



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

**DÜZCE ÇEVRESİNDE SU TEMİN UYGULAMASI İÇİN ŞEBEKE
BAĞLANTILI 15 kW_p GÜÇTEKİ PV SİSTEMİN FAYDA-
MALİYET ANALİZİ**

ALİ YILDIZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ EMİN YILDIRIZ**

DÜZCE, 2019

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜZCE ÇEVRESİNDE SU TEMİN UYGULAMASI İÇİN ŞEBEKE
BAĞLANTILI 15 kWp GÜÇTEKİ PV SİSTEMİN FAYDA-
MALİYET ANALİZİ

Ali YILDIZ tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Emin YILDIRIZ

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Emin YILDIRIZ

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Ali ÖZTÜRK

Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet Timur AYDEMİR

Gazi Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 16/07/2019

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

16 Temmuz 2019

Ali YILDIZ

TEŐEKKÜR

Tez çalıőmamın başından sonuna kadar kıymetli bilgi, birikim ve tecrübelerini paylaőan, bana yol gösteren ve destek olan, yüksek motivasyonu ile beni yreklendiren çok değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Emin YILDIRIZ'a,

Değerli bilgi ve gőrőlerinden yararlandığım, öneri ve yorumlarıyla tez sürecinde katkıda bulunan Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölüm Baőkanı Prof. Dr. Ali ÖZTÜRK'e,

Her konuda yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiç eksik etmeyen aileme tüm kalbimle teőekkür ederim.

16 Temmuz 2019

Ali YILDIZ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
KISALTMALAR.....	xi
SİMGELER	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE TÜRKİYE'DEKİ MEVCUT DURUM	3
2.1. YENİLENEBİLİR ENERJİ TÜRLERİ.....	4
2.1.1. Hidroelektrik Enerji	4
2.1.2. Rüzgâr Enerjisi.....	5
2.1.3. Güneş Enerjisi	5
2.1.4. Jeotermal Enerji.....	6
2.1.5. Biyokütle Enerjisi.....	8
2.1.6. Dalga Enerjisi	9
2.1.7. Hidrojen Enerjisi.....	10
2.2. TÜRKİYE'DE YENİLENEBİLİR ENERJİ POTANSİYELİ.....	11
3. DÜZCE'NİN KONUMU VE GÜNEŞ POTANSİYELİ.....	14
4. FOTOVOLTAİK (PV) ENERJİ SİSTEMLERİ	24
4.1. PV TEKNOLOJİ ÇEŞİTLERİ.....	25
4.1.1. Kristal Silikon PV Paneller	26
4.1.1.1. Monokristal Silikon Güneş Panelleri.....	26
4.1.1.2. Polikristal Silikon Güneş Panelleri.....	26
4.1.1.3. Ribbon Silikon Güneş Panelleri.....	27
4.1.2. İnce Film PV Paneller	27
4.1.3. Esnek PV Paneller	30
4.1.4. Saydam PV Paneller	30
4.1.5. Gelişmekte Olan Yeni PV Sistemler	31
4.2. PV TEKNOLOJİLERİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	33
4.3. PV SİSTEM Dengeleyicileri	34
4.3.1. İnvörtör	35
4.3.2. Güç Kontrol Sistemleri (Akü Şarj Kontrol Cihazı).....	35
4.3.3. Enerji Depolama Aygıtları (Akü)	36
4.3.4. Uzaktan İzleme	38

4.3.5. Diğer Sistem Dengeleyicileri.....	38
4.4. GÜNEŞ ENERJİSİYLE ELEKTRİK ÜRETİLMESİ.....	38
4.4.1. Yoğunlaştırıcı Sistemler.....	38
4.4.2. Fotovoltaik Güneş Panelleri	41
4.4.3. Fotovoltaik Panelin Modellenmesi.....	43
4.4.4. Güneş Enerjili Dalgıç Pompa Sistemi	45
4.4.4.1. Şebeke bağlantılı (On-grid) PV sistem.....	46
4.4.4.2. Şebeke bağlantısız (Off-grid) PV sistem.....	47
5. DÜZCE'DE BULUNAN İÇME SUYU SONDAJ KUYULARI VE PARAMETRELERİ	49
6. DALGIÇ POMPA SEÇİMİ VE SU TÜKETİM ANALİZİ	55
7. PV SANTRALİN ENERJİ ANALİZİ	58
7.1. PV _{SYST} PROGRAMI VE ELEKTRİK ÜRETİM TAHMİNİ.....	58
7.2. MEVCUT DURUMDAKİ BİR PV SANTRALİN ELEKTRİK ÜRETİM MİKTARI.....	62
7.3. EĞRİ UYDURMA YÖNTEMİ (REGRESYON ANALİZİ) VE ELEKTRİK ÜRETİM TAHMİNİ	63
7.3.1. En Küçük Kareler Yöntemi	65
7.3.1.1. Polinom Regresyon Modeli.....	66
7.3.2. Polinom Regresyon Modeliyle Elektrik Üretim Tahmini.....	67
8. PV SİSTEMİNE AİT FİNANSMAN VE GELİR HESABI	76
8.1. MALİYET ANALİZİNDE ESAS ALINAN KUR.....	76
8.2. PROJE BAZLI GELİRLER	76
8.2.1. Elektrik Enerjisi Satışından Elde Edilen Gelirler	77
8.2.2. Karbon Emisyonundan Elde Edilen Gelirler	79
8.3. