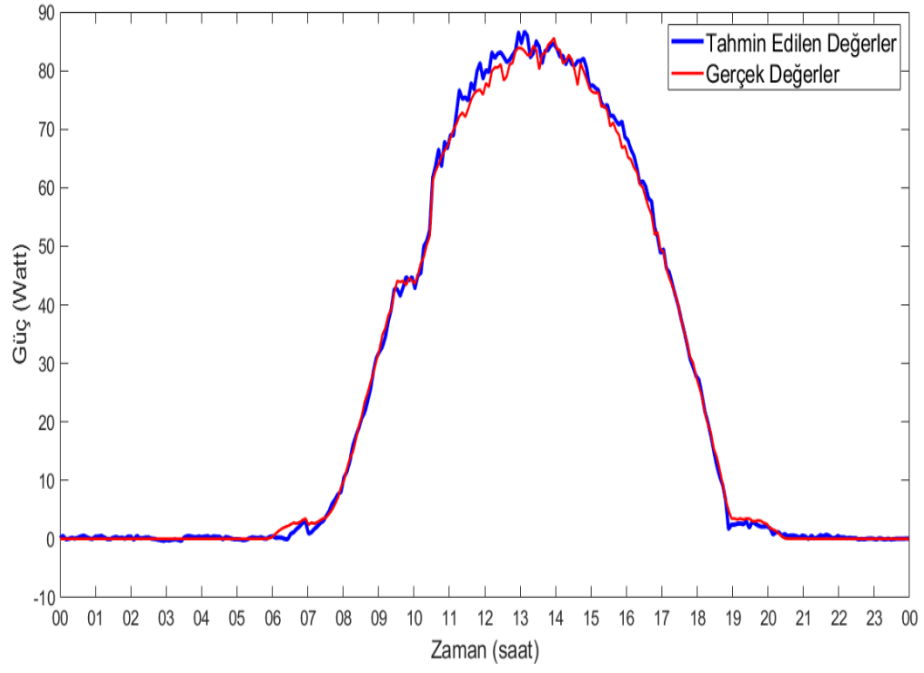
Adıyaman ili ölçüm istasyonundan elde edilen çevresel faktörler (sıcaklık, güneş ışınım şiddeti, nem, rüzgâr hızı, PV sıcaklık) ve panelin ürettiği akım ve gerilim değerleri kullanılarak YSA algoritmaları ile eğitim ve test işlemlerinin gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilen tahmin sonuçları ile gerçek değerler arasında çok yüksek oranda yakınlık (%98.74 – %99.84) olduğu görülmektedir. (Çizelge 6.1).



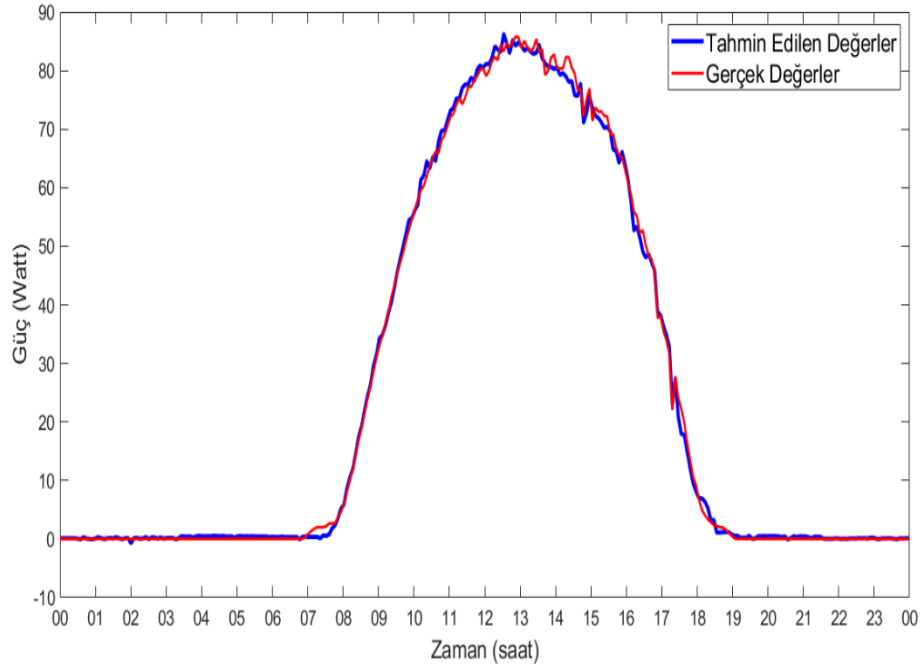
Şekil 6.1. Adıyaman ili Ocak ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.2. Adıyaman ili Nisan ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.3. Adıyaman ili Ağustos ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması

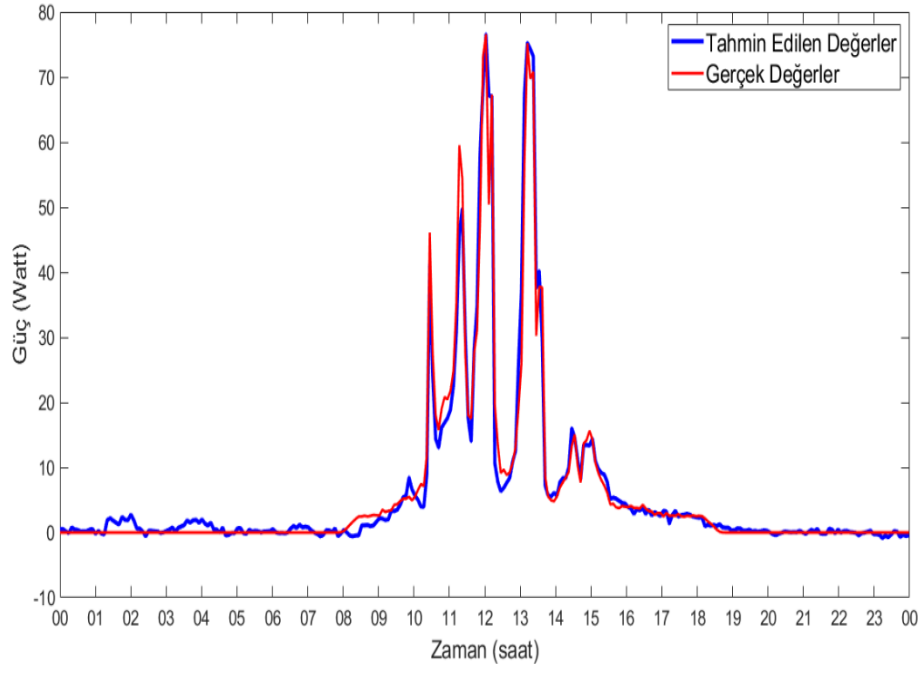


Şekil 6.4 Adıyaman ili Ekim ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması

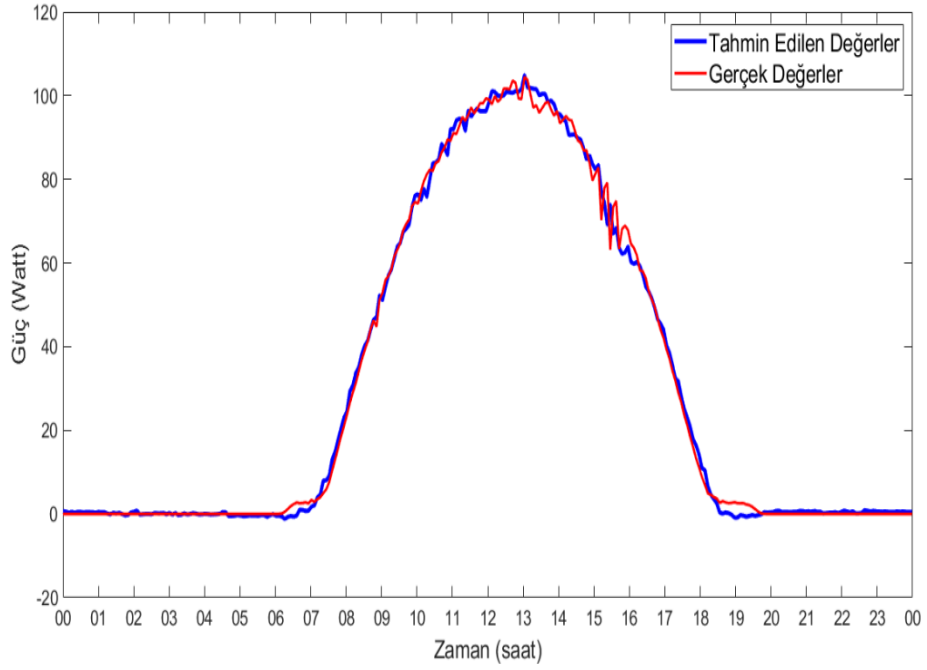
Çizelge 6.2. Malatya ili YSA algoritma sonuçlarının karşılaştırılması

MALATYA	YSA Algoritmaları					
Aylar	trainbfg	trainbr	traincgb	traincgf	trainrp	trainlm
Ocak	0.9881	0.9938	0.9880	0.9882	0.9869	0.9919
Şubat	0.9914	0.9967	0.8980	0.9939	0.9937	0.9953
Mart	0.9949	0.9959	0.9942	0.9945	0.9937	0.9954
Nisan	0.9938	0.9956	0.9939	0.9927	0.9910	0.9947
Mayıs	0.9941	0.9968	0.9955	0.9946	0.9928	0.9965
Haziran	0.9934	0.9952	0.9928	0.9935	0.9913	0.9949
Temmuz	0.9725	0.9829	0.9729	0.9728	0.9722	0.9810
Ağustos	0.9989	0.9993	0.9979	0.9988	0.9979	0.9992
Eylül	0.9984	0.9991	0.9985	0.9987	0.9982	0.9990
Ekim	0.9971	0.9982	0.9968	0.9969	0.9957	0.9981
Kasım	0.9935	0.9969	0.9934	0.9936	0.9937	0.9957
Aralık	0.9550	0.9810	0.9503	0.9554	0.9449	0.9689

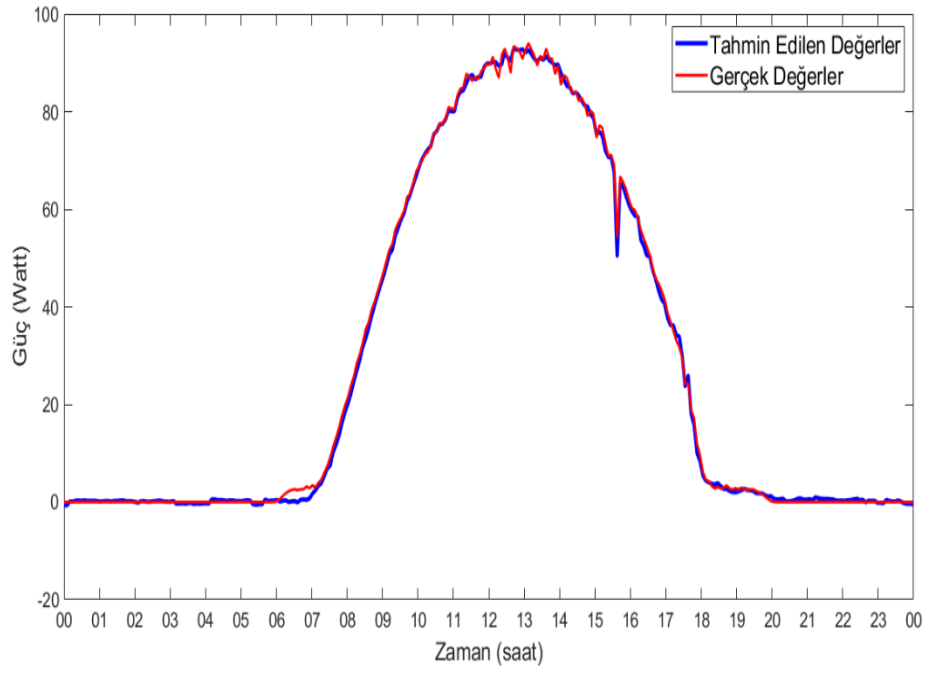
Malatya ili ölçüm istasyonundan elde edilen çevresel faktörler (sıcaklık, güneş ışınım şiddeti, nem, rüzgâr hızı, PV sıcaklık) ve panelin ürettiği akım ve gerilim değerleri kullanılarak YSA algoritmaları ile eğitim ve test işlemlerinin gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilen tahmin sonuçları ile gerçek değerler arasında çok yüksek oranda yakınlık (%98.10 – %99.93) olduğu görülmektedir (Çizelge 6.2).



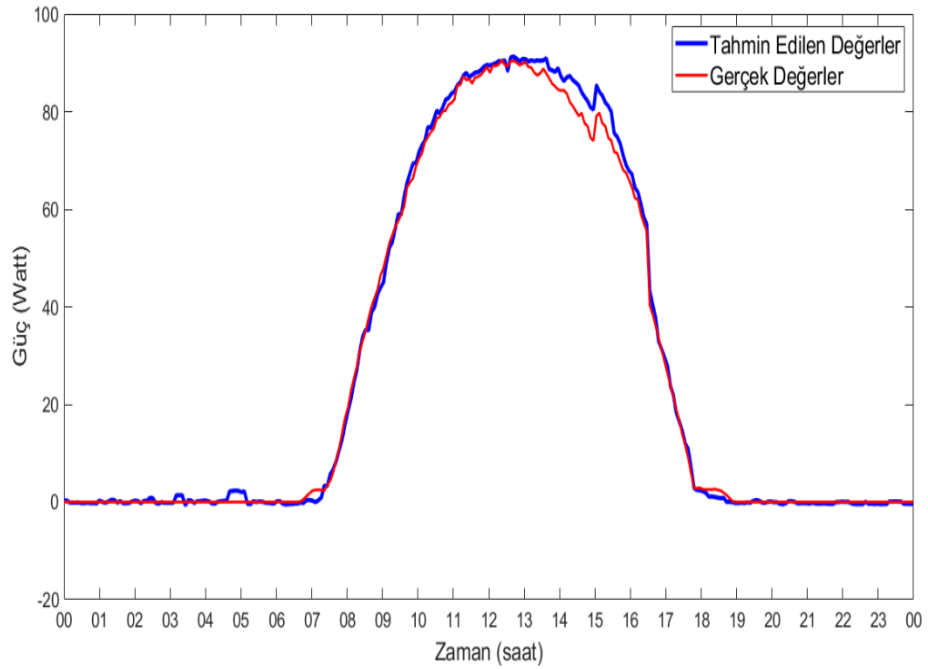
Şekil 6.5. Malatya ili Ocak ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.6. Malatya ili Nisan ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.7. Malatya ili Ağustos ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması

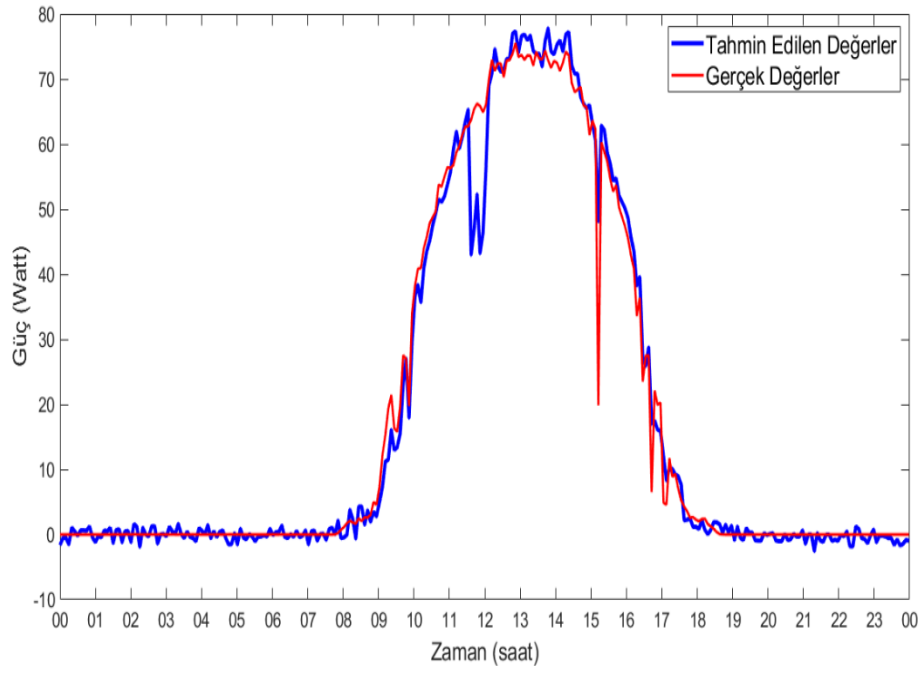


Şekil 6.8. Malatya ili Ekim ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması

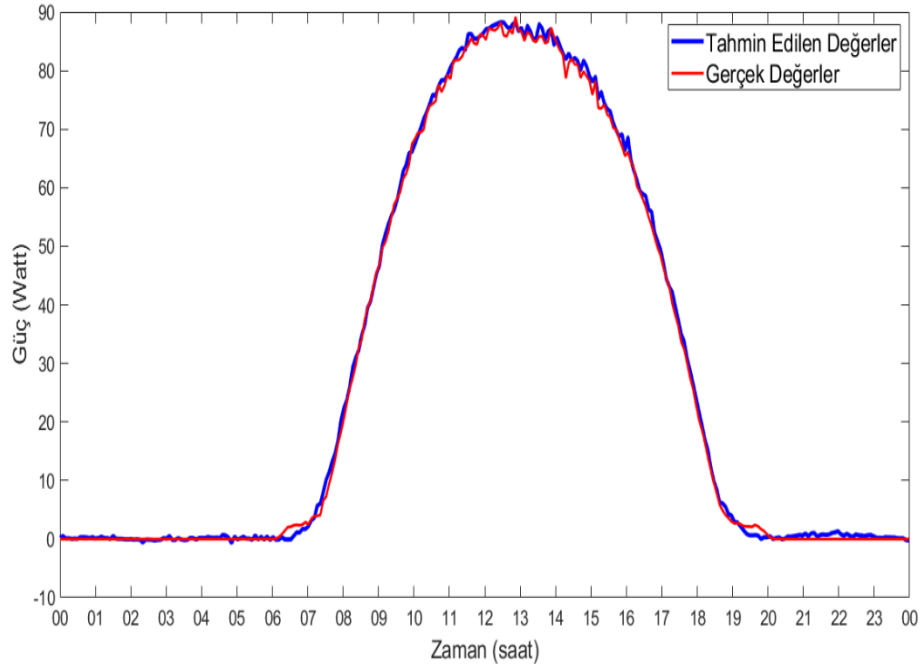
Çizelge 6.3. Şanlıurfa ili YSA algoritma sonuçlarının karşılaştırılması

ŞANLIURFA	YSA Algoritmaları					
	trainbfg	trainbr	traincgb	traincgf	trainrp	trainlm
Ocak	0.9399	0.9650	0.9613	0.9444	0.9726	0.9641
Şubat	0.9879	0.9973	0.9699	0.9917	0.9892	0.9965
Mart	0.9959	0.9980	0.9957	0.9966	0.9941	0.9976
Nisan	0.9982	0.9989	0.9978	0.9979	0.9968	0.9988
Mayıs	0.9970	0.9984	0.9963	0.9967	0.9959	0.9981
Haziran	0.9957	0.9987	0.9958	0.9961	0.9957	0.9985
Temmuz	0.9984	0.9992	0.9981	0.9982	0.9981	0.9987
Ağustos	0.9985	0.9993	0.9982	0.9984	0.9982	0.9991
Eylül	0.9975	0.9981	0.9976	0.9975	0.9966	0.9979
Ekim	0.9955	0.9976	0.9951	0.9951	0.9942	0.9970
Kasım	0.9931	0.9970	0.9937	0.9936	0.9913	0.9966
Aralık	0.9891	0.9955	0.9899	0.9904	0.9893	0.9950

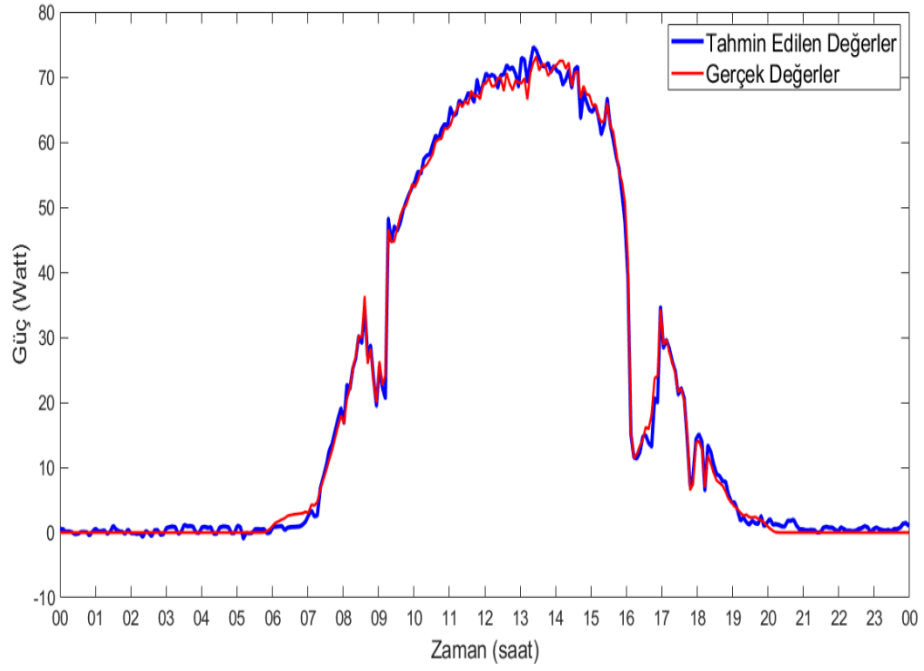
Şanlıurfa ili ölçüm istasyonundan elde edilen çevresel faktörler (sıcaklık, güneş ışınım şiddeti, nem, rüzgâr hızı, PV sıcaklık) ve panelin ürettiği akım ve gerilim değerleri kullanılarak YSA algoritmaları ile eğitim ve test işlemlerinin gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilen tahmin sonuçları ile gerçek değerler arasında çok yüksek oranda yakınlık (%96.50 – %99.93) olduğu görülmektedir (Çizelge 6.3).



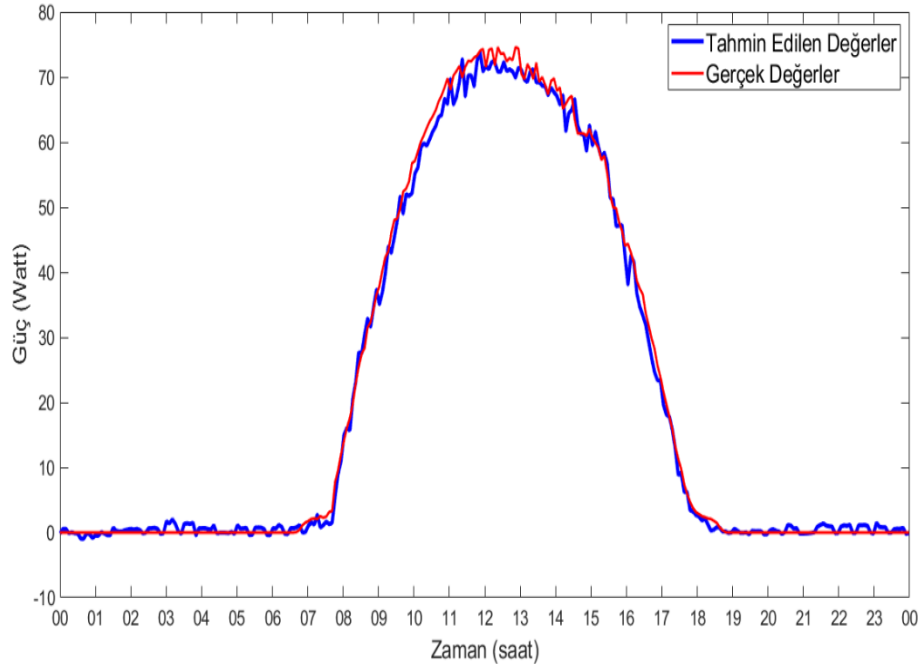
Şekil 6.9. Şanlıurfa ili Ocak ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.10. Şanlıurfa ili Nisan ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.11. Şanlıurfa ili Ağustos ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.12. Şanlıurfa ili Ekim ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması

6.2. Referans İle Göre Diğer İllerin Tahmin Sonuçları (Modül-2)

Meteoroloji Genel Müdürlüğü verileri dikkate alındığında Adıyaman ilinin sıcaklık ve güneşlenme süresi yönünden istatistiksel olarak Malatya ve Şanlıurfa illeri için referans olarak alınabileceği görülmektedir (Çizelge 6.4) [150]. Bu nedenle Adıyaman ili verileri eğitim için, Malatya ve Şanlıurfa illerinin verileri ise test için kullanılmıştır.

Çizelge 6.4. İllerin meteorolojik veri istatistikleri [150]

Meteorolojik Veriler	Malatya	Adıyaman	Şanlıurfa
Sıcaklık (Yıllık ortalama)	13.6	17.3	18.3
Güneşlenme Süresi (saat)	7.9	8.1	8.3
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	85.4	83.5	73.9

Adıyaman, Malatya ve Şanlıurfa illerinden Ağustos 2017 ile Temmuz 2018 arasında bir yıl süre ile elde edilen veriler MATLAB ortamında YSA algoritmaları kullanılarak analiz edilmiştir. Tahmin işlemi için; trainbfg, trainlm, traincgb, traincgf, trainrp, trainbr algoritmaları kullanılmıştır.

Yapay Sinir Ağları yönteminde kullanılan parametreler;

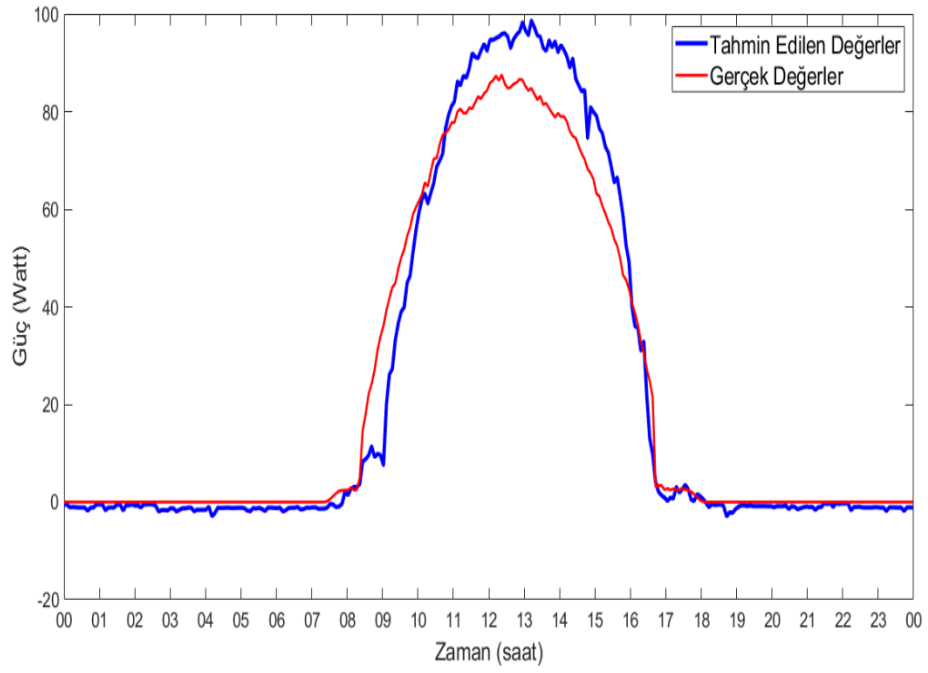
Input layers	: 5 (Sıcaklık, Güneş ışınım şiddeti, Nem, Rüzgâr, PV Modül Sıcaklığı)
Hidden layer neurons	: 27
Train data	: 8928
Test data	: 8928
Validation data	: 8928
Activation function	: Sigmoid Fonksiyonu

Adıyaman ili verileri eğitim, Malatya ve Şanlıurfa verileri test için kullanılarak her bir il için ayrı ayrı elde edilen tahmin sonuçlarını gösteren çizelge ve illere ait Ocak, Nisan, Ağustos, Ekim ayları örnek tahmin grafikleri aşağıda verilmiştir.

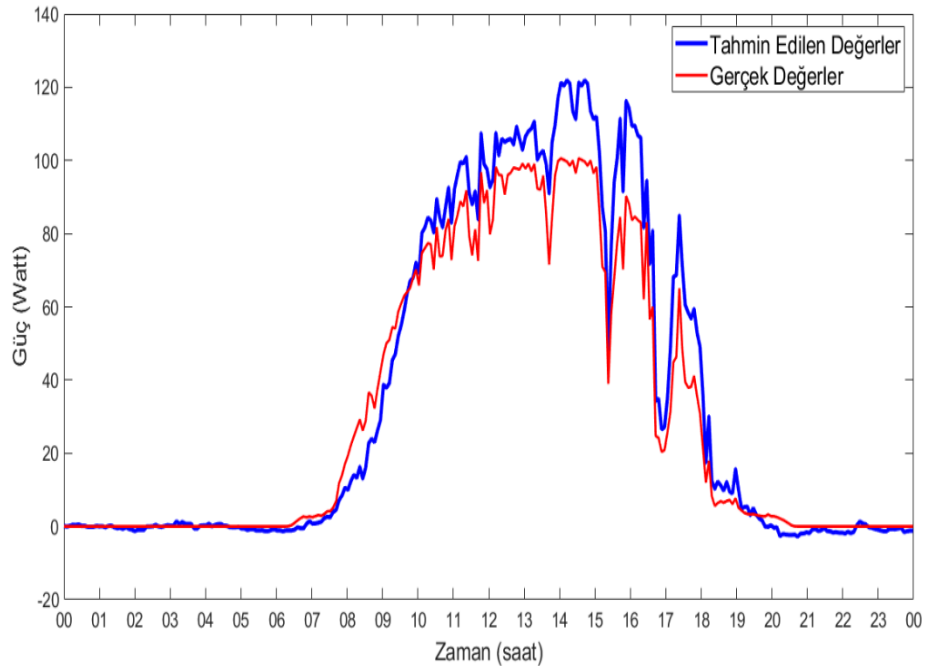
Çizelge 6.5. Adıyaman ili eğitim ve Malatya ili test YSA algoritma sonuçları

MALATYA	YSA Algoritmaları					
Aylar	trainbfg	trainbr	traincgb	traincgf	trainrp	trainlm
Ocak	0.9823	0.9572	0.9807	0.9758	0.9669	0.9799
Şubat	0.9484	0.8987	0.9476	0.9471	0.8733	0.9128
Mart	0.9764	0.9124	0.9472	0.9424	0.9263	0.9292
Nisan	0.9807	0.9704	0.9781	0.9764	0.9770	0.9750
Mayıs	0.9796	0.9392	0.9785	0.9805	0.9641	0.9681
Haziran	0.9769	0.9758	0.9724	0.9760	0.9721	0.9743
Temmuz	0.9493	0.9460	0.9510	0.9480	0.9509	0.9562
Ağustos	0.9649	0.9654	0.9797	0.9828	0.9637	0.9694
Eylül	0.9753	0.9756	0.9716	0.9729	0.9780	0.9763
Ekim	0.9810	0.8921	0.9687	0.9815	0.9598	0.8800
Kasım	0.9688	0.8892	0.9497	0.9303	0.8687	0.9637
Aralık	0.9246	0.8815	0.9154	0.9160	0.7949	0.8929

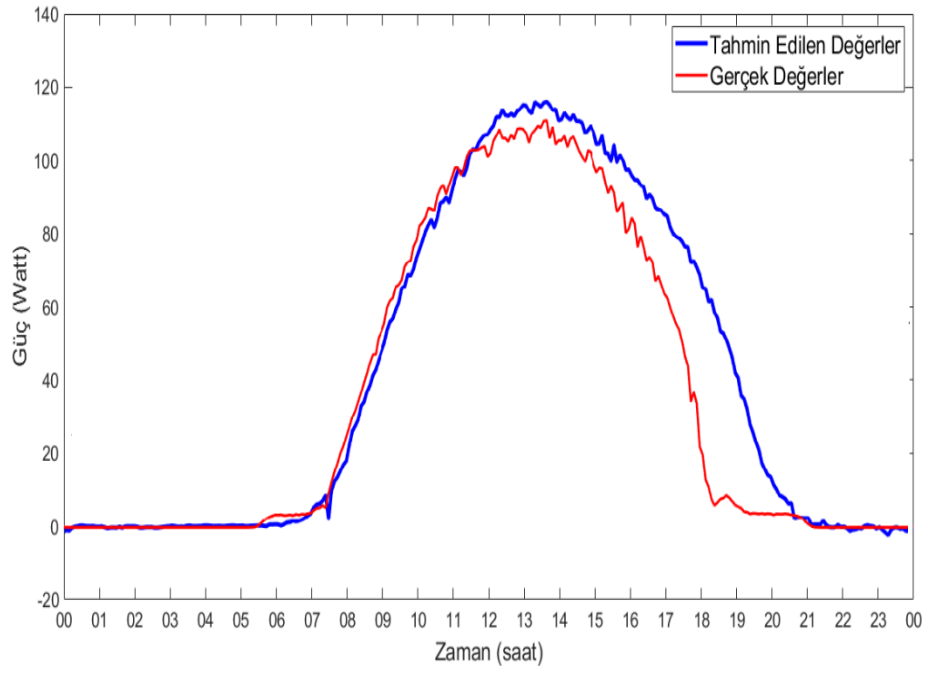
Adıyaman ili ölçüm istasyonundan elde edilen çevresel faktörler (sıcaklık, güneş ışınım şiddeti, nem, rüzgâr hızı, PV sıcaklık) ve panelin ürettiği akım ve gerilim verileri kullanılarak YSA algoritmaları ile eğitim ve Malatya ili verileri ile test işlemlerinin gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilen tahmin sonuçları ile gerçek değerler arasında çok yüksek oranda yakınlık (%98.28) olduğu görülmektedir (Çizelge 6.5).



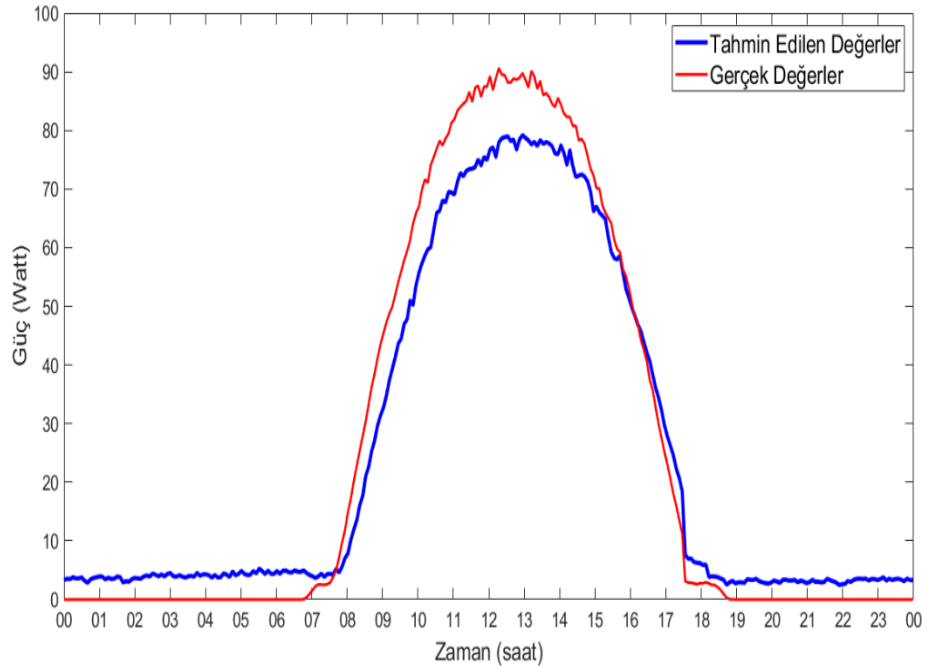
Şekil 6.13. Malatya ili Ocak ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.14. Malatya ili Nisan ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.15. Malatya ili Ağustos ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması

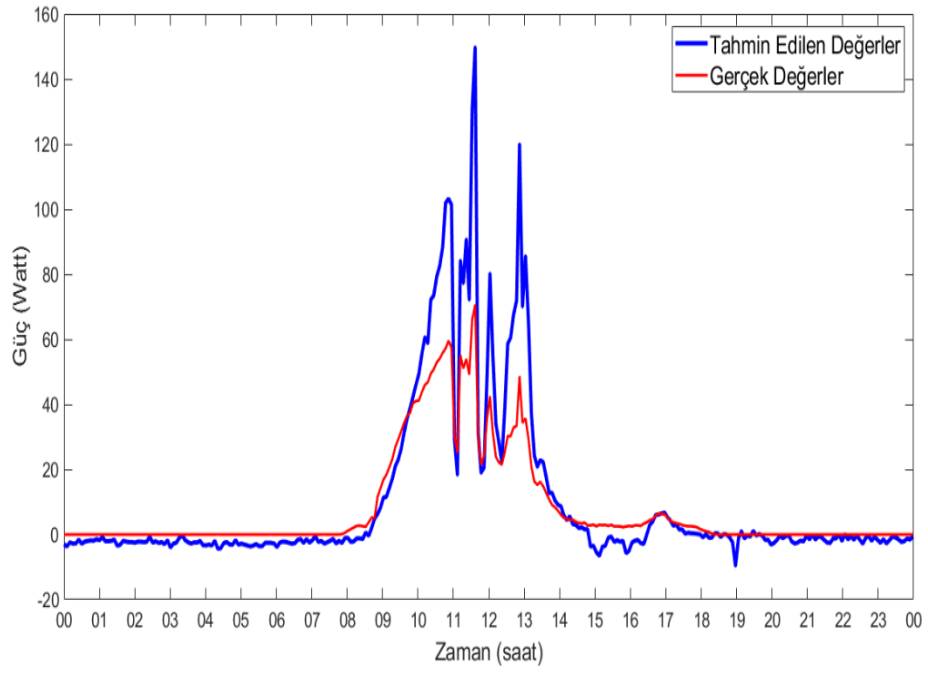


Şekil 6.16. Malatya ili Ekim ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması

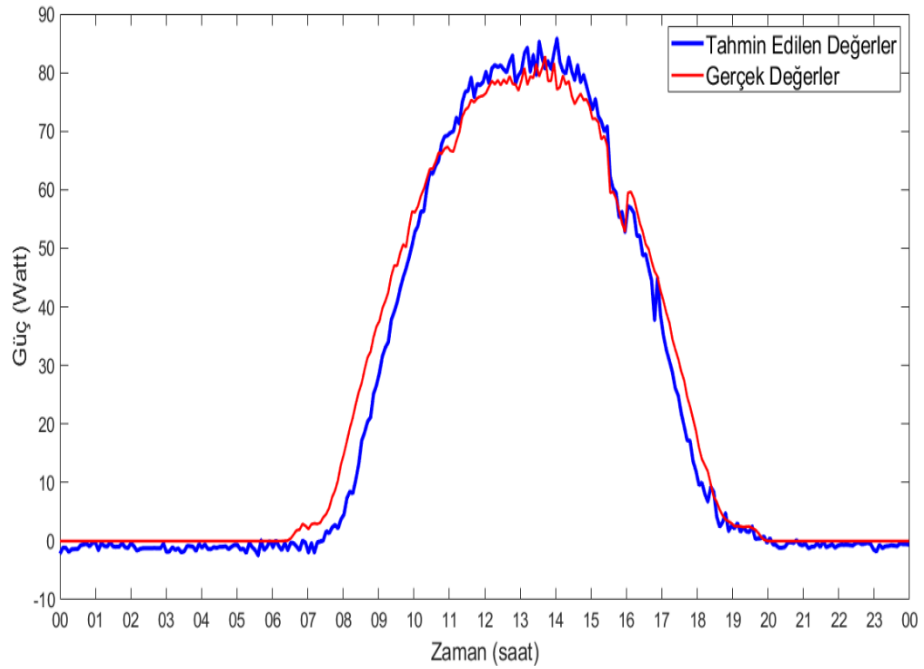
Çizelge 6.6. Adıyaman ili eğitim ve Şanlıurfa ili test YSA algoritma sonuçları

ŞANLIURFA	YSA Algoritmaları					
Aylar	trainbfg	trainbr	traincgb	traincgf	trainrp	trainlm
Ocak	0.9210	0.9326	0.9280	0.9297	0.9099	0.9076
Şubat	0.9375	0.8703	0.9253	0.9351	0.8629	0.8908
Mart	0.9764	0.9456	0.9786	0.9773	0.9709	0.9699
Nisan	0.9919	0.9871	0.9895	0.9910	0.9857	0.9889
Mayıs	0.9920	0.9761	0.9919	0.9915	0.9903	0.9891
Haziran	0.9755	0.9684	0.9711	0.9652	0.9690	0.9563
Temmuz	0.9956	0.9935	0.9952	0.9956	0.9935	0.9938
Ağustos	0.9822	0.9801	0.8998	0.9902	0.9834	0.9804
Eylül	0.9946	0.9893	0.9947	0.9942	0.9913	0.9919
Ekim	0.9833	0.9621	0.9812	0.9860	0.9734	0.9613
Kasım	0.9792	0.8955	0.9722	0.9737	0.9369	0.8977
Aralık	0.9437	0.8998	0.9114	0.9400	0.9539	0.9315

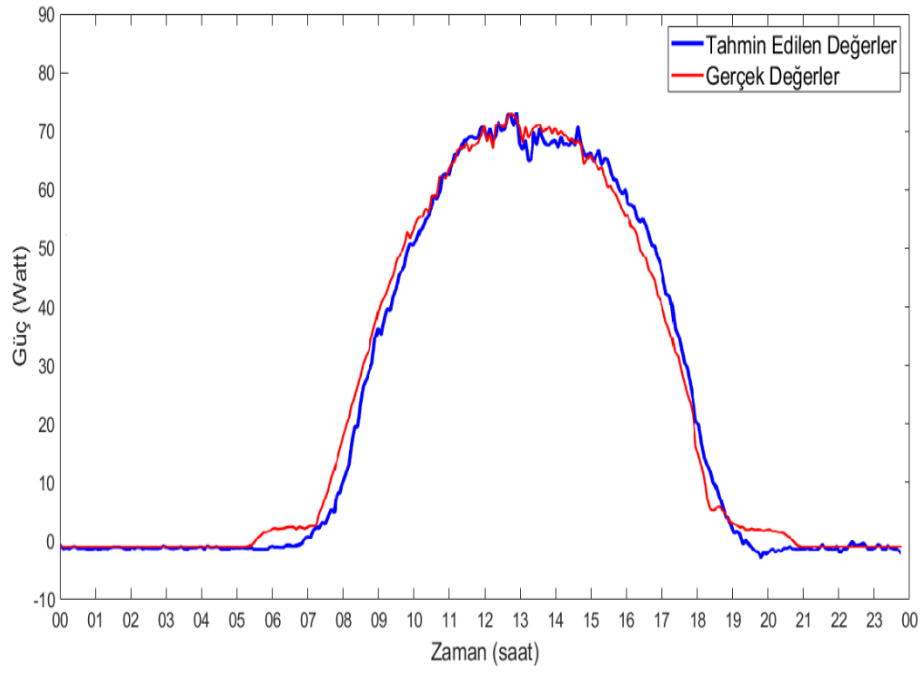
Adıyaman ili ölçüm istasyonundan elde edilen çevresel faktörler (sıcaklık, güneş ışınım şiddeti, nem, rüzgâr hızı, PV sıcaklık) ve panelin ürettiği akım ve gerilim değerleri kullanılarak YSA algoritmaları ile eğitim ve Şanlıurfa ili verileri ile test işlemlerinin gerçekleştirilmesi sonucunda elde edilen tahmin sonuçları ile gerçek değerler arasında çok yüksek oranda yakınlık (%99.56) olduğu görülmektedir (Çizelge 6.6).



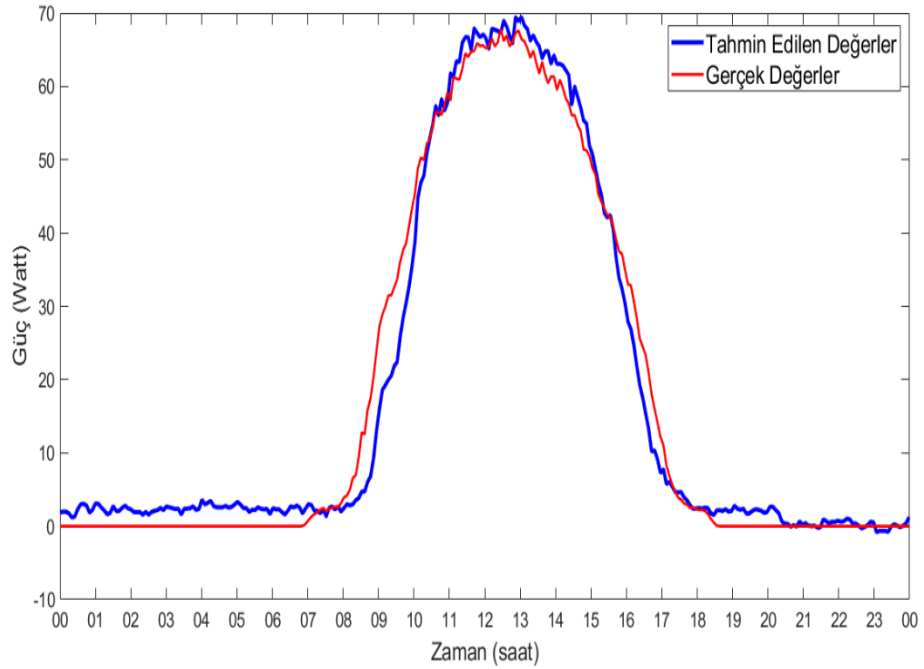
Şekil 6.17. Şanlıurfa ili Ocak ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.18. Şanlıurfa ili Nisan ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.19. Şanlıurfa ili Ağustos ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.20. Şanlıurfa ili Ekim ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması

Fotovoltaik güç sistemlerinin kurulacakları bölgelerde çevresel faktörlerden kaynaklı elde edilebilecek verimin önceden tahmin edilmesi hatalı kurulum ve gereksiz yatırımların önlenmesinde kritik rol oynamaktadır. Fotovoltaik güç sisteminde farklı çalışma parametrelerini hesaba katarak I-V ve P-V eğrilerinin doğruluğunu araştırmak, güneşlenme süresi ve sıcaklık verileri kullanılarak radial tabanlı fonksiyon sinir ağları ile PV panelin çıkış karakteristiğini, günlük güneş radyasyon veri tahmini ve modellemesi [151], yapay sinir ağları kullanılarak geliştirilen model ile ortalama günlük güneş ışınımı ve hava sıcaklığı verilerini kullanarak güneş ışınımının tahmini [152], on grid bağlantılı 1 MW'lık bir fotovoltaik güç sisteminde güneş ışınımı ve hücre sıcaklığı parametrelerini kullanarak çıkış gücünün tahmini [153], 1 MW lık güneş enerji tesisinde güneş ışınımı parametresini kullanarak güç çıkışının tahmini için yapay sinir ağları modelinin uygulanabilirliğinin araştırılması [154] günlük güneşlenme süresi, hava sıcaklığı, küresel güneş radyasyonu parametrelerini kullanarak geliştirilen yapay sinir ağları modeli ile fotovoltaik sistemi boyutlandırıp gücünü tahmin etme [155], 20 kW'lık şebekeye bağlı fotovoltaik tesisin performans tahmini için güneş ışınımı ve sıcaklık parametreleri giriş olarak kullanılarak yapay sinir ağları modeli geliştirilmiş [156], güç tahmininde yaz ve kış mevsimleri için sıcaklık ve güneş ışınım verilerini komşu fotovoltaik sistem verilerini kullanarak yapay sinir ağları modelini kullanma [157], Türkiye'deki tüm bölgeler için fotovoltaik modül verimliliğini ve modül sıcaklığını, ortam sıcaklığı ve güneş ışınımı kullanarak yapay sinir ağları algoritmalarını kullanarak tahmini [158] 4.2 V-100 mA'lık bir fotovoltaik hücre için rüzgâr hızı, sıcaklık, nem ve hücrenin yatayla yaptığı açıya bağlı olarak hücrenin verimini yapay sinir ağları ile tahmini [159] dikkat çekici çalışmalardır.

Bu çalışmalarda genellikle giriş kriteri olarak sıcaklık ve güneş ışığı kullanılmıştır. Ancak nem, rüzgâr hızı ve panel sıcaklık parametrelerinin etkisi göz ardı edilemeyecek oranda önem arz etmektedir. Güneş ışınımı, sıcaklık, rüzgâr hızı, nem ve panel sıcaklığının fotovoltaik panellere olan etkisinin beraber incelenmesi panellerden elde edilecek verimin tahmin edilmesinde daha etkili sonuçlar doğuracaktır. Bu çalışmada güneş ışınımı, sıcaklık, rüzgâr hızı, nem, PV panel sıcaklığı parametreleri kullanılarak illerdeki fotovoltaik panel verimliliğinin tahmini ve bir il verileri ile diğer illerin verim tahminlerinin yapılması amaçlanmaktadır. Bu sayede, en büyük enerji rezervi olan güneşten, doğrudan elektrik enerjisi elde edilmesini sağlayan ve hâlâ ilk kurulum aşamasında büyük tesis maliyetlerine yol açan

PV sistemlerin planlanması ve projelendirilmesi aşamasında, sistemin kurulacağı bölgeye ait güç veriminin önceden tespit edilmesi sağlanarak ülke bütçesine katma değer sağlanacaktır.

6.3. Performans Karşılaştırması

Bu tez çalışmasında, Adıyaman, Malatya, Şanlıurfa illerinde kurulan ölçüm istasyonları ile Ağustos 2017 ile Temmuz 2018 tarihleri arasında bir yıl süreyle elde edilen veriler kullanılmıştır. Çalışmanın ilk bölümünde iller tek tek kendi içinde eğitilen YSA algoritması ile güç tahmin edilmiş (Modül 1), ikinci aşamasında ise Adıyaman ili verileri eğitilen YSA algoritmasında eğitim için kullanılmış Malatya ve Şanlıurfa için ayrı ayrı güç tahmini gerçekleştirilmiştir (Modül 2). Elde edilen sonuçlar aşağıdaki tabloda literatürde yer alan diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır (Çizelge 6.7).

Çizelge 6.7. Tahmin için kullanılan tekniklerin performans karşılaştırması

Kaynak	Metot	Kullanılan Parametreler	Sonuçlar
[11]	ANN	SR, T, W, H	%99
[16]	ANN, Wavelet	SR, T, H	%97
[39]	ANN	SR, T	%95
[151]	ANN	SR, T	%98.9
[152]	ANN	SR, T	%98-99
[154]	ANN	SR, T	%98-99
[155]	ANN	SR, T	%98,9
[154]	ANN	SR, T	%98-99
[159]	ANN, R ²	T, W, H	%99
[160]	SVR	SR, T, R, PVT	%98.88
Geliştirilen Metot	Modül 1 Modül 2	ANN SR, T, W, H, PVT	%99.84-99.93 %98.28-99.56

(Sıcaklık: T, Güneş Işınım Şiddeti: SR, Rüzgâr Hızı: W
Nem: H, PV Panel sıcaklığı: PVT)

6.4. Çevresel Parametrelerin Etkinlik Durumu

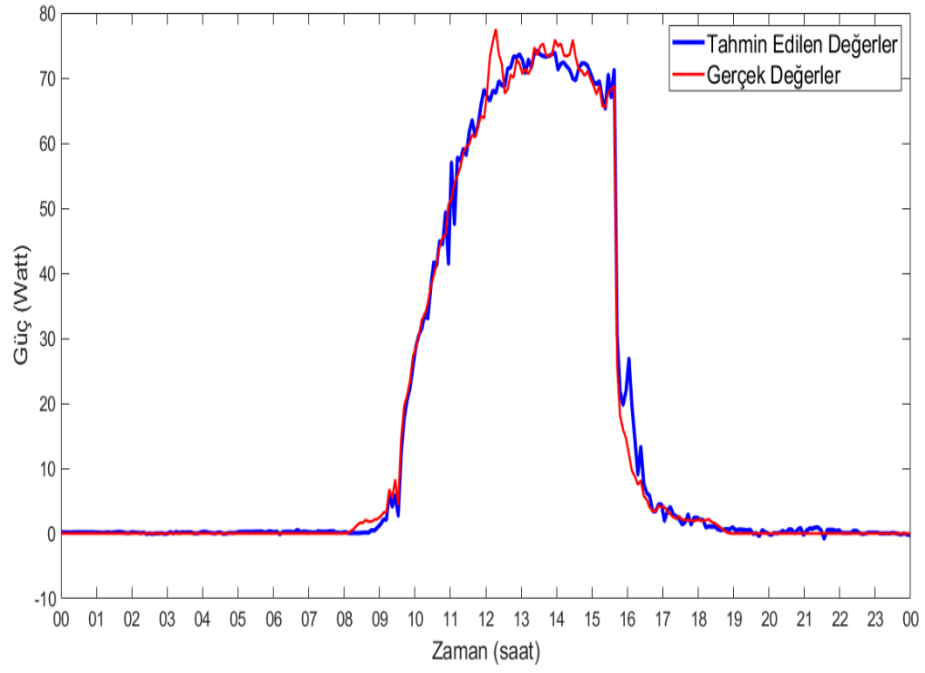
Yapılan çalışmalarda genellikle sıcaklık ve güneş ışınım şiddetinin verime olan etkileri araştırılmıştır. PV panellerin enerji verimliliğini etkileyen çevresel parametrelerden nem, rüzgâr hızı ve panel sıcaklığının verimi ne oranda etkilediği konusunda yapılan çalışmalar sıcaklık ve güneş ışınım şiddetinin etkileri konularında yapılan çalışmalara kıyasla sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle nem, rüzgâr hızı ve panel sıcaklığının verime etkilerini belirlemek için tasarlanan Adıyaman bölgesel ölçüm istasyonundan elde edilen verileri kullanarak eğittiğimiz yapay sinir ağı algoritmamızda sırasıyla nem, rüzgâr hızı ve panel sıcaklık parametrelerini algılamada giriş verisi olarak kullanmadan tahmin işlemini gerçekleştirerek bu üç parametrenin de güneş ışınım şiddeti ve sıcaklık yanında dikkate alınması gereken parametreler olduğu gösterilmiştir.

6.4.1. Nem Parametresinin Etkisi

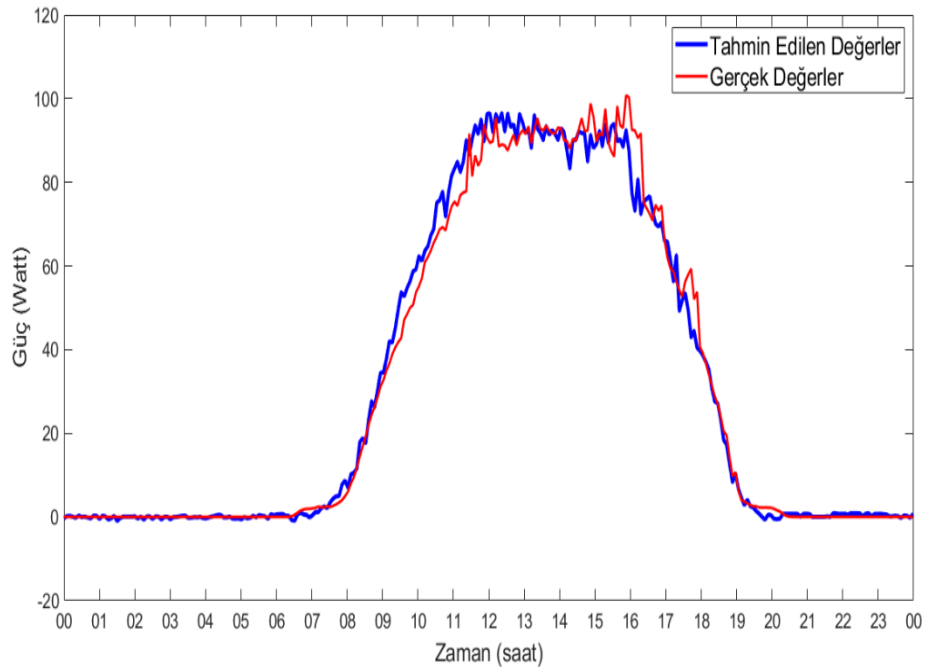
Eğitilen YSA algoritmasında çevresel parametrelerden nem sisteme dahil edilmeden tahmin sadece güneş ışınım şiddeti, sıcaklık, rüzgar hızı ve panel sıcaklık verileri ile gerçekleştirilmiştir. Tahmin işlemi için; trainbfg, trainlm, traincgb, traincgf, trainrp, trainbr algoritmaları kullanılmıştır. Adıyaman ili için ilkbahar-yaz-sonbahar-kış mevsimlerinin etkilerinin en efektif görüldüğü aylar olan Nisan-Ağustos-Ekim-Ocak ayları için gerçekleştirilen tahmin sonuçlarını gösterir çizelge ve örnek tahmin grafikleri aşağıda verilmiştir (Çizelge 6.8, Şekil 6.21-6.24).

Çizelge 6.8. Adıyaman ili YSA algoritma sonuçları (Nem parametresi olmadan)

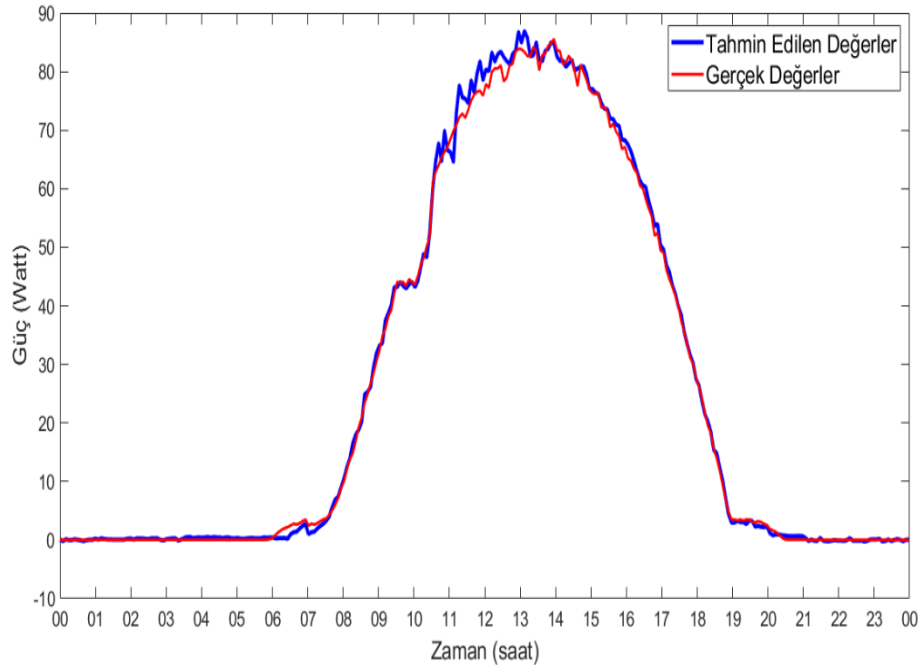
ADİYAMAN	YSA Algoritmaları					
Aylar	trainbfg	trainbr	traincgb	traincgf	trainrp	trainlm
Ocak	0.9923	0.9958	0.9915	0.9885	0.9904	0.9947
Nisan	0.9839	0.9867	0.9812	0.9836	0.9839	0.9857
Ağustos	0.9839	0.9977	0.9956	0.9963	0.9961	0.9975
Ekim	0.9965	0.9978	0.9959	0.9961	0.9948	0.9972



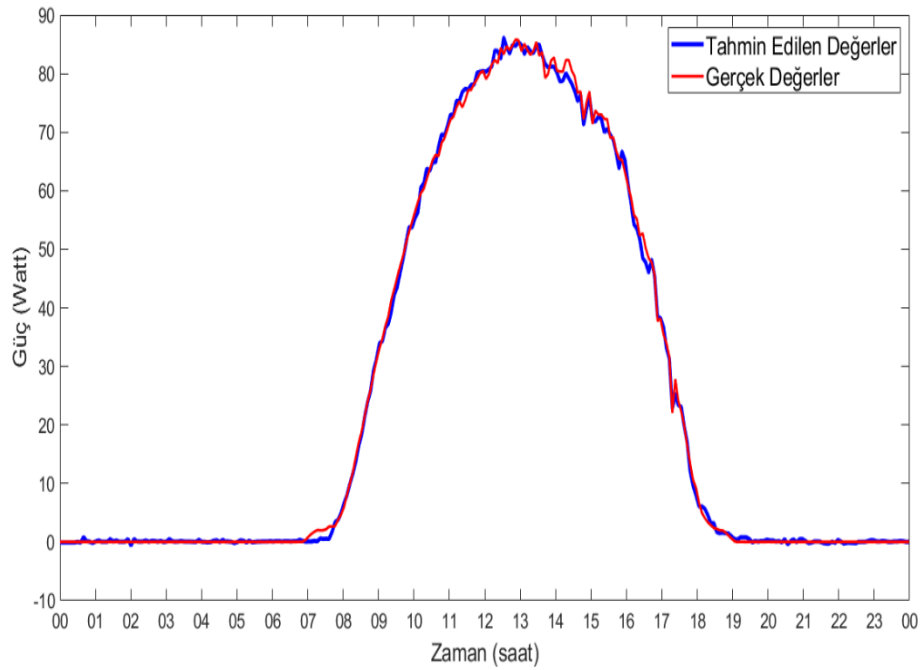
Şekil 6.21. Adıyaman ili Ocak ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.22. Adıyaman ili Nisan ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.23. Adiyaman ili Ağustos ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.24. Adiyaman ili Ekim ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması

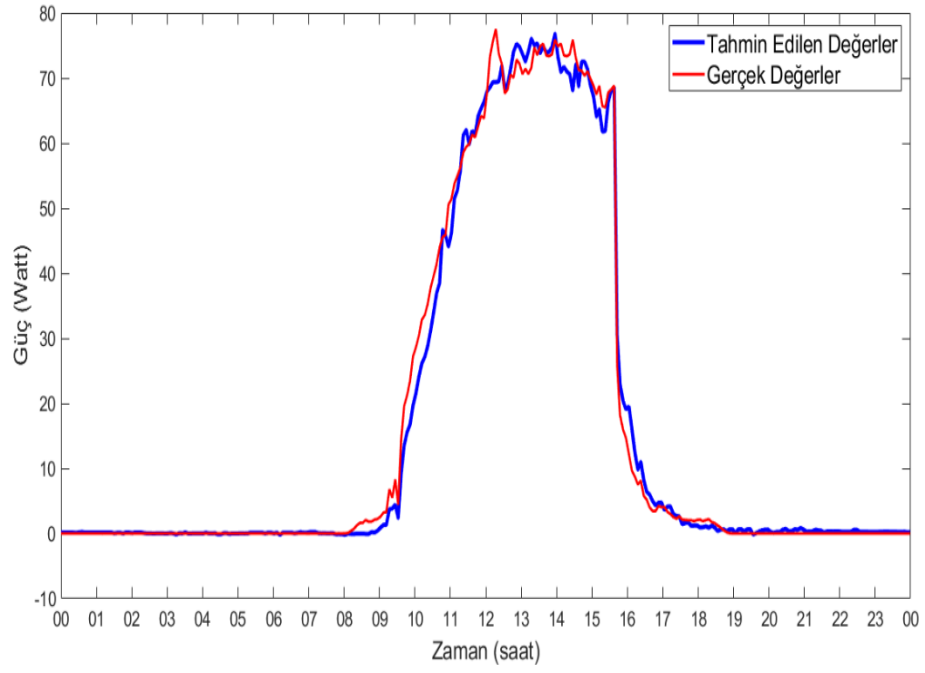
Eğitilen YSA algoritmasında çevresel parametrelerden nem sisteme dahil edilmeden sadece güneş işınım Şiddeti, sıcaklık, rüzgar hızı ve panel sıcaklık verileri ile gerçekleştirilen tahmin sonucunda elde edilen veriler (izelge 6.8) ile çevresel etkenlerin tümü sisteme dahil edildiğinde elde edilen veriler (izelge 6.1) kıyaslandığında nem parametresinden kaynaklı az da olsa bir farklılık olduğu görülmektedir. YSA algoritmaları ile gerçekleştirilen tahmin sonuçları kıyaslandığında; Ocak ayında %1.5 oranında, Nisan ayında %2.6 oranında, Ekim ayında %1 oranında düşüş meydana gelirken Ağustos ayında ise değişiklik tespit edilmemiştir. Bu farklılık yağış miktarının yüksek olduğu ilkbahar, sonbahar ve kiş aylarında daha belirgin olarak gözlemlenmektedir.

6.4.2. Rüzgâr Hızı Parametresinin Etkisi

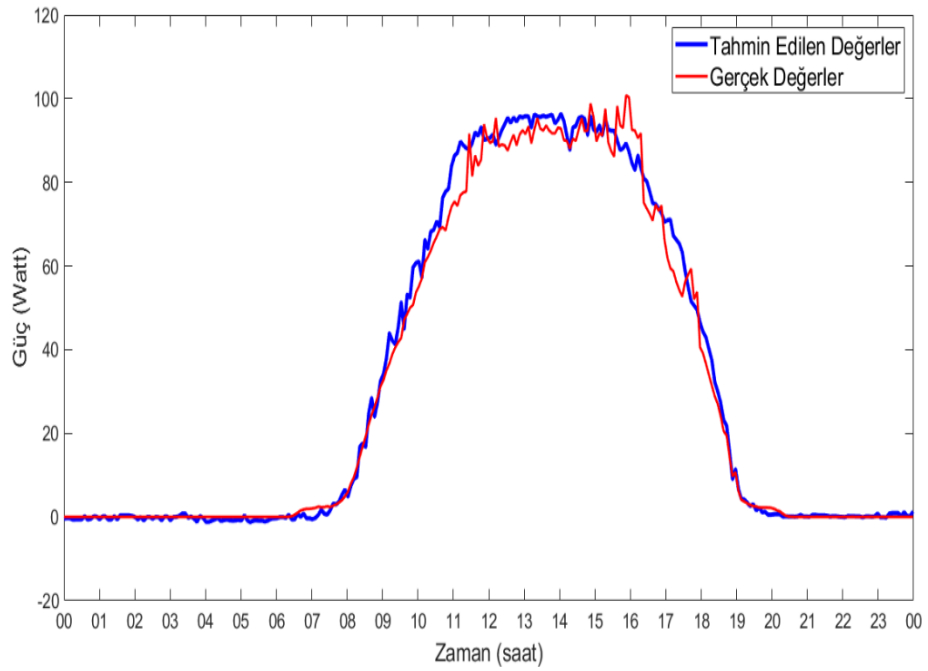
Eğitilen YSA algoritmasında çevresel parametrelerden rüzgar hızı sisteme dahil edilmeden tahmin sadece güneş işınım Şiddeti, sıcaklık, nem ve panel sıcaklık verileri ile gerçekleştirilmiştir. Tahmin işlemi için; trainbfg, trainlm, traincgb, traincgf, trainrp, trainbr algoritmaları kullanılmıştır. Adıyaman ili için ilkbahar-yaz-sonbahar-kiş mevsimlerinin etkilerinin en efektif görüldüğü aylar olan Nisan-Ağustos-Ekim-Ocak ayları için gerçekleştirilen tahmin sonuçlarını gösterir tablolar ve örnek tahmin grafikleri aşağıda verilmiştir (izelge 6.9, Şekil 6.25-6.28).

Çizelge 6.9. Adıyaman ili YSA algoritma sonuçları (Rüzgâr hızı parametresi olmadan)

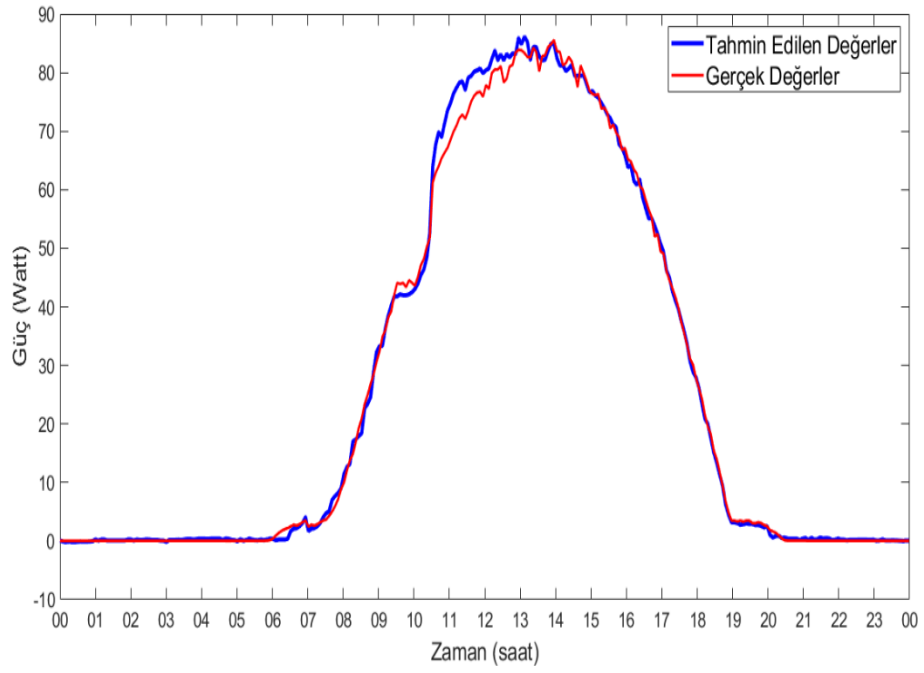
ADİYAMAN	YSA Algoritmaları					
Aylar	trainbfg	trainbr	traincgb	traincgf	trainrp	trainlm
Ocak	0.9947	0.9968	0.9943	0.9928	0.9921	0.9954
Nisan	0.9850	0.9885	0.9845	0.9846	0.9844	0.9868
Ağustos	0.9955	0.9967	0.9954	0.9945	0.9947	0.9931
Ekim	0.9956	0.9977	0.9951	0.9961	0.9956	0.9974



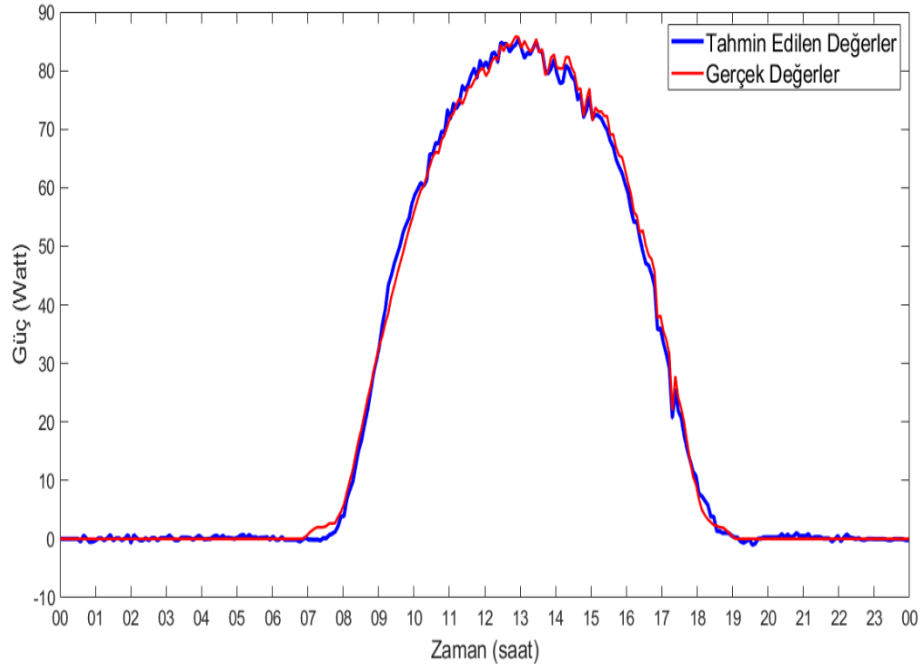
Şekil 6.25. Adıyaman ili Ocak ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.26. Adıyaman ili Nisan ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.27. Adiyaman ili Ağustos ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.28. Adiyaman ili Ekim ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması

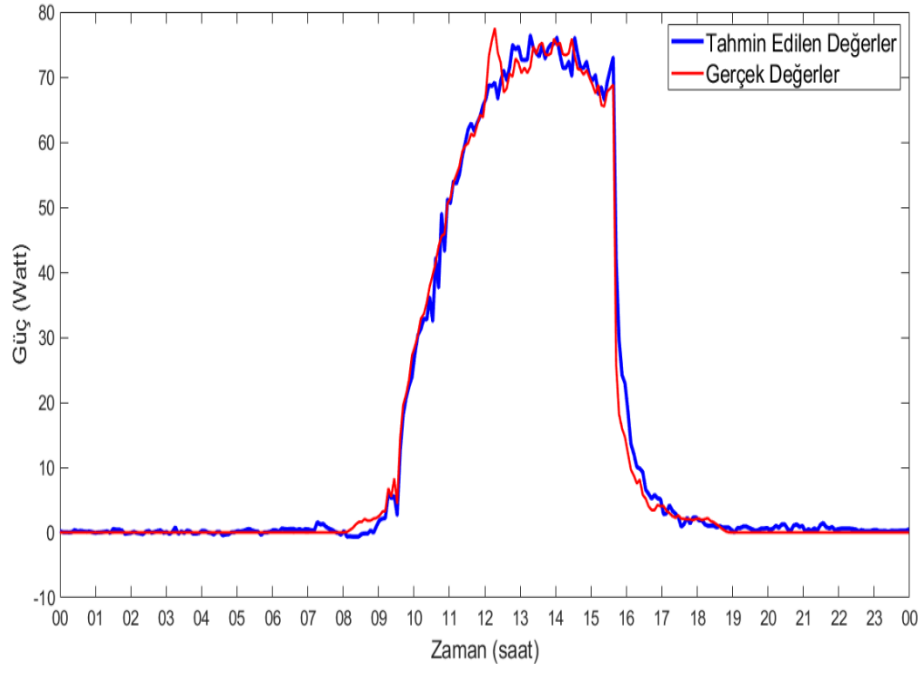
Eğitilen YSA algoritmasında çevresel parametrelerden rüzgar hızı sisteme dahil edilmeden sadece güneş ışınım şiddeti, sıcaklık, nem ve panel sıcaklık verileri ile gerçekleştirilen tahmin sonucunda elde edilen veriler (izelge 6.9) ile çevresel etkenlerin tümü sisteme dahil edildiğinde elde edilen veriler (izelge 6.1) kıyaslandığında rüzgar hızı parametresinden kaynaklı az da olsa bir farklılık olduğu görülmektedir. YSA algoritmaları ile gerçekleştirilen tahmin sonuçları kıyaslandığında; Ocak ayında %0.5 oranında, Nisan ayında %0.8 oranında, Ekim ayında %0.7 oranında ve Ağustos ayında ise %0.7 oranında düşüş meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu farklılık rüzgar parametresinin yılın tüm aylarında etkili olduğunu göstermektedir.

6.4.3. PV Panel Sıcaklık Parametresinin Etkisi

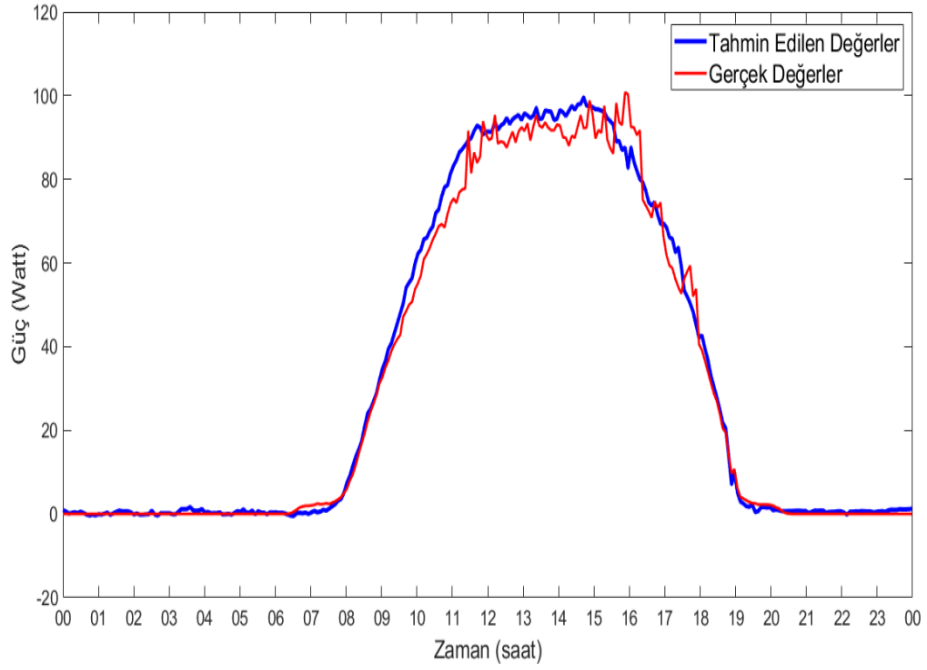
Eğitilen YSA algoritmasında çevresel parametrelerden PV panel sıcaklığı sisteme dahil edilmeden tahmin sadece güneş ışınım şiddeti, sıcaklık, nem ve rüzgar hızı verileri ile gerçekleştirilmiştir. Tahmin işlemi için; trainbfg, trainlm, traincgb, traincgf, trainrp, trainbr algoritmaları kullanılmıştır. Adıyaman ili için ilkbahar-yaz-sonbahar-kış mevsimlerinin etkilerinin en efektif görüldüğü aylar olan Nisan-Ağustos-Ekim-Ocak ayları için gerçekleştirilen tahmin sonuçlarını gösterir tablolar ve örnek tahmin grafikleri aşağıda verilmiştir (izelge 6.10, şekil 6.29-6.32).

Çizelge 6.10. Adıyaman ili YSA algoritma sonuçları (PV Sıcaklık parametresi olmadan)

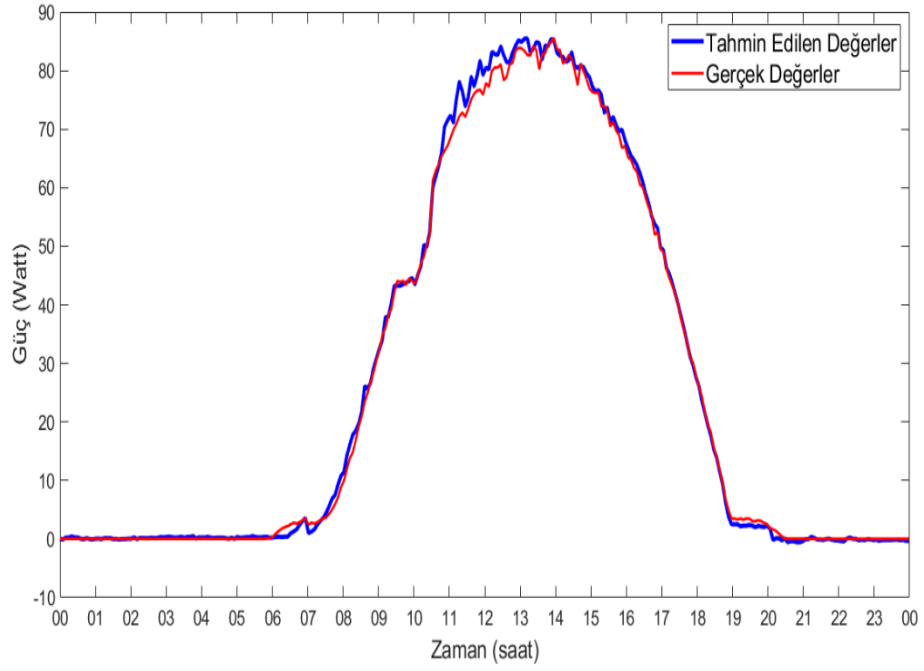
ADİYAMAN	YSA Algoritmaları					
Aylar	trainbfg	trainbr	traincgb	traincgf	trainrp	trainlm
Ocak	0.9926	0.9965	0.9933	0.9941	0.9918	0.9954
Nisan	0.9841	0.9877	0.9814	0.9836	0.9823	0.9859
Ağustos	0.9938	0.9974	0.9694	0.9844	0.9938	0.9969
Ekim	0.9962	0.9981	0.9957	0.9963	0.9954	0.9977



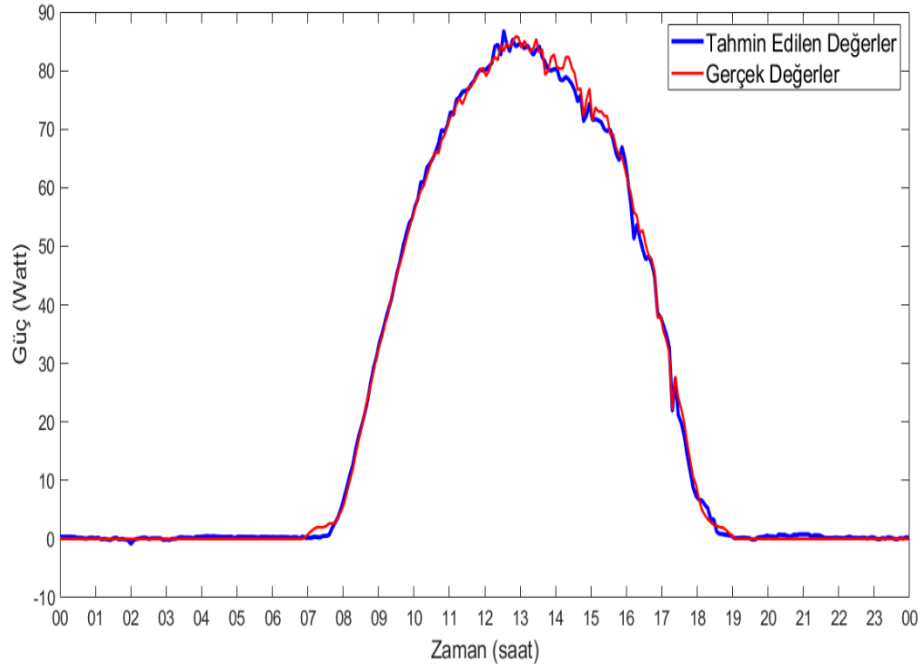
Şekil 6.29. Adıyaman ili Ocak ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.30. Adıyaman ili Nisan ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.31. Adiyaman ili Ağustos ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.32. Adiyaman ili Ekim ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması

Eğitilen YSA algoritmasında çevresel parametrelerden PV panel sıcaklığı sisteme dahil edilmeden sadece güneş ışınım şiddeti, sıcaklık, rüzgar hızı ve nem verileri ile gerçekleştirilen tahmin sonucunda elde edilen veriler (izelge 6.10) ile çevresel etkenlerin tümü sisteme dahil edildiğinde elde edilen veriler (izelge 6.1) kıyaslandığında nem parametresinden kaynaklı az da olsa bir farklılık olduğu görülmektedir. YSA algoritmaları ile gerçekleştirilen tahmin sonuçları kıyaslandığında; Ocak ayında %0.8 oranında, Nisan ayında %1.6 oranında, Ekim ayında %0.7 oranında ve Ağustos ayında ise %0.3 oranında düşüş meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu farklılık ortam sıcaklığı parametresi sistem dahil edilmesine rağmen sıcaklıktan kaynaklanan PV panel sıcaklık parametresinin de üretilecek g miktarının tahmininde etkili olduğunu göstermektedir.

6.5. Veri Alma Sürelerinin Tahmin İşlemine Etkisi

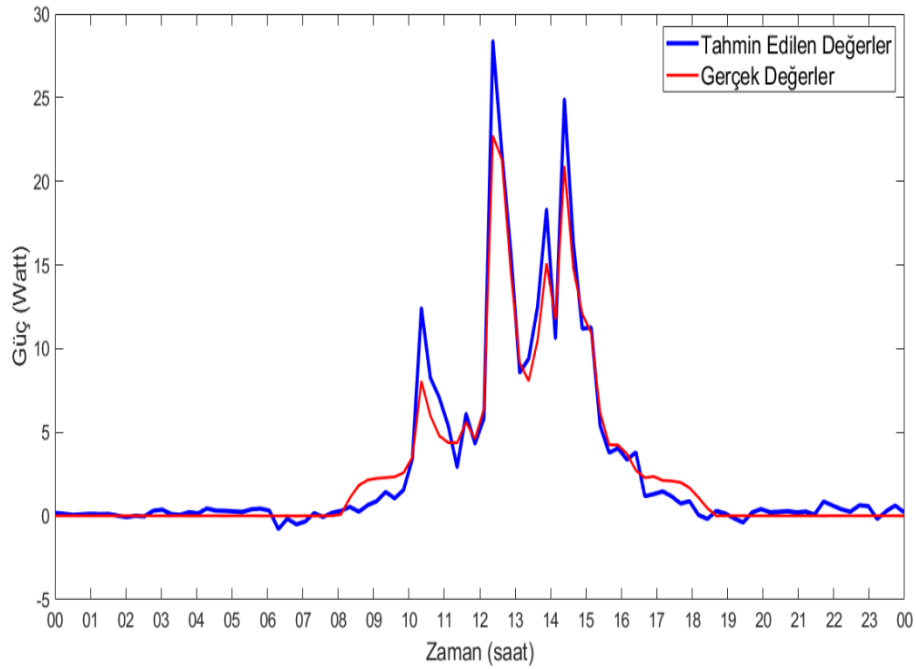
Eğitilen YSA algoritmasında kullanılan giriş verileri (sıcaklık, güneş ışınım şiddeti, rüzgar hızı, nem, PV panel sıcaklığı ve panelin ürettiği akım ile gerilim) Adıyaman, Malatya ve şanlıurfa illerine kurulan bölgesel ölüm istasyonlarında 5 dk aralıklarla llp ana terminale gönderilen verilerdir. Ancak bazı durumlarda bu sıklıkla veri elde edilmesinde bazı zorluklar yaşanabilmektedir. Bu nedenle 15 dk, 30 dk ve 60 dk lık sıklıklarla elde edilen veriler kullanıldığında gerçekleştirilen tahmin yüzdesi araştırıldığında; eğitilen YSA algoritmaları ile eğitim ve test işlemleri sonucunda elde edilen tahmin sonuçları ile gerçek değerler arasına çok yüksek oranda benzerlik olduğu görülmektedir. Adıyaman ili için ilkbahar-yaz-sonbahar-kış mevsimlerinin etkilerinin en efektif görüldüğü aylar olan Nisan-Ağustos-Ekim-Ocak ayları için gerçekleştirilen tahmin sonuçlarını gösterir izelge ve örnek tahmin grafikleri aşağıda verilmiştir.

6.5.1. 15 Dk Sıklıkla Elde Edilen Verilerle Tahmin

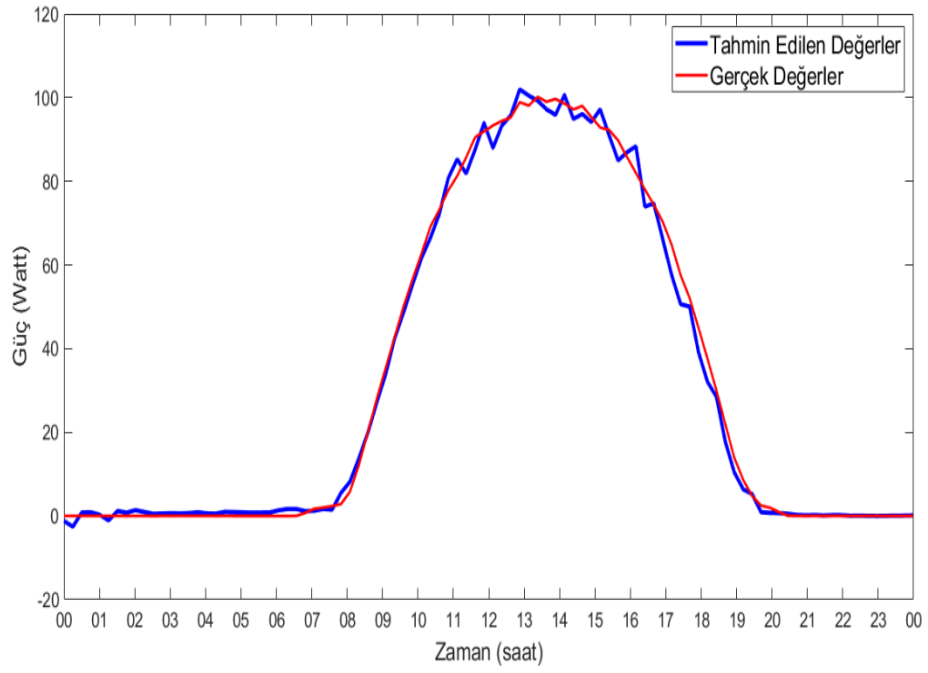
Adıyaman ili için ilkbahar-yaz-sonbahar-kış mevsimlerinin etkilerinin en efektif görüldüğü aylar olan Nisan-Ağustos-Ekim-Ocak aylarında ölçülen çevresel parametre verilerinin 15 dakikalık ortalama değerleri ile gerçekleştirilen güç tahmin sonuçlarını gösterir çizelge ve örnek tahmin grafikleri aşağıda verilmiştir (Çizelge 6.11, Şekil 6.33-6.36).

Çizelge 6.11. Adıyaman ili YSA algoritma sonuçları (15 dk)

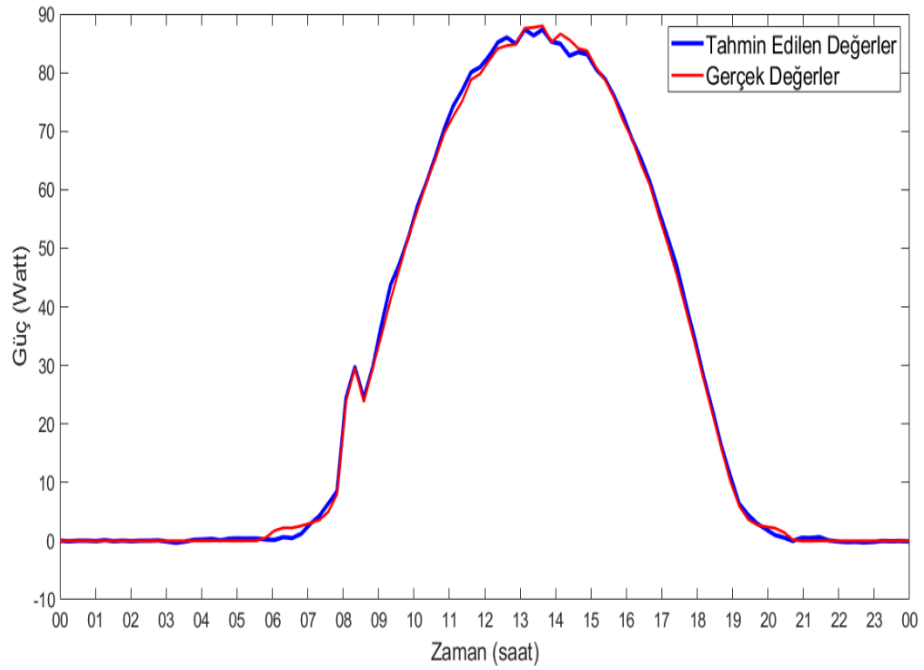
ADIYAMAN	YSA Algoritmaları					
Aylar	trainbfg	trainbr	traincgb	traincgf	trainrp	trainlm
Ocak	0.9742	0.9849	0.9839	0.9831	0.9744	0.9884
Nisan	0.9978	0.9983	0.9959	0.9969	0.9975	0.9979
Ağustos	0.9984	0.9997	0.9989	0.9979	0.9972	0.9995
Ekim	0.9978	0.9995	0.9990	0.9979	0.9975	0.9995



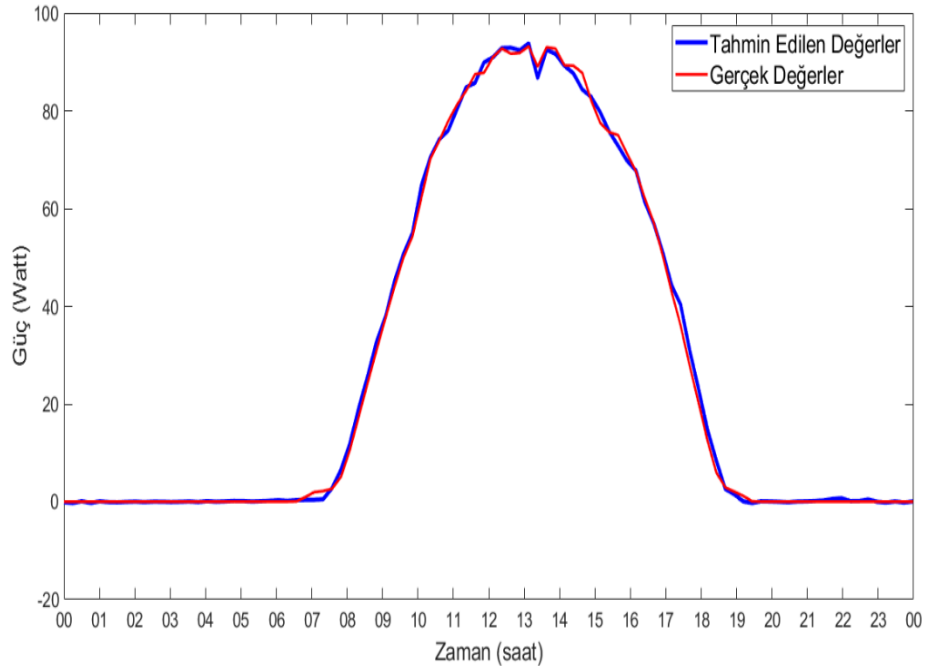
Şekil 6.33. Adıyaman ili Ocak ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.34. Adıyaman ili Nisan ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.35. Adıyaman ili Ağustos ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



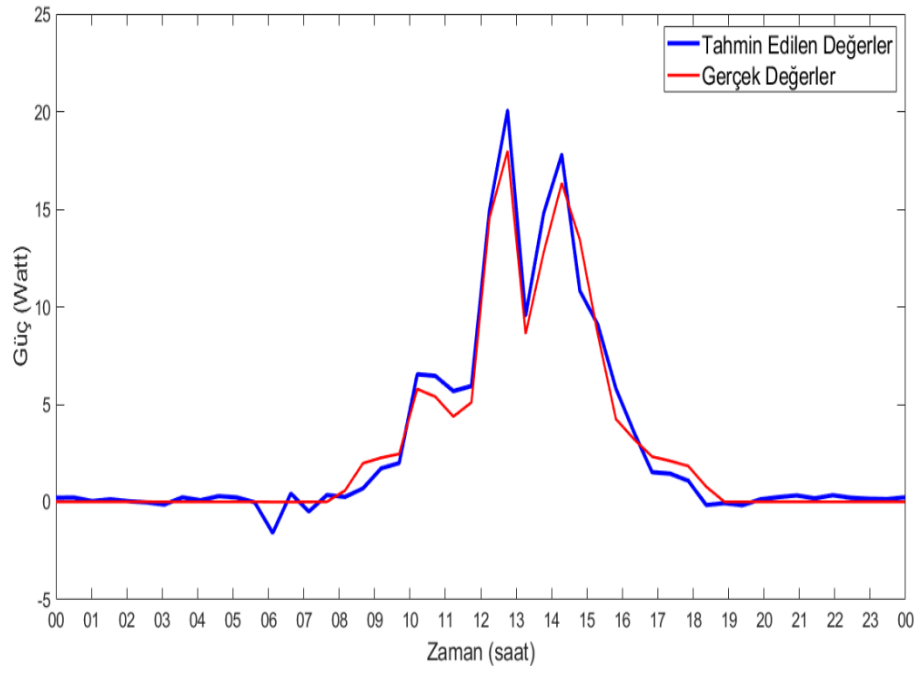
Şekil 6.36. Adıyaman ili Ekim ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması

6.5.2. 30 dk Sıklıkla Elde Edilen Verilerle Tahmin

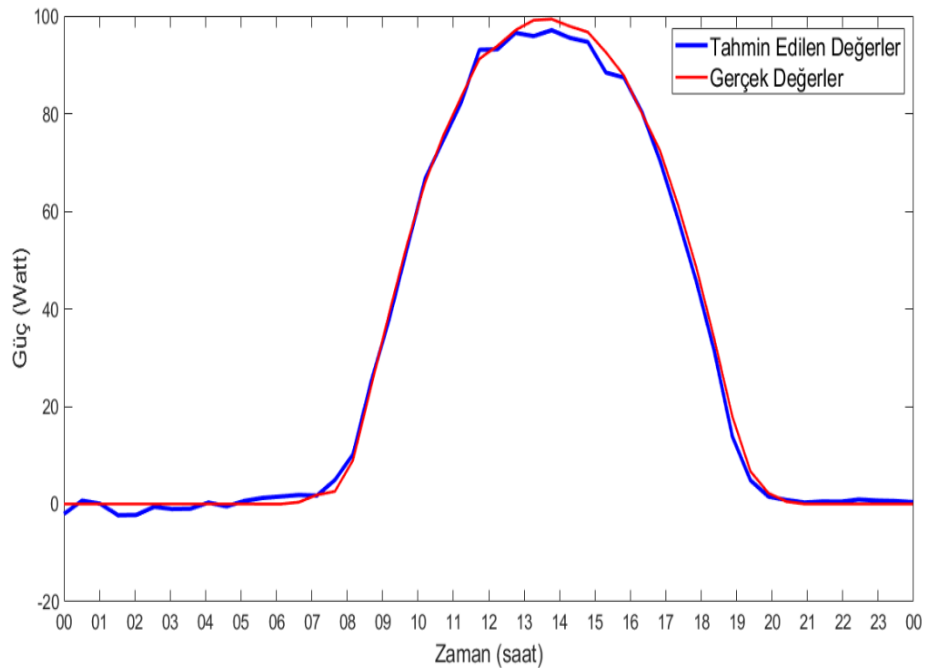
Adıyaman ili için ilkbahar-yaz-sonbahar-kış mevsimlerinin etkilerinin en efektif görüldüğü aylar olan Nisan-Ağustos-Ekim-Ocak aylarında ölçülen çevresel parametre verilerinin 30 dakikalık ortalama değerleri ile gerçekleştirilen güç tahmin sonuçlarını gösterir çizelge ve örnek tahmin grafikleri aşağıda verilmiştir (Çizelge 6.12, Şekil 6.37-6.40).

Çizelge 6.12. Adıyaman ili YSA algoritma sonuçları (30 dk)

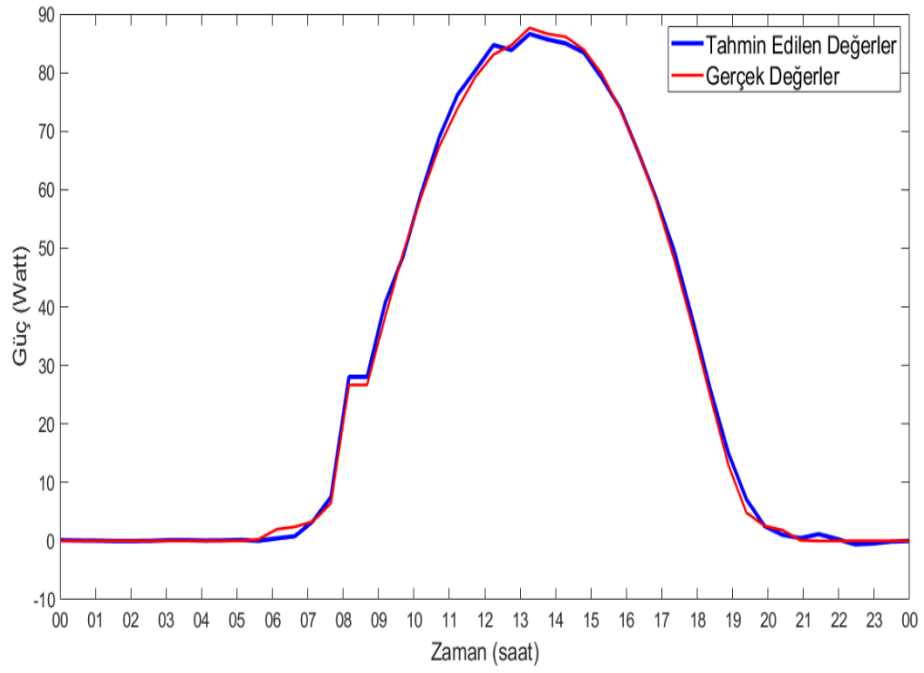
ADİYAMAN	YSA Algoritmaları					
Aylar	trainbfg	trainbr	traincgb	traincgf	trainrp	trainlm
Ocak	0.9854	0.9885	0.9820	0.9834	0.9493	0.9833
Nisan	0.9972	0.9978	0.9979	0.9985	0.9975	0.9993
Ağustos	0.9991	0.9996	0.9995	0.9992	0.9984	0.9995
Ekim	0.9966	0.9997	0.9947	0.9977	0.9981	0.9994



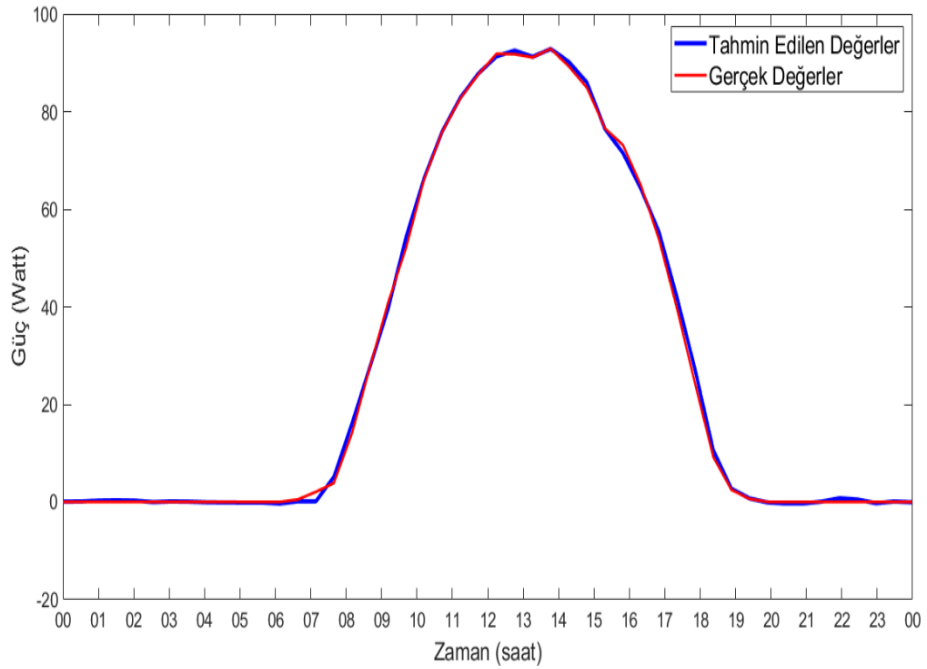
Şekil 6.37. Adıyaman ili Ocak ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.38. Adıyaman ili Nisan ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.39. Adıyaman ili Ağustos ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



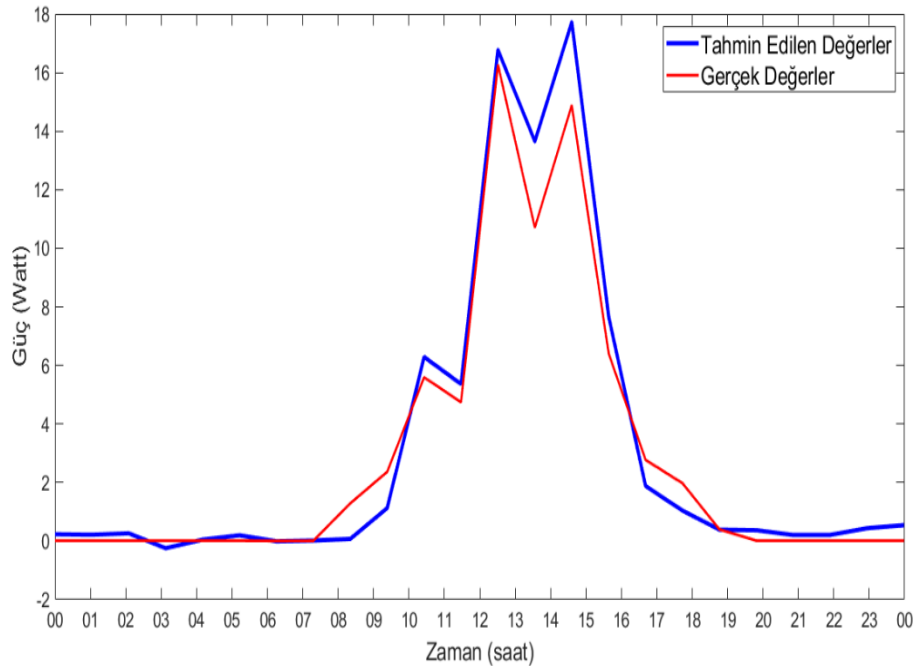
Şekil 6.40. Adıyaman ili Ekim ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması

6.5.3. 60 dk Sıklıkla Elde Edilen Verilerle Tahmin

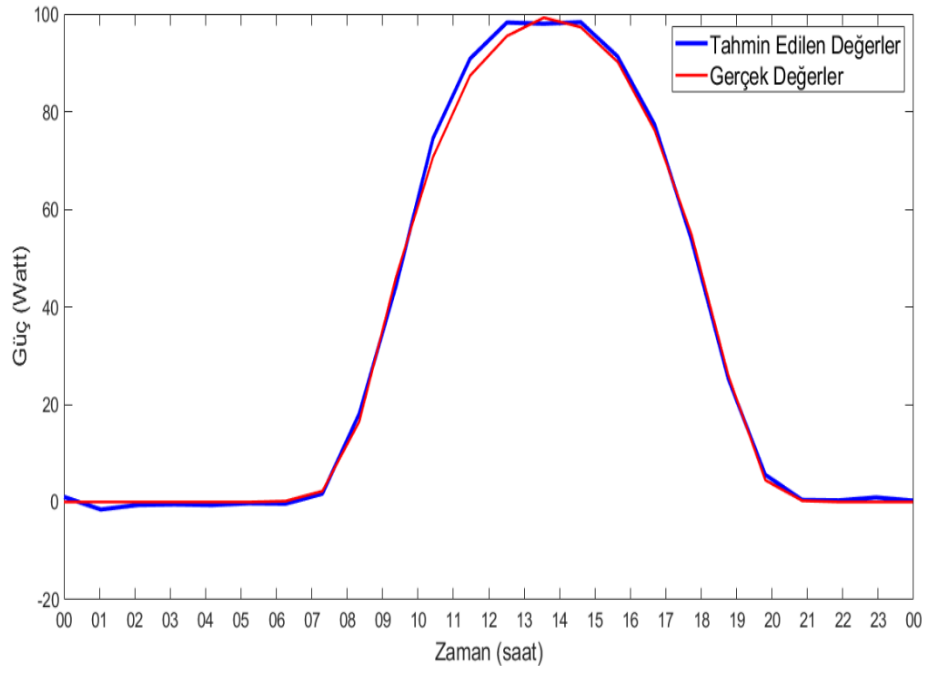
Adıyaman ili için ilkbahar-yaz-sonbahar-kış mevsimlerinin etkilerinin en efektif görüldüğü aylar olan Nisan-Ağustos-Ekim-Ocak aylarında ölçülen çevresel parametre verilerinin 60 dakikalık ortalama değerleri ile gerçekleştirilen güç tahmin sonuçlarını gösterir çizelge ve örnek tahmin grafikleri aşağıda verilmiştir (Çizelge 6.13, Şekil 6.41-6.44).

Çizelge 6.13. Adıyaman ili YSA algoritma sonuçları (60 dk)

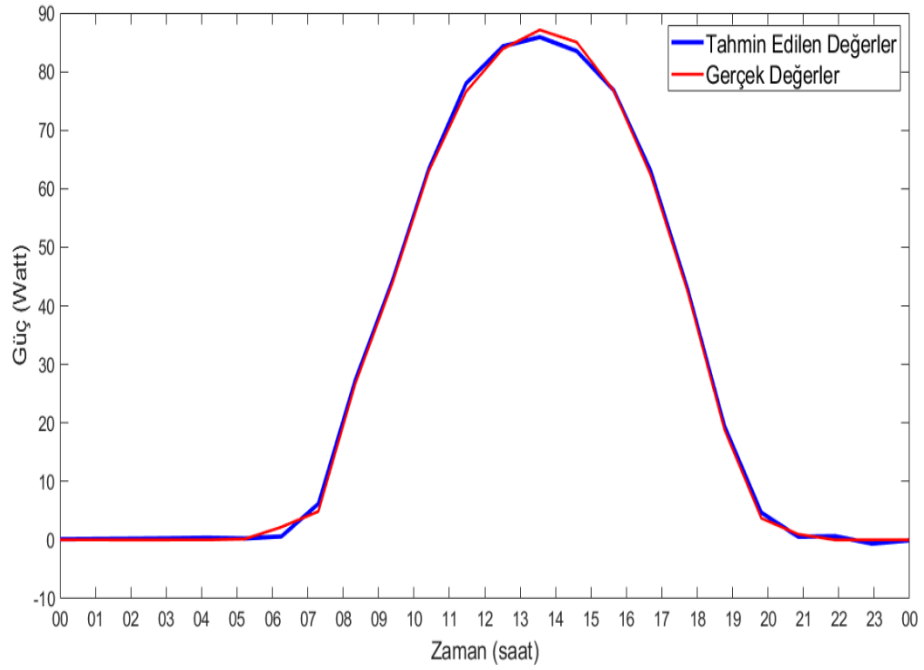
ADİYAMAN	YSA Algoritmaları					
Aylar	trainbfg	trainbr	traincgb	traincgf	trainrp	trainlm
Ocak	0.9877	0.9897	0.9909	0.9792	0.9296	0.9852
Nisan	0.9987	0.9994	0.9967	0.9990	0.9924	0.9993
Ağustos	0.9978	0.9995	0.9995	0.9977	0.9973	0.9997
Ekim	0.9976	0.9999	0.9977	0.9978	0.9972	0.9999



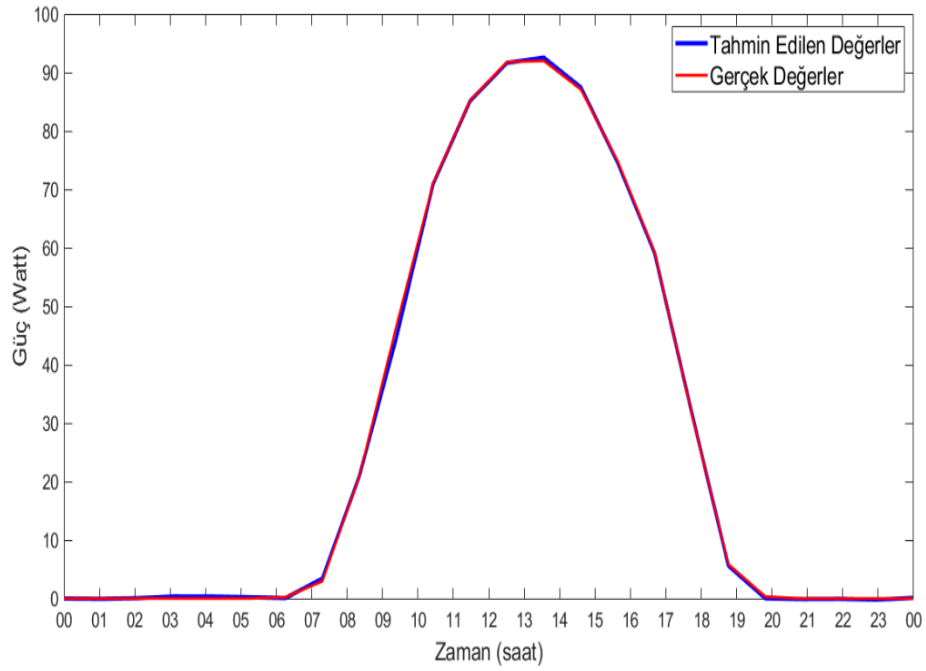
Şekil 6.41. Adıyaman ili Ocak ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.42. Adıyaman ili Nisan ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.43. Adıyaman ili Ağustos ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.44. Adıyaman ili Ekim ayı 1 gün için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması

Adıyaman bölgesel ölçüm istasyonundan 15 dk, 30 dk ve 60 dk'lık sıklıklarla elde edilen veriler kullanılarak eğitilen YSA algoritmaları ile eğitim ve test işlemleri sonucunda elde edilen tahmin sonuçları ile gerçek değerler arasında çok yüksek oranda yakınlık olduğu görülmektedir. Ancak güç grafikleri incelendiğinde özellikle 60 dk'lık verilerle elde edilen güç grafiklerinde 1 saatlik gibi bir zaman süresinde PV panele etki eden çevresel faktörlerden kaynaklı güç değişimlerini detaylı olarak incelemenin imkansız olduğu görülmektedir. Sistem sadece 1 saatlik verilerin ortalaması ile işlediğinde tahmin doğruluğu yüksek dahi olsa PV panelden elde edilen güç miktarının daha hassas incelenebilmesi için yeterli olmayabilir. Ölçüm değerlerinin daha kısa sürelerde alınması PV panel sistem tasarımında daha doğru ve efektif kararlar verilmesinde etkili olacaktır.

6.6. Bölgesel Ölçüm İstasyonu Verilerinin Hassasiyeti

Bu tez çalışması için Adıyaman, Malatya ve Şanlıurfa illerine kurulan bölgesel ölçüm istasyonlarında, sıcaklık, nem, güneş ışınım şiddeti, rüzgâr hızını ölçmek için kullanılan ölçüm problemlerinden elde edilen verilerin doğruluğunu test etmek için Adıyaman Meteoroloji İstasyon Müdürlüğünden temin edilen her üç ile ait veriler ile ölçülen veriler kıyaslandığında kurulan ölçüm istasyonlarından elde edilen verilerin yüksek oranda doğruluk gösterdiği görülmektedir. Aşağıda Adıyaman ili 03 Temmuz 2018 ölçüm verileri ile Meteoroloji Müdürlüğü verilerinin karşılaştırıldığı çizelge verilmiştir (Çizelge 6.14).



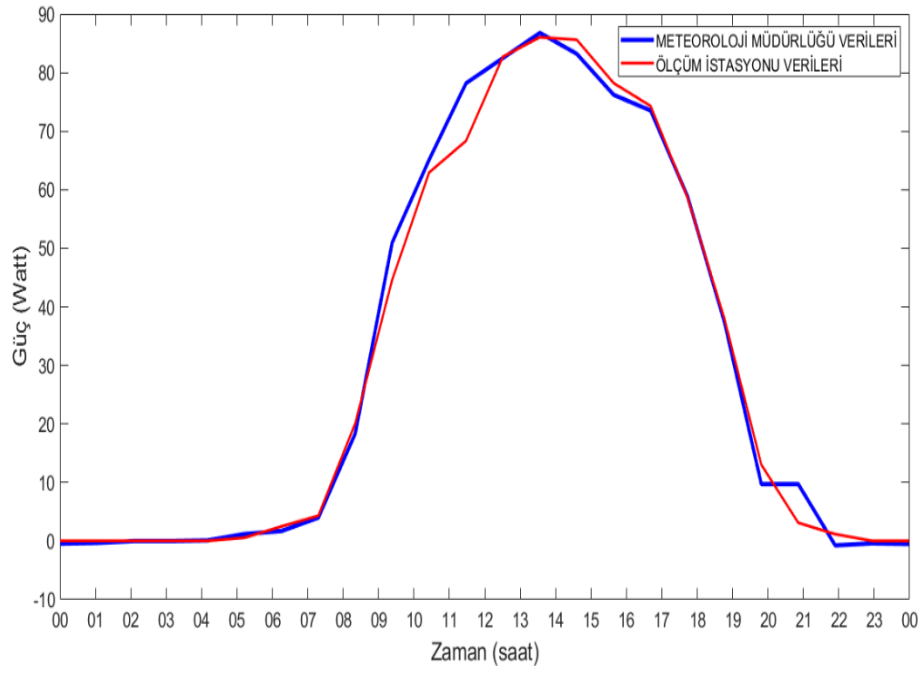
Çizelge 6.14. Adıyaman ili ölçüm istasyonu çevresel parametre verilerinin Meteoroloji Müd. verileri ile karşılaştırılması (03 Temmuz 2018)

Gün/Saat	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
Işınım Şiddeti	Ölçüm İst.	56.15	55.40	54.91	53.43	53.43	82.61	252.53	480.33	702.69	892.65	1036.35	1122.92	1141.72	1081.62	937.91	893.89	704.18	482.56	63.50	59.62	63.81	56.39	61.34
	Meteoroloji	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	70.00	225.00	445.00	685.00	815.00	995.00	1055.00	1125.00	1035.00	895.00	865.00	690.00	445.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Hassasiyet	56.15	55.40	54.91	53.43	53.43	12.61	27.53	35.33	17.69	77.65	41.35	67.92	16.72	46.62	42.91	28.89	14.18	37.56	63.50	59.62	63.81	56.39	61.34
Rüzgar Hızı	Ölçüm İst.	0.75	0.48	0.24	0.23	0.18	0.15	0.14	0.33	0.31	0.68	0.51	0.64	0.63	0.77	1.18	0.99	0.73	1.07	0.90	0.90	0.28	0.42	0.24
	Meteoroloji	0.70	0.60	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.60	0.50	0.60	0.60	0.80	1.10	1.00	0.80	1.00	1.00	1.00	0.50	0.50	0.50
	Hassasiyet	0.05	-0.12	-0.26	-0.27	-0.32	-0.35	-0.36	-0.17	-0.19	0.08	0.01	0.04	0.03	-0.03	0.08	-0.01	-0.07	0.07	-0.10	-0.10	-0.22	-0.08	-0.26
Sıcaklık	Ölçüm İst.	28.75	28.08	27.50	26.83	26.42	26.08	29.08	30.50	32.50	34.08	37.25	39.08	40.00	40.58	40.00	40.25	40.75	39.67	39.25	39.25	33.83	32.58	30.92
	Meteoroloji	28.00	28.00	27.00	27.00	27.00	26.00	30.00	31.00	33.00	35.00	37.50	10.00	40.40	40.50	39.60	40.00	40.00	39.50	39.00	39.00	33.00	33.00	30.50
	Hassasiyet	0.75	0.08	0.50	-0.17	-0.58	0.08	-0.92	-0.50	-0.50	-0.92	-0.25	29.08	-0.40	0.08	0.40	0.25	0.75	0.17	0.25	0.25	0.83	-0.42	0.42
Nem	Ölçüm İst.	9.25	9.58	9.75	10.25	11.17	11.25	9.17	11.75	11.67	10.00	9.25	7.67	6.08	4.92	3.33	3.25	3.00	4.42	3.17	3.17	5.67	6.58	10.42
	Meteoroloji	9.35	10.00	10.00	10.01	11.50	11.50	9.00	12.00	11.00	9.00	9.00	7.10	6.00	5.00	3.00	4.00	3.50	4.20	3.11	3.11	5.50	7.00	11.00
	Hassasiyet	-0.10	-0.42	-0.25	0.24	-0.33	0.08	-0.25	0.17	-0.25	0.67	1.00	0.57	0.08	-0.08	0.33	-0.75	-0.50	0.22	0.06	0.06	0.17	-0.42	-0.58

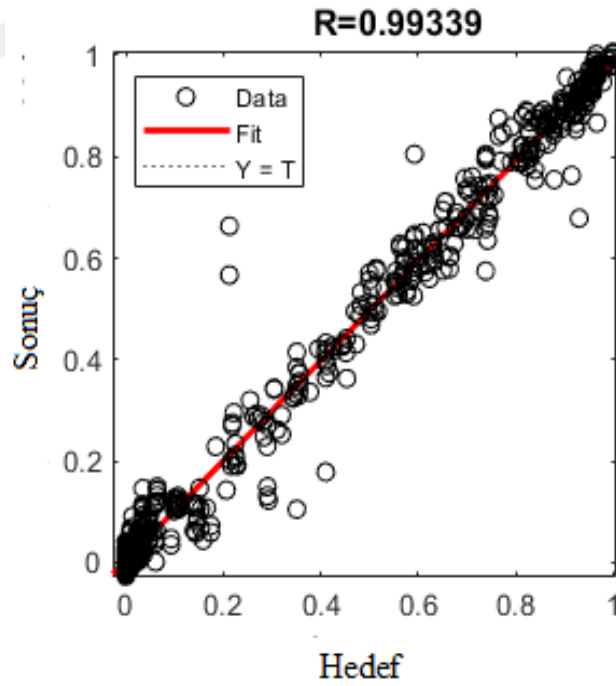
Temmuz 2018 Adıyaman bölgesel ölçüm istasyonundan elde edilen sıcaklık, güneş ışınım şiddeti, rüzgâr hızı ve nem parametre verileri ile Adıyaman Meteoroloji İstasyon Müdürlüğünden elde edilen veriler karşılaştırıldığında çok az miktarda farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Bu farklılıkların nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

- Kurmuş olduğumuz bölgesel ölçüm istasyonu Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesi çatısında yer aldığından etrafında çevresel eklileri sınırlayacak herhangi bir engel (ağaç, direk, bina vb) bulunmamaktadır. Ancak Meteoroloji Müdürlüğü ölçüm istasyonu yerleşim yeri içinde yer almaktadır.
- Meteoroloji müdürlüğü güneş ışınım ölçüm işlemine son 1-2 yıl içinde başlamış ve ölçüm tam anlamıyla sağlıklı bir şekilde yürütülememektedir.
- Rüzgâr hızı ölçümleri istasyonun yerleşim alanında olması nedeniyle bizim sistemimiz ile çok azda olsa farklı değerlerde ölçülebilmekte, ayrıca rüzgâr hızı değeri 0.5 m/sn altında olan değerlerde sitem hızı 0.5 m/sn olarak yuvarlamaktadır.
- Meteoroloji müdürlüğü verileri genellikle ondalık basamak değeri tek haneli olarak yuvarlanarak kaydedilmekte, bu nedenle bizim sistemden elde ettiğimiz ölçüm değerleri ile ondalık hane kısmında farklılık olabilmektedir.

Adıyaman Meteoroloji İstasyon Müdürlüğünden elde edilen verilerden 03 Temmuz 2018 ayı sıcaklık, güneş ışınımı, rüzgâr hızı ve nem verileri eğitilen yapay sinir ağları algoritmalarında kullanılarak Temmuz ayı içinde herhangi bir güne ait meteorolojik veriler sonucunda üretilebilecek PV panel gücü tahmin edilmiş ve aynı güne ait kurduğumuz bölgesel ölçüm istasyonundan elde edilen veriler kullanılarak da PV panelden gerçekten elde edilebilecek güç eğrileri çizdirilmiştir. Eğriler eğitilen YSA modeli kullanılarak meteoroloji müdürlüğünden alınacak veriler kullanılarak üretilecek güç tahmininin %99.34 doğrulukla yapılabileceğini göstermektedir. Rastgele seçilen 03 Temmuz 2018 günü elde edilen tahmin eğrisi ve regresyon dağılımı aşağıda gösterilmektedir (Şekil 6.45 – 6.46).



Şekil 6.45. Meteoroloji Md. verileri kullanılarak tahmin edilen değerler ile ölçüm istasyonundan elde edilen gerçek değerlerin karşılaştırılması (03 Temmuz 2018)



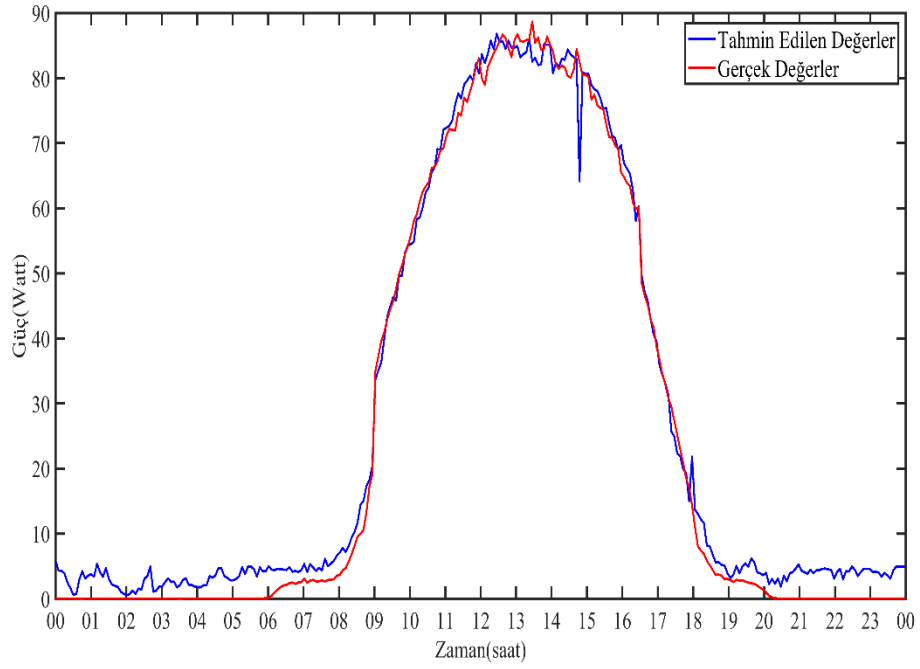
Şekil 6.46. Meteoroloji Md. tahmin verileri ile ölçüm istasyonundan elde edilen verilerin regresyon dağılımı (03 Temmuz 2018)

6.7. Tahmin Yöntemlerinin Karşılaştırılması

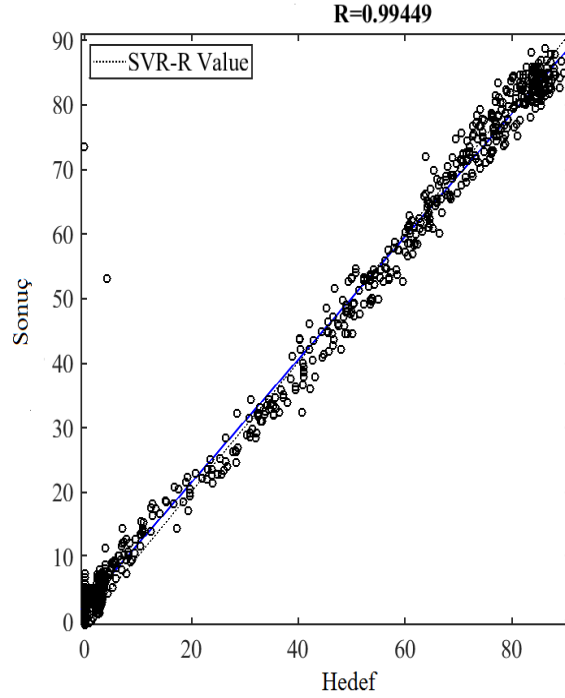
Destek Vektör Makineleri, son yıllarda sınıflandırma problemlerinin çözümü için geliştirilmiş en başarılı makine öğrenimi algoritmalarından biridir. Destek Vektör Makineleri'nin en önemli avantajı, sınıflandırma problemini kareli optimizasyon problemine dönüştürüp çözüme ulaştırmasıdır. Böylece problemin çözümü için gerekli öğrenme aşamasında yer alan işlem sayıları azalmakta ve diğer algoritmalara nazaran daha hızlı çözüm elde edilebilmektedir. Bu özelliğinden dolayı özellikle büyük kapasiteli veri setlerinin işlenmesinde önemli bir avantaj sağlamaktadır [161]

YSA modellemesi karmaşık ve doğrusal olmayan veri analizi için mükemmeldir ve önceden bir varsayım gerektirmez. Yapay sinir ağları, PV enerji üretim tahmininde yaygın olarak kullanılmaktadır ve tahmin edilen sonuçlar, regresyon analizi yöntemleriyle karşılaştırıldığında daha iyidir. Genellikle geri beslemeli YSA modelleri kullanılmaktadır. Veri yoğunluğu olan tahminleme işlemlerinde YSA algoritmalarına ek olarak Destek Vektör Regresyon yönteminde uygulanabilir. PV güç sitemlerinde güç tahmini konusunda YSA algoritmaları hata oranı açısından diğer modellerden daha üstün durumdadır [160].

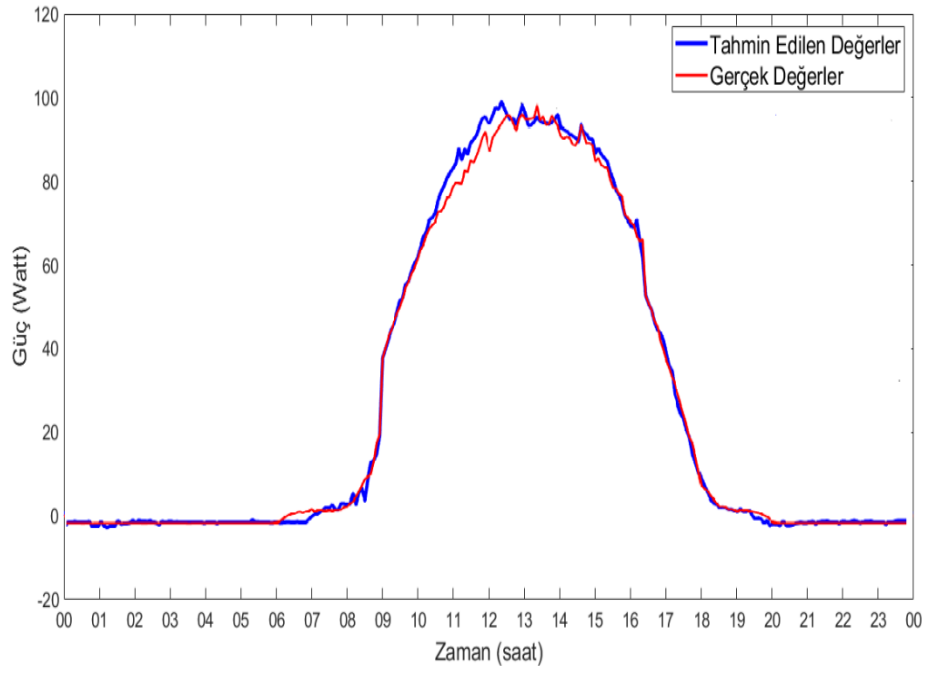
Çalışmamızda Adıyaman bölgesel ölçüm istasyonundan elde edilen 01 Temmuz 2018 verileri Destek Vektör Regresyon (SVR) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) algoritmaları kullanılarak PV panelden elde edilecek güç tahmini gerçekleştirilmiştir. YSA algoritmaları ile %99.73 doğruluk SVR algoritmaları ile ise %99.45 doğruluk ile güç tahmini gerçekleştirilmiştir. Her iki algoritma birbirine yakın doğruluk sonuçları vermektedir. Ancak YSA algoritmalarının küçük bir oran ile dahi olsa daha iyi doğruluk oranı verdiği görülmektedir. Aşağıda 01 Temmuz 2018 günü için; SVR algoritmaları ile gerçekleştirilen tahmin işleminin regresyon dağılımı ve tahmin grafiği (Şekil 6.47 – 6.48) ve YSA algoritmaları ile gerçekleştirilen tahmin işleminin regresyon dağılımı ve tahmin grafiği (Şekil 6.49 – 6.50) gösterilmektedir.



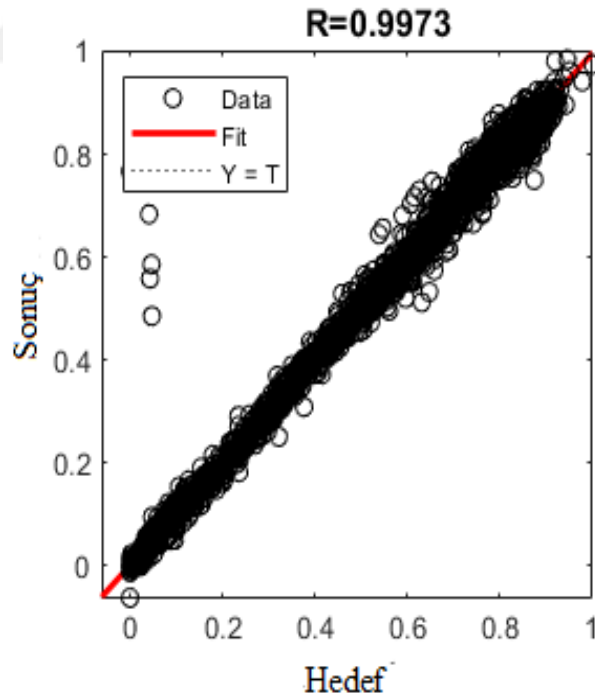
Şekil 6.47. Adıyaman ili 01 Temmuz 2018 için gerçek değerler ile SVR sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.48. Adıyaman ili SVR algoritma tahmin regresyon dağılımı (01 Temmuz 2018)



Şekil 6.49. Adıyaman ili 01 Temmuz 2018 için gerçek değerler ile YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.50. Adıyaman ili YSA algoritma tahmin regresyon dağılımı (01 Temmuz 2018)

6.8. Ölçüm İstasyonlarında Üretilen Toplam Güç

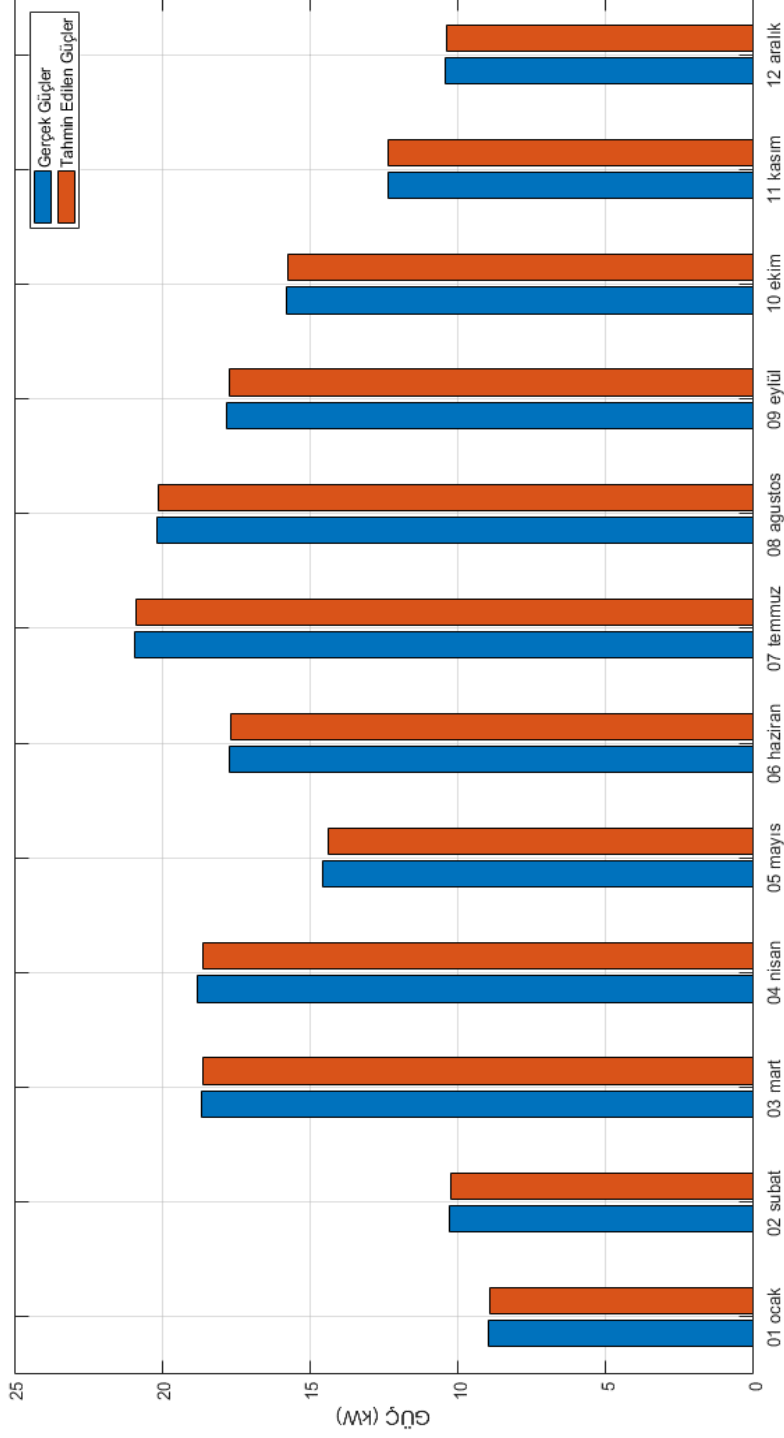
Adıyaman bölgesel ölçüm istasyonunda 1 yıl süre ile PV panelin üretmiş olduğu aylık toplam güç değişimi incelendiğinde; en yüksek güç üretiminin yaklaşık 20 kW ile Temmuz ayında, en düşük güç üretiminin ise yaklaşık 9.5 kW ile Ocak ayında gerçekleştiği görülmektedir.

Malatya bölgesel ölçüm istasyonunda 1 yıl süre ile PV panelin üretmiş olduğu aylık toplam güç değişimi incelendiğinde; en yüksek güç üretiminin yaklaşık 21 kW ile Ağustos ayında, en düşük güç üretiminin ise yaklaşık 7.5 kW ile Ocak ayında gerçekleştiği görülmektedir.

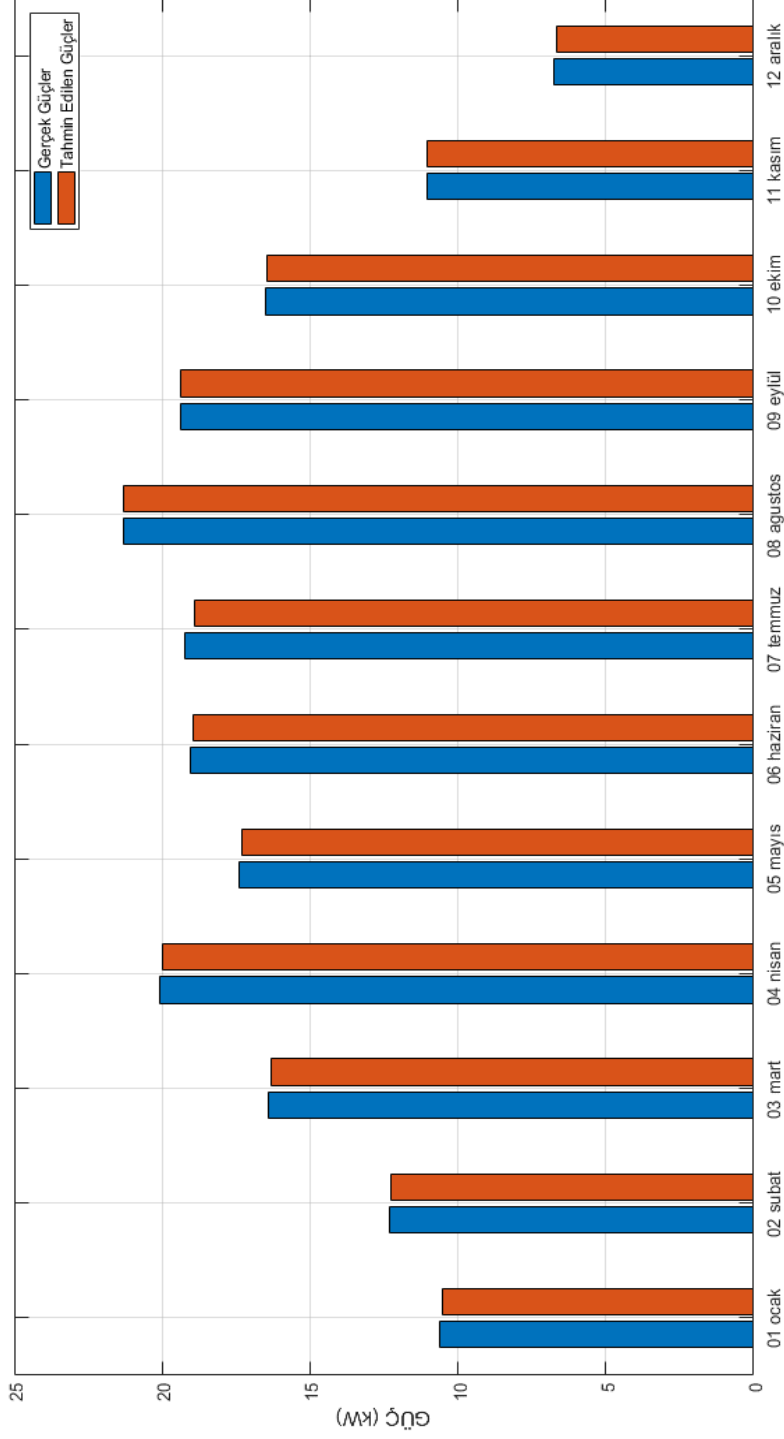
Şanlıurfa bölgesel ölçüm istasyonunda 1 yıl süre ile PV panelin üretmiş olduğu aylık toplam güç değişimi incelendiğinde; en yüksek güç üretiminin yaklaşık 18 kW ile Ağustos ayında, en düşük güç üretiminin ise yaklaşık 10.5 kW ile Aralık ayında gerçekleştiği görülmektedir.

Aylık toplam güç grafikleri incelendiğinde yaz aylarında en iyi bölgenin Malatya en kötü bölgenin ise Şanlıurfa olduğu ve kış aylarında ise tam tersi olarak en iyi bölgenin Şanlıurfa en kötü bölgenin ise Malatya olduğu görülmektedir. Bu durum PV panellere etki eden çevresel faktör sıcaklık parametresinden kaynaklanmaktadır. Sıcaklık parametresi yılın Adıyaman ve Şanlıurfa illeri için uzun ve çok sıcak geçen özellikle ilkbahar ve yaz aylarında olumsuz etki göstermiştir.

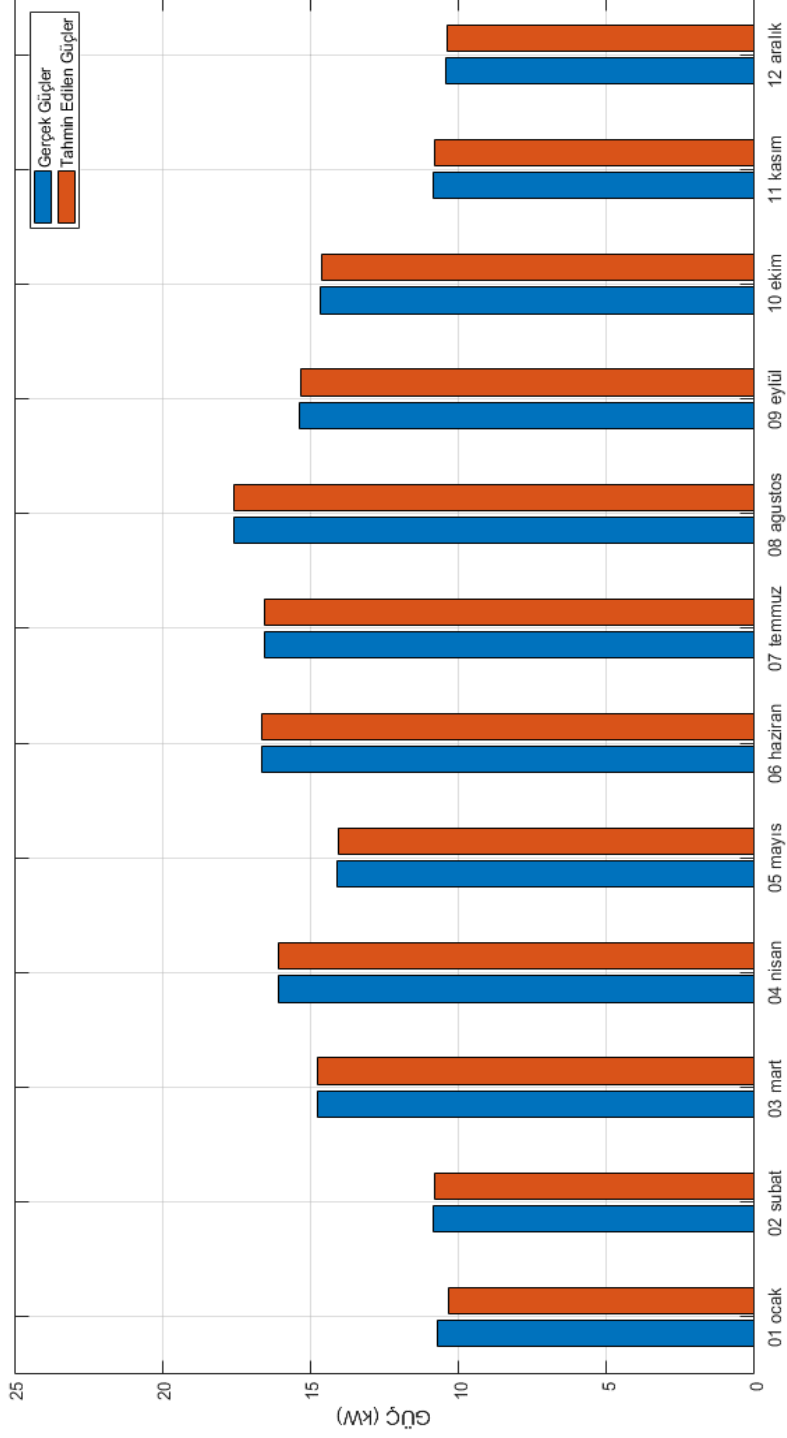
Ayrıca PV panelin üreteceği toplam güç tahmini de YSA algoritmalarında elde edilen tahmin değerleri ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Bölgesel ölçüm istasyonlarında üretilen aylık toplam gerçek güç üretimi ve tahmini güç üretim grafikleri aşağıda gösterilmektedir (Şekil 6.51- 6.53).



Şekil 6.51. Adıyaman ili için yıllık üretilen toplam güç gerçek değerler YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.52. Malatya ili için yıllık üretilen toplam güç gerçek değerler YSA sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.53. Şanlıurfa ili için yıllık üretilen toplam güç gerçek değerler YSA sonuçlarının karşılaştırılması

7. TARTIŞMA VE SONUÇ

Fotovoltaik panel uygulamalarındaki en büyük problemlerden biri ilk kurulum aşamasında sahip oldukları yüksek maliyetlerdir. Son yıllarda ciddi düşüşler meydana gelmişse de, bu sistemlerin tesis maliyetlerine karşılık ürettikleri enerji miktarı yeterince yüksek değildir. Fotovoltaik santraller ile ilgili projelendirme ve yatırımlar için enerji santralinin tesis edileceği bölgenin güneş enerjisi potansiyelinin önceden bilinmesi son derece önem arz etmektedir. Fotovoltaik panellerin ürettiği elektrik enerjisi miktarı, başta güneş ışınımı olmak üzere, hava sıcaklığı, nem oranı, rüzgâr hızı ve fotovoltaik panel sıcaklığına bağlıdır. Fotovoltaik panel üreticilerinin ürünlerine ait sundukları karakteristikler standart test koşullarını kapsamaktadır. Ancak fotovoltaik paneller birbirinden farklı birçok coğrafyada standart olmayan şartlarda işletildiğinden, fotovoltaik uygulamalarına ilişkin projelendirme ve planlama çalışmalarında kullanılacak panellerin çıkış güçlerini önceden bilmek daha doğru bir maliyet yapılandırması sağlayacağından hatalı yatırımlar önlenmiş olacak ve ülke bütçesine katma değer sağlanacaktır. Bunun için panellerin işletileceği bölgeye ait standart olmayan test koşullarını içeren meteorolojik parametrelerin panel gücü üzerindeki etkilerinin önceden saptanması önem teşkil etmektedir.

Çalışmada çevresel faktörler açısından birbirinden farklı üç pilot bölgede (Adıyaman-Malatya-Şanlıurfa) kurulan ölçüm istasyonları ile çevresel faktörler (güneş ışınımı, sıcaklık, rüzgâr, nem, PV panel sıcaklığı) ve fotovoltaik panellerden elde edilen güç değerleri 1 yıl süre ile ölçülüp kaydedilmiştir. Oluşturulan büyük veri seti üzerinde yapay sinir ağları algoritmaları kullanılarak üretilecek güç tahmini için modelleme yapılmıştır. Eğitilen yapay sinir ağ modellerinde eğitim sürecinde kullanılmamış olan test verileri üzerindeki tahmin başarı oranları grafikler ve tablolarla karşılaştırılmalı olarak ortaya konmuştur. Ayrıca Meteoroloji Genel Müdürlüğü verileri referans alınarak Adıyaman ili verileri eğitim için kullanılarak yapay sinir ağ modelleri eğitilmiş ve Malatya ile Şanlıurfa verileri test verileri olarak kullanılarak tahmin başarı oranları grafikler ve tablolar ile ortaya konmuştur.

Araştırma sonucunda elde edilen bulgular eğitilen yapay sinir ağ modellerinin; bölgelerin kendi içinde ve referans bir bölgeye göre diğer bölgelerde fotovoltaik panellerden elde edilecek enerji değerini oldukça iyi düzeyde tahmin ettiği tespit edilmiştir.

Fotovoltaik panellerin verimlerinin araştırılması alanında, çevresel faktörlerin fotovoltaik panel verimliliği üzerindeki etkisi, panel gücü ve çevresel parametreler arasındaki ilişkinin deneysel olarak saptanması, referans bölgeye göre diğer bölgelerdeki verimin tahmini gibi çalışmalar uzun ve zahmetli bir süreç gerektirmektedir. Bu olumsuzluk, bu kapsamdaki çalışma sayısının sınırlı kalmasına neden olmuştur. 1 yılı kapsayan veri setimiz üzerinde yaptığımız analizler sonucunda elde edilen bulgular yukarıda verilen karşılaştırma tablosunda yer almaktadır (Çizelge 6.7).

Daha önceden yapılan çalışmalarda büyük çoğunluğunda dikkate alınmayan nem, rüzgâr hızı ve PV panel sıcaklığının panel güç üretimine etkileri ilgili parametreler sırayla eğitilen genel algoritmada pasif edilerek tahminleme gerçekleştirilerek bu parametrelerin de PV panel gücüne olan etkileri tespit edilmiştir. Nem parameteresinin %2.6, rüzgar parameteresinin %0.8 ve PV panel sıcaklığı parameteresinin ise %1.6 oranında PV panel gücünün tahmini üzerinde etkili olduğu görülmüştür.

Meteoroloji Müdürlüğünden temin edilen çevresel parametreler (sıcaklık, güneş ışınımı, nem ve rüzgâr hızı) kullanılarak eğitilen Yapay Sinir Ağ modelleri ile herhangi bir güne ait PV panel güç üretimi önceden tahmin edilmiş ve o güne ait ölçüm istasyonundan elde edilen gerçek değerler ile YSA tahmin sonuçları karşılaştırıldığında yüksek oranda doğruluk (%99.34) tespit edilmiştir.

Ayrıca PV panel gücü tahmininde SVR algoritmaları (%99.45) kullanılmış ancak YSA algoritmaları (%99.73) ile elde edilen doğruluk oranının daha yüksek olduğu ve YSA algoritmalarının bu nedenle çevresel parametreler kullanılarak PV panel güç tahmininde daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Eğitilen YSA modellerinin önceki çalışmalardan çok daha iyi sonuçlar göstermesinin temel nedenleri aşağıda çıkarılmıştır:

1. Çalışmamızda fotovoltaiik panellerin ürettiği enerjiye etki eden çevresel faktörlerin birçoğunun ele alınarak daha zengin ve geniş kapsamlı bir veri tabanı üzerinden modelleme yapılması,

2. lmlerin belirli bir zaman diliminde değil 1 yıl boyunca tüm hava şartlarının etkisini görebilecek şekilde geniş bir zaman diliminde gerçekleştirilmesi,

3. Yapay Sinir Ağ modelleri eğitilirken; eğitim için kullanılan parametrelerin ve algoritmaların doğru seçilmesi,

4. lmlerin belirli bir bölge için değil, birbirinden farklı 3 bölge için gerçekleştirilmiş olması sonucunda elde edilen veri tabanının daha geniş olması.

Çalışma sonucunda eğitilen yapay sinir ağları modelleri ile dünyanın herhangi bir yerindeki farklı bölgelere ait sıcaklık, nem, rüzgâr, güneş işınımı gibi meteorolojik parametreler kullanılarak tesis edilmek istenen fotovoltaiik enerji sistemleri için güç tahmini yüksek oranda bir doğrulukla gerçekleştirilebilecektir. Böylece günümüzde hızla gelişmeye devam eden fotovoltaiik enerji sistemi uygulamalarına ilişkin projelendirme ve planlama çalışmalarında kullanılacak panellerin çıkış gücünü önceden belirlemek daha doğru bir maliyet yapılandırması sağlayacağından hatalı yatırımlar ve sistem kurulumları önlenmiş olacak bunun sonucunda da bölge ve ülke bütçesine katma değer sağlanabilecektir.

8. KAYNAKLAR

- [1] K.B. Varınca, G. Varank, Güneş kaynaklı farklı enerji üretim sistemlerinde çevresel etkilerin kıyaslanması ve çözüm önerileri, *Güneş Enerji Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi*, İçel, (2005).
- [2] Yasin İçel, *Farklı çaplarda kanat modelleri ile güneş bacası enerji sisteminden elektrik üretim verimliliğinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, Türkiye, 2012.
- [3] Mahmut Can Şenel. *Rüzgâr türbinlerinde güç iletim mekanizmalarının tasarım esasları-dinamik davranış*. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, Türkiye, 2012.
- [4] K. Kavak, *Dünyada ve Türkiye'de Enerji Verimliliği ve Türk Sanayiinde Enerji Verimliliğinin İncelenmesi*, İktisadi Sektörler Ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Yayın No:2689, Ankara, 2005.
- [5] V. Quaschnig, *Understanding Renewable Energy Systems*, Earthscan Publications Ltd, London, 2005.
- [6] Anonim 1. (2017) Rapor, Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynakları, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://www.enerji.gov.tr/Resources/Sites> (Erişim Tarihi: 25.06. 2017).
- [7] Arif Koyun, *Güneş bacası ile enerji üretiminin incelenmesi*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye, 2006.
- [8] A.Y. Uyarel ve E.S. Öz, *Güneş Enerjisi ve Uygulamaları*, Ankara, 1987.
- [9] Anonim 2.(2019). http://eng.harran.edu.tr/~ccetiner/yenilenebilir_enerji_1.pdf (Erişim Tarihi: 18.05.2019).
- [10] A. Görez ve A. Alkan, Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları ve hidroelektrik enerji potansiyeli, *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Antalya, Türkiye, Ekim (2005), p. 21-22.
- [11] İsmail Kayri, *Güneş panelleri ile üretilen enerjinin ortam bilgileri kullanılarak yapay sinir ağları ile tahmini*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye, 2017.
- [12] K.B. Varınca ve M.T. Gönüllü, Türkiye'de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma, *I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, Eskişehir, Haziran 21-23 (2006) p. 270-275.
- [13] A. Fahrenbruch, and R. Bube, *Fundamentals of solar cells: photovoltaic solar energy conversion*, Academic Press, New York, 1983.

- [14] Razi Jalilisaatlou, *Fotovoltaik güç sistemlerinin kalite karakteristiklerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye, 2015.
- [15] Mete Çubukçu, *Türkiye'nin farklı konumlarında farklı topolojilerde fotovoltaik-rüzgâr-yakıt pili hibrid güç sistemlerinin modellenmesi karşılaştırmalı simülasyonu ve uygulamalı performans analizi*, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, İzmir, Türkiye, 2011.
- [16] A. Mellit, M. Benghanem, and S.A. Kalogirou, *An adaptive wavelet-network model for forecasting daily total solar-radiation*, **Applied Energy**, 83 (2006) 705-722.
- [17] T. Hiyama, S. Kouzuma, and T. Imakubo, *Identification of optimal operating point of PV modules using neural network for real time maximum power tracking control*, **IEEE Transactions on Energy Conversion**, 10 (1995) 360-367.
- [18] A.B.G Bahgat, N.H. Helwa, G.E. Ahamd, and E.T. El Shenawy, *Estimation of the maximum power and normal operating power of a photovoltaic module by neural networks*, **Renewable Energy**, 29 (2004) 443-457.
- [19] A.B.G. Bahgat, N.H. Helwa, G.E. Ahmad, and E.T. El Shenawy, *Maximum power point tracking controller for PV systems using neural networks*, **Renewable Energy**, 30 (2005) 1257-1268.
- [20] A. Mellit, M. Benghanem, A.H. Arab, and A. Guessoum, *An adaptive artificial neural network model for sizing stand-alone photovoltaic systems: application for isolated sites in Algeria*, **Renewable Energy**, 30 (2005) 1501-1524.
- [21] E. Karatepe, M. Boztepe, and M. Colak, *Neural network based solar cell model*, **Energy Conversion and Management**, 47 (2006) 1159-1178.
- [22] E. Deniz ve K. Atik, *Güneş ışınım şiddeti tahminlerinde YSA ve Regresyon analiz yöntemleri kullanımının incelenmesi*, **Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi**, 27 (2007) 15-20.
- [23] F. Aslay ve Ü. Özen, *Meteorolojik parametreler kullanılarak YSA ile toprak sıcaklığının tahmin*, **Politeknik Dergisi**, 16:4 (2013) 139-145.
- [24] H. ErKaymaz ve Ö. Yaşar, *YSA ile hava sıcaklığı tahmini*, *5th International Computer & Instructional Technologies Symposium*, Elazığ, (2011).
- [25] Resul Güç, *Bilecik ili için güneş enerjisi analizi ve yapay sinir ağları ile hava sıcaklığı tahmini*, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik, Türkiye, 2016.
- [26] E. Işık ve M. İnallı, *Tunceli ili güneş ışınımının YSA ile tahmini*, *Engineering sciences Symposium*, (2011).

- [27] H.R. Özçalık, Ş. Yılmaz ve E. Kılıç, *Güneş pilinin bir diyotlu eşdeğer devre yardımıyla matematiksel modelinin çıkartılması ve parametrelerinin incelenmesi*. **KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 16(1) (2013).
- [28] J. Bikaneria, S.P. Joshi and A.R. Joshi, *Modeling and simulation of pv cell using one-diode model*, **Int. J. of Scientific and Research Pub.**, 3(10) (2013).
- [29] N.M.A. Shannan, N.Z. Yahaya and B. Singh, *Single-diode model and two-diode model of PV modules: a comparison*. *IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering*, Penang, Malaysia, 29 Nov. - 1 Dec. (2013).
- [30] R. Dash and S.M. Ali, *Comparative study of one and two diode model of solar photovoltaic cell*, **Int. J. of Research in Engineering and Tech.**, 3(10) 2014.
- [31] A. Bellini and S. Bifaretti, *Simplified model of a photovoltaic module*, **Electronics**, 3 (2009), 3–7.
- [32] V. Tamrakar, S.C. Gupta and Y. Sawle, *Single diode and two diode PV cell modeling using MATLAB for studying characteristics of solar cell under varying conditions*, **ECIJ**, 4:2 (2015).
- [33] T. Ahmad, S. Sobhan and F. Nayan, *Comparative analysis between single diode and double diode model of PV cell: concentrate different parameters effect on its efficiency*, **J. of Power and Energy Engineering**, 4:3 (2016) 31-46.
- [34] F.F. Muhammad, M.Y. Yahya, S.S Hameed, F. Aziz, K. Sulaiman, M.A. Rasheed and Z. Ahmad, *Employment of single-diode model to elucidate the variations in photovoltaic parameters under different electrical and thermal conditions*. **PLoS ONE**, 12(8) (2017).
- [35] M.L. Azad, P.K Sadhu, S. Das, B. Satpati, A. Gupta, P. Arvind, and R. Biswas, *An improved approach to design a photovoltaic panel*, **Indonesian J. of Electrical Engineering and Computer Science**, 5:3 (2017) 515-520.
- [36] L. Cristaldi, et al. *A simplified model of photovoltaic panel*. *2012 IEEE I2MTC -International Instrumentation and Measurement Technology Conference, Proceedings*, (2012), 431–436.
- [37] S.M. Lurwan, et al., *Predicting power output of photovoltaic systems with solar radiation model*. *IEEE International conference Power & Energy*, (2014), 304–308.
- [38] T. Hiyama, and K. Kitabayashi, *Neural network based estimation of maximum power generation from PV module using environmental information*, **IEEE Transactions on Energy Conversion**, 12 (1997) 241-247.
- [39] A. Mellit, S. Sağlam and S.A. Kalogirou, *Artificial neural network-based model for estimating the produced power of a photovoltaic module*, **Renewable Energy**, 60 (2013) 71-78.

- [40] Y. Işıker, B. Yeşilata, and B Hüsametdin, Fotovoltaik panel gücüne etki eden çalışma parametrelerinin araştırılması. *I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, (2006).
- [41] Öznur Saka, *Konya koşullarında güneş pillerinin aydınlatma uygulamalarında kullanım imkânları*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye, 2007.
- [42] H.L. Tsai, *Insolation-oriented model of photovoltaic module using Matlab/Simulink*. **Solar Energy**, 84:7 (2010) 1318-1326.
- [43] M. Farhoodnea, A. Mohamed, T. Khatib, and W. Elmenreich, *Performance evaluation and characterization of a 3-kWp grid-connected photovoltaic system based on tropical field experimental results: new results and comparative study*, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 42 (2015) 1047-1054.
- [44] S. Doolla and R. Banerjee, Diffusion of grid-connected PV in India: An analysis of variations in capacity factor. *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, (2010) 2349–2352.
- [45] A. Makki, S. Omer, and H. Sabir, *Advancements in hybrid photovoltaic systems for enhanced solar cells performance*, **Renewable and Sustainable Energy Review**, 41 (2015) 658-684.
- [46] N. Onat, ve S. Ersöz, Fotovoltaik sistemlerde maksimum güç noktası izleyici algoritmalarının karşılaştırılması. *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Diyarbakır, (2009).
- [47] M. Irwanto et al., Analysis simulation of the photovoltaic output performance. *Proceedings of the 2014 IEEE 8th International Power Engineering and Optimization Conference, PEOCO 2014*, March, (2014) 477–481.
- [48] Y. Chu, B. Urquhart, S. Gohari, H. Pedro, J. Kleissl, and F.M. Carlos, *Short-term reforecasting of power output from a 48 MWe solar PV plant*. **Solar Energy**, (2014) 68- 77.
- [49] M.S. Thomas and A. Nisar, Data-Driven modeling and simulation of PV array, *2nd International Conference on Computing for Sustainable Global Development*, New Delhi, India, 11-13 March (2015), 308-313.
- [50] V.J. Fesharaki, M. Dehghani, J.J. Fesharaki, and H. Tavasoli, The effect of temperature on photovoltaic cell efficiency, *Proceedings of the 1st International Conference on Emerging Trends in Energy Conservation – ETEC*, Tehran, Iran, September (2011), 20-21.
- [51] E. Radziemska, *The effect of temperature on the power drop in crystalline silicon solar cells*, **Renewable Energy**, 28 (2003) 1-12.

- [52] İ. Ceylan, A.E. Gürel, H. Demircan, and B. Aksu, *Cooling of photovoltaic module with temperature controlled solar collector*, **Energy and Buildings**, 72 (2014) 96-101.
- [53] M. Chandrasekar, S. Suresh, T. Senthilkumar, and M. Ganesh, *Passive cooling of standalone flat PV module with cotton wick structures*, **Energy Conversion and Management**, 71(2013) 43-50.
- [54] H. Bahaidarah, A. Subhan, P. Gandhidasan, and S. Rehman, *Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions*, **Energy**, 59 (2013) 445-453.
- [55] A.F. Panchula, W. Hayes, and A. Kimber, *First-year performance of a 20-MW AC PV power plant*. **IEEE Journal of Photovoltaics**, 2:3 (2012) 359–363.
- [56] S. Mekhilef, R. Saidur, and M. Kamalisarvestani, *Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells*, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 16 (2012) 2920-2925.
- [57] H. Doğan, M. Aktaş, ve T. Menlik, *Güneş enerjisi sistemlerinde kanatçık yüzeyindeki sıcaklık dağılımının sonlu farklar metodu ile analizi*, **Teknoloji Dergisi**, 3(2004) 407-414.
- [58] Z. Şen, *Türkiye'nin temiz enerji imkânları*, **Mimar ve Mühendis Dergisi**, 33 (2004) 6-12.
- [59] V. Altın, *Güneş enerjisinden yararlanılarak elektrik üretimi*, **Mimar ve Mühendis Dergisi**, 33 (2004) 28-31.
- [60] Sami Abamor, *Şebeke bağlantılı fotovoltaiik enerji santrallerinin elektrik güç kalite parametrelerinin izlenmesi ve analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 2016.
- [61] F. Canan, *Mimaride fotovoltaiik panel uygulamaları*, *Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi*, Kayseri, Türkiye, Ekim (2003), 43-52.
- [62] J. Carstensen, G. Popkirov, J. Bahr and H. Föll, *Cello: An advanced LBIC measurement technique for solar cell local characterization*, **Solar Energy Materials and Solar Cell**, 76 (2003) 599-611.
- [63] Salih Köse, *Yarıiletken güneş pilleri ve verimlilikleri*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, 1986.
- [64] Ümmü Gülsüm Eruz, *Güneş paneli çeşitlerinden polikristal, monokristal ve thin film panellerinin Karabük şartlarında verimlilik karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, Türkiye, 2015.
- [65] Ayşe Özge Küpeli, *Güneş pilleri ve verimleri*, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, 2005.

- [66] G.W. Sutton, *Direct Energy Conversion*, Mcgraw-Hill, New York, 1996.
- [67] Mehmet Alp Batman, *Elektrik üretimi için güneş pillerinin kullanımında verimi arttırıcı yeni bir yöntem*, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2001.
- [68] T. Markvart, *Solar Electricity*, John Wiley & Sons Inc., New York, 1994.
- [69] Peter Batchheller, *Microprocessor controlled maximum power point tracker for photovoltaic system*, Ms thesis, Devry Institute of Technology, Alberta, 1993.
- [70] V. Tamrakar, S.C. Gupta and Y. Sawle, Study of characteristics of single and double diode electrical equivalent circuit models of solar PV module, *In International Conference on Energy Systems and Applications, IEEE*, Pune, India, October (2015).
- [71] Timothy Townsend, *A Method for Estimating the Long-Term Performance of DirectCoupled Photovoltaic Systems*, MS Thesis, University of Wisconsin, 1989.
- [72] F.Ç. Kılıç, *Türkiye'deki yenilenebilir enerjilerde mevcut durum ve teşviklerindeki son gelişmeler*, **Mühendis ve Makine Dergisi**, 52 (2011) 103-115.
- [73] G. Cook, *Photovoltaic Fundamentals*, Solar Energy Research Institute Press, Washington, 1995.
- [74] Musa Yılmaz, *Güneş takip sistemi ile güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme yöntemleri ve optimum verimin belirlenmesi*, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2013.
- [75] S. Oktik, *Güneş elektrik dönüşümleri fotovoltaik güneş gözeleri ve güç sistemleri*, Ankara Temiz Enerji Vakfı Yayınları, Ankara (2001).
- [76] Ogün Haziran Boz, *Günümüzün alternatif enerji kaynağı: Fotovoltaik güneş pilleri*, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, Türkiye, 2011.
- [77] K. Jäger, O. Isabella, A.H. Smets, R.A.C Van Swaaij and M. Zeman, . *Solar energy fundamentals, technology and systems*, Delft University of Technology Press, Netherland, 2014.
- [78] X. Wu, *High-efficiency polycrystalline CdTe thin-film solar cells*. **Solar Energy**, 77 (2004) 803-814.
- [79] M.A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa, W. Warta, and E.D. Dunlop, . *Solar cell efficiency tables*, **Progress in photovoltaics: research and applications**, 23 (2015) 1-9.
- [80] Arkan I. Ismael, *Monokristal güneş pili sistemlerinde elektrik enerji analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2012.

- [81] P.A. Lynn, *Electricity from sunlight: an introduction to photovoltaics*, John Wiley & Sons Inc., Chichester, United Kingdom, 2011.
- [82] A. Tanaka, *Toxicity of indium arsenide, gallium arsenide, and aluminium gallium arsenide*, **Toxicology and applied pharmacology**, 198 (2004) 405-411.
- [83] D.J. Friedman, S.R. Kurtz, K.A. Bertness, A.E. Kibbler, C. Kramer, J.M. Olson and J.K. Snyder, *Accelerated publication 30.2% efficient GaInP/GaAs monolithic two-terminal tandem concentrator cell*, **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, 3 (1995) 47-50.
- [84] J.M. Gee and G.F. Virshup, A 31%-efficient GaAs/silicon mechanically stacked, multijunction concentrator solar cell, *In Photovoltaic Specialists Conference, Conference Record of the Twentieth IEEE*, September (1988), 754-758.
- [85] B.M. Kayes, L. Zhang, R. Twist, I.K. Ding and G.S. Higashi, *Flexible thinfilm tandem solar cells with > 30% efficiency*, **IEEE Journal of Photovoltaics**, 4 (2014) 729- 733.
- [86] N. Kannan and D. Vakeesan, *Solar energy for future world:-A review*, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 62 (2016) 1092-1105.
- [87] Burak Kahraman, *Güneş enerjisi santralleri için gerçek zamanlı meteorolojik veri izleme sisteminin geliştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye, 2018.
- [88] Muhammet Bilgin, *Fotovoltaik panellerin verimine panel yüzey sıcaklığının etkisinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2013.
- [89] Ise Fraunhofer, *Photovoltaics Report*, Freiburg, 26 August 2015.
- [90] G. Lena, *Rural Electrification with PV Hybrid Systems*, *International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme Club of African National Agencies and Structures In Charge of Rural Electrification (Club-Er)*, **IEA PVPS**, 9:4 (2013).
- [91] S. Arezki and M. Boudour, Improvement of power quality for hybrid PV-FC power supply system, *16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition*, 21-24 September (2014), Antalya.
- [92] Abdurrahman Erat, *Fotovoltaik panel yüzey temizliği için akıllı sistem tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye, 2018.
- [93] Fahrettin Demirci, *Fotovoltaik güneş pillerinin çalışmasını etkileyen dış faktörlerin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye, 1996.
- [94] Süleyman Çabuk, *İnce film SNO₂/CO₂ güneş pilleri*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye, 1992.

- [95] Mustafa Barış Tercan, *Güneş pili karakterizasyon yöntemleri*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2000.
- [96] M. Irwanto, Y.M. Irwan, I. Safwati, W.Z. Leow. and N. Gomesh, Analysis simulation of the photovoltaic output performance, *Power Engineering and Optimization Conf. (PEOCO), IEEE 8th International Conf.*, (2014), p. 477-481.
- [97] R. Bhol, A. Pradhan, R. Dash and S.M. Ali, Environmental effect assessment on performance of solar PV panel, *Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT), IEEE Int. Conf.*, (2015), p. 1-5.
- [98] M. Islam, M.Z. Rahman and S.M. Mominuzzaman, The effect of irradiation on different parameters of monocrystalline photovoltaic solar cell, *Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET), 3rd IEEE Int. Conf.*, (2014), p. 1-6.
- [99] N. Besli, M.A. Aktacir and B. Yesilata, *Testing and Characterization of Photovoltaic Panels Under Real Field Conditions*, **Engineer & the Machinery Magazine**, 51 (2010) 21-28.
- [100] A. Karanfil, H. Özbay and M. Kesler, Simulation analysis of temperature and solar radiation changes on the photovoltaic panel power, *Electrical-Electronics and Computer Symposium*, (2016).
- [101] S. Ghazi and K. Ip, *The effect of weather conditions on the efficiency of PV panels in the southeast of UK*, **Renewable Energy**, 69 (2014) 50-59.
- [102] R. Mayfield, The highs and lows of photovoltaic system calculations, *Renewable Energy Consultants Electrical Construction and Maintenance*, (2012).
- [103] Anonim 3. (2003). Progress in Photovoltaics Research and Applications, 62, 11-47
- [104] C.S. Cockell, A.R. Blaustein, *Ecosystems, Evolution and Ultraviolet Radiation*, Springer, New York, USA, 2001.
- [105] Ömer Kızılkın, *Arkadan su soğutma ile fotovoltaik panellerin verimliliğinin artırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Siirt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Siirt, Türkiye, 2017.
- [106] Mohammed Zaki Abdulazeez, *Tek diyot modeline dayanarak gölgelenmenin güneş pillerinin çalışma performansı üzerindeki etkisinin analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2011.
- [107] Rüştü Eke, *Güneş pili parametrelerinin işletme koşullarıyla ilişkilendirilmesi*. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye, 2007.
- [108] Mustafa Karamanav, *Güneş enerjisi ve güneş pilleri*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye, 2007.

- [109] K.M. Aksungur, M. Kurban and Ü.B. Filik, Solar radiation data analysis and evaluation in different regions of Turkey, *5th Energy Efficiency and Quality Symposium*, (2013).
- [110] S. Keçel, ve H.G. Yavuzcan, *Türkiye'deki bölgesel sıcaklık değişimlerinin güneş panellerinin verimliliğine etkisi*, **G.Ü. Endüstriyel Sanatlar Eğitim Fak. Der.**, 22 (2008) 12-20.
- [111] M.K. Panjwani and G.B. Narejo, *Effect of humidity on the efficiency of solar cell (photovoltaic)*, **Int. J. of Engineering Research and General Science**, 2 (2014) 2091-2099.
- [112] M.M.D. Ross, Snow and ice accumulation on photovoltaic arrays: An assessment of the TN conseil passive melting technology, EDRL 95-68 (TR), Energy Diversification Research Laboratory, CANMET. Natural Resources Canada, Varennes, September. (1995).
- [113] F. Zagury and F. Goutail, *Spectral analysis of extinguished sunlight*. **New Astronomy**, 8:6 (2003) 134-137.
- [114] J.K. Kaldellis, M. Kapsali and K.A. Kavadias, *Temperature and wind speed impact on the efficiency of PV installations. Experience obtained from outdoor measurements in Greece*, **Renewable Energy**, 66 (2014) 612-624.
- [115] F. Wakim, *Introduction of PV power generation to Kuwait*, Kuwait Institute for Scientific Researchers, Kuwait City, 1981.
- [116] S. Mekhilef, F.M. Zaihidee, M. Seyedmahmoudian and B. Horan. *Dust as an unalterable deteriorative factor affecting PV panel's efficiency: Why and how*, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 65 (2016) 1267–1278.
- [117] J.K. Kaldellis and A. Kokala, *Quantifying the decrease of the photovoltaic panels' energy yield due to phenomena of natural air pollution disposal*, **Energy**, 35 (2010) 4862–4869.
- [118] M.O. Dorobantu, Cl. Popescu and A. Craciunescu. The effect of surface impurities on photovoltaic panels, *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPO'11) Las Palmas de Gran Canaria (Spain)*, 13-15 April (2011).
- [119] X. Li, T.P. Prawiradiraja and D. Battul, *The role of humidity in energy output of solar panels in coastal regions*, **J. of Engineering Tech. (JET)** 2 (2013) 1-9.
- [120] Kübra Ovuz, *Kırıkkale çevre şartlarında sıcaklığın polikristal fotovoltaik panelin enerji verimliliği üzerine etkisinin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, Türkiye, 2018.
- [121] B.P. Jelle, *The challenge of removing snow downfall on photovoltaic solar cell roofs in order to maximize solar energy efficiency – Research opportunities for the future*, **Energy and Buildings**, 67 (2013) 334-351.

- [122] Meral Demir, *Dış duvara sonradan tespit edilen fotovoltaik panellerin performansının deneysel olarak değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [123] R. Engin, *Güneş Pilleri*, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi Fizik Bölümü Yayınları, 8:3 (1995) 151.
- [124] Berkay Kiriş, *Uzay kafes çatı sistemlerinde fotovoltaik panellerden genetik algoritma ile maksimum elektrik enerjisi elde edilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye, 2016.
- [125] Gencer Sarıoğlu, *Güneş gözelerinde gölgelenme etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla, Türkiye, 2012.
- [126] N.D. Kaushika and A.K. Rai, *An investigation of mismatch losses in solar photovoltaic cell networks*, **Energy**, 32 (2007) 755-759.
- [127] Onur Ortaç, *DA/AA Dönüştürücü*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2007.
- [128] T. Xiong, Y. Bao, Z. Hu, Multiple-output support vector regression with a firefly algorithm for interval-valued stock price index forecasting, **Knowledge-Based Systems**, 22 (2014) 87-100.
- [129] Mehmet İsmail Gürsoy, *Alçak gerilim şebekeleri için durağan ve durağan olmayan güç kalitesi olaylarının tespiti ve sınıflandırılması için yeni bir yaklaşım*, Doktora Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, Türkiye, 2018.
- [130] Hande ErKaymaz, *Elektrookulogram (EOG) sinyallerinin incelenmesi ve yapay zaka teknikleri ile modellenmesi*, Doktora Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, Türkiye, 2014.
- [131] E. Öztemel, *Yapay Sinir Ağları*, Papatya Yayıncılık Eğitim, İstanbul, Türkiye, 2012, 231.
- [132] M.L. Minsky and S.A. Papert, *Perceptron*. Expanded Edition Cambridge, MIT Press, London, United Kingdom, 1969.
- [133] J.J. Hopfield, *Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities*. **Proceeding of the National Academy of Science of the United States of America**. 79:8 (1982) 2554 – 2558.
- [134] D.E. Rumelhart and J.L. McClelland, “Parallel Distributed Processing: Explorations”, in, J.A. Feldman, P.J. Hayes, D.E. Rumelhart (Editors). *Microstructure of Cognition*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, 1989, 563.

- [135] Sultan Mehtap İzmirli Ayan, *Fotovoltaik sistemin yapay zeka algoritması ile güç tahmini*, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, Türkiye, 2018.
- [136] S.A. Kalogirou, *Artificial neural networks in renewable energy systems applications: a review*, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 5 (2001) 373-390.
- [137] T. Saraç, *Yapay Sinir Ağları*, Seminer Projesi, Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı, Ankara, 2004.
- [138] L. Fausett, *Fundamentals of Neural Networks*, Prentice-Hall, New Jersey, 1994.
- [139] İ. Çayıroğlu, İleri Algoritma Analizi-5 Yapay Sinir Ağları. <http://www.ibrahimcayiroglu.com> (Erişim Tarihi: 21.02.2018).
- [140] Kenan Donuk, *Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerde üretilen enerjinin yapay sinir ağları kullanılarak tahmini*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye, 2014.
- [141] Emre Alan, *Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı ile Cüruflarda Fosfor Kapasitelerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2013.
- [142] Ş. Sağıroğlu, E. Beşdok ve M. Erler, *Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-I Yapay Sinir Ağları*, Ufuk Kitap Kır., Kayseri, 2003.
- [143] Ayşegül Güven, *Göze ait elektrofizyolojik sinyaller kullanılarak yapay sinir ağları destekli bazı göz hastalıklarının teşhisi*, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, Türkiye, 2005.
- [144] B. Widrow and M.E. Hoff, *Adaptive Switching Circuits*, IRE WESCON Convention Record, 1960, 96 – 104.
- [145] T. Kohonen, *Correlation matrix memories*, **IEEE Transactions on Computers**. 21 (1972) 353 – 359.
- [146] T. Kohonen, *Self – Organization and Associative Memory*: 3rd Edition, Springer – Verlag New York Inc., New York, USA, 1989, 312.
- [147] <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/2.aspx> (Erişim: 02.06.2019)
- [148] <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/44.aspx> (Erişim: 02.06.2019)
- [149] <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/63.aspx> (Erişim: 02.06.2019)
- [150] Anonim 4.(2018). <https://www.mgm.gov.tr/veri-degerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A>, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, (Erişim tarihi: 25.07.2018)

- [151] F. Bonanno, G. Capizzi, G. Graditi, C. Napoli and G. M. Tina, A radial basis function neural network based approach for the electrical characteristics estimation of a photovoltaic module, **Applied Energy**, 97 (2012) 956-961.
- [152] A. Mellit and A. M. Pavan, A 24-h forecast of solar irradiance using artificial neural network: Application for performance prediction of a grid-connected PV plant at Trieste, Italy, **Solar Energy**, 84 (2012) 807-821.
- [153] A. Mellit, A. M. Pavan and V. Lughi, Short-term forecasting of power production in a large-scale photovoltaic plant, **Solar Energy**, 105 (2014) 401-413.
- [154] A. Yona, A. Y. Saber, H. Sekine and C.H. Kim, Application of Neural Network to One-Day-Ahead 24 hours Generating Power Forecasting for Photovoltaic System, *International Conference on Intelligent Systems Applications to Power Systems*, Niigata, Japan, 5-8 Nov. (2007) 442-447.
- [155] A. Mellit, M. Benghaneim and M. Bendekhis, Artificial Neural Network Model for Prediction Solar Radiation Data: Application for Sizing Stand-alone Photovoltaic Power System, *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 16 June (2005).
- [156] A. Mellit and A. M. Pavan, Performance prediction of 20 kWp grid-connected photovoltaic plant at Trieste (Italy) using artificial neural network, **Energy Conversion and Management**, 51:12 (2010) 2431-2441.
- [157] D. A. Vaz, B. Elsinga, W. van Sark, M. C. Brito, An artificial neural network to assess the impact of neighbouring photovoltaic systems in power forecasting in Utrecht, the Netherlands, **Renewable Energy**, 85 (2016) 631-641.
- [158] İ. Ceylan, E. Gedik, O. Er kaymaz and A. E. Gürel, The artificial neural network model to estimate the photovoltaic modul efficiency for all regions of the Turkey, **Energy and Buildings**, 84 (2014) 258-267.
- [159] H. Özkişi and M. Topaloğlu, The Estimation of the Photovoltaic Cell Productivity with the Use of Artificial Neural Network, **Int. J. of Informatics Tech.**, 10:3 (2017) 247-253.
- [160] U.K. Das, K.Y. Tey, M. Seyedmahmoudian, M.Y. İdna İdris, S. Mekhilef, B. Horan, A. Stojcevski, SVR-Based model to forecast PV power generation under different weather conditions, **Energies**, 10:7 (2017) 876-893.
- [161] S. Ayhan, Ş. Erdoğan, Destek vektör makineleriyle sınıflandırma problemlerinin çözümü için çekirdek fonksiyonu seçimi, **Osmangazi Üniv. İİBF Dergisi**, 9:1 (2014) 175-198.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Yasin İÇEL
Doğum Yeri ve Tarihi : Malatya / 02.03.1975
Adres : Adıyaman Üniversitesi TBMYO Elektrik ve Enerji Bölümü
E-Posta : yicel@adiyaman.edu.tr
Lisans : Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği (1996)
Yüksek Lisans : İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği (2012)
: Öğr. Grv. Adıyaman Üniversitesi TBMYO Elektrik ve Enerji Bölümü (2006--)
Mesleki Deneyim : İnönü Üniversitesi Adıyaman Meslek Yüksek Okulu Elektrik Bölümü (1999-2006)

Yayın Listesi :

- ✓ Y. İçel, M. S. Mamiş, A. Buğutekin, *Güneş bacası sisteminden elektrik üretim verimliliğinin incelenmesi*. **EMO Bilimsel Dergi**, 5:10(2016) 53-57.
- ✓ Y. İçel, B. Baran, A. Kaygusuz, Ö. Bektaş Yenilenebilir Kaynakları İçeren Güç Sistemlerinin PowerWorld Programı ile Analizi. *15. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*, 1(1), 27-32. (Tam Metin Bildiri)
- ✓ H. Alisoy, G. Alisoy, C. Keleş, F.N. Deniz, İ. ışık, Y. İçel, Darbe Generatörünün Maksimum Enerjisi Hakkında Varyasyonel Problem. *15. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*, 1(1), 1272-1276.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR / SUNUMLAR

- ❖ Y. İçel, M.S. Mamiş, A. Buğutekin and M.İ. Gürsoy, Photovoltaic panel efficiency estimation with artificial neural networks: samples of Adıyaman, Malatya and Şanlıurfa, International, **Journal of Photoenergy**, 2019.

- ❖ Y. İel, M.S. Mamiş, A. Buğutekin and S.V. Üstün, An investigation of the environmental impacts on the efficiency of photovoltaic panel in Adıyaman, Malatya, şanlıurfa region, *8th International 100% Renewable Energy Conference (IRENEC 2018)*, İstanbul, 7-9 May (2018), 77-83. (Tam metin/Sözel sunum)
- ❖ Y. İçel, M.S. Mamiş, A. Buğutekin, M.S. Gürsoy, Fotovoltaik panel verimliliğinin yapay sinir ağları ile tahmini: Adıyaman, *II. Uluslararası Bilimsel ve Mesleki alışmalar Kongresi (BİLMES)*, Nevşehir, 5-8 Temmuz (2018). (Tam metin / Sözel sunum)
- ❖ Y. İçel, M.S. Mamiş, A. Buğutekin, M.S. Gürsoy, Fotovoltaik Panel Verimliliğinin Yapay Sinir Ağları İle Tahmini: şanlıurfa Örneği, . *III. Uluslararası Mesleki Ve Teknik Bilimler Kongresi*, Gaziantep, 21-22 Haziran (2019), 1(1) 910. (Özet/Sözel sunum)

EKLER

EK – A:



dsPIC33FJ128GP804

In Production



Features

Operating Range:

- Up to 40 MIPS operation (at 3.0-3.6V):
- Industrial temperature range (-40°C to +85°C)
- Extended temperature range (-40°C to +125°C)
- High temperature range (-40°C to +150°C)

High-Performance DSC CPU:

- Modified Harvard architecture
- C compiler optimized instruction set
- 16- bit wide data path
- 24- bit wide instructions
- Linear program memory addressing up to 4M instruction words
- Linear data memory addressing up to 64 Kbytes
- 83 base instructions: mostly 1 word/1 cycle
- Two 40-bit accumulators with rounding and saturation options
- Flexible and powerful addressing modes:
 - Indirect
 - Modulo
 - Bit-Reversed
 - Software stack
- 16 x 16 fractional/integer multiply operations
- 32 /16 and 16/16 divide operations
- Single-cycle multiply and accumulate:
 - Accumulator write back for DSP operations
 - Dual data fetch
- Up to ± 16 -bit shifts for up to 40-bit data

On-Chip Flash and SRAM:

- Flash program memory
- Data SRAM
- Boot, Secure, and General Security for program Flash

Direct Memory Access (DMA):

- 8- channel hardware DMA

- Up to 2 Kbytes dual ported DMA buffer area (DMA RAM) to store data transferred via DMA:
 - Allows data transfer between RAM and a peripheral while CPU is executing code (no cycle stealing)
- Most peripherals support DMA

Timers/Capture/Compare/PWM:

- Timer/Counters, up to five 16-bit timers:
 - Can pair up to make two 32-bit timers
 - One timer runs as a Real-Time Clock with an external 32.768 kHz oscillator
 - Programmable prescaler
- Input Capture (up to four channels):
 - Capture on up, down or both edges
 - 16-bit capture input functions
 - 4-deep FIFO on each capture
- Output Compare (up to four channels):
 - Single or Dual 16-bit Compare mode
 - 16-bit Glitchless PWM mode
- Hardware Real-Time Clock/Calendar (RTCC):
 - Provides clock, calendar, and alarm functions

Interrupt Controller:

- 5-cycle latency
- 118 interrupt vectors
- Up to 49 available interrupt sources
- Up to three external interrupts
- Seven programmable priority levels
- Five processor exceptions

Digital I/O:

- Peripheral pin Select functionality
- Up to 35 programmable digital I/O pins
- Wake-up/Interrupt-on-Change for up to 21 pins

- Output pins can drive from 3
- 0 V to 3.6V
- Up to 5V output with open drain configuration
- All digital input pins are 5V tolerant
- 4 mA sink on all I/O pins

System Management:

- Flexible clock options:
 - External, crystal, resonator, internal RC
 - Fully integrated Phase-Locked Loop (PLL)
 - Extremely low jitter PLL
- Power-up Timer
- Oscillator Start-up Timer/Stabilizer
- Watchdog Timer with its own RC oscillato
- Fail-Safe Clock Monitor
- Reset by multiple sources

Power Management:

- On-chip 2.5V voltage regulator
- Switch between clock sources in real time
- Idle, Sleep, and Doze modes with fast wake-up

Analog-to-Digital Converters (ADCs):

- 10- bit, 1.1 Msps or 12-bit, 500 Ksps conversion :
 - Two and four simultaneous samples (10-bit ADC)
 - Up to 13 input channels with auto-scanning
 - Conversion start can be manual or synchronized with one of four trigger sources
 - Conversion possible in Sleep mode
 - ± 2 LSb max integral nonlinearity
 - ± 1 LSb max differential nonlinearity

Audio Digital-to-Analog Converter (DAC):

- 16- bit Dual Channel DAC module
- 100 Ksps maximum sampling rate
- Second-Order Digital Delta-Sigma Modulator

Data Converter Interface (DCI) module:

- Codec interface
- Supports I2S and AC.97 protocols
- Up to 16-bit data words, up to 16 words per frame
- 4-word deep TX and RX buffers

Comparator Module:

- Two analog comparators with programmable input/output configuration

CMOS Flash Technology:

- Low-power, high-speed Flash technology
- Fully static design
- 3.3 V ($\pm 10\%$) operating voltage
- Industrial and Extended temperature
- Low power consumption

Communication Modules:

- 4-wire SPI (up to two modules):
 - Framing supports I/O interface to simple codecs
 - Supports 8-bit and 16-bit data
 - Supports all serial clock formats and sampling modes
- I2C.:
 - Full Multi-Master Slave mode support
 - 7-bit and 10-bit addressing
 - Bus collision detection and arbitration
 - Integrated signal conditioning
 - Slave address masking
- UART (up to two modules):
 - Interrupt on address bit detect
 - Interrupt on UART error
 - Wake-up on Start bit from Sleep mode

Parameter Name	Value
Architecture	16-bit
CPU Speed (MIPS)	40
Memory Type	Flash
Program Memory (KB)	128
RAM (KB)	16
Temperature Range C	-40 to 150
Operating Voltage Range (V)	3 to 3.6
I/O Pins	35
Pin Count	44
System Management Features	BOR
POR	Yes
WDT	Yes
Internal Oscillator	7.37 MHz, 32.768 kHz
Digital Communication Peripherals	2-UART 2-SPI 1-I2C
Codec Interface	Yes
Analog Peripherals	1-A/D 13x12-bit @ 1100(ksps) 2-D/A 2x16-bit
Comparators	2
CAN (#, type)	1 CAN
Capture/Compare/PWM Peripherals	4/4
PWM Resolution bits	16
Timers	5 x 16-bit 2 x 32-bit
Parallel Port	PMP
DMA	8
Cap Touch Channels	13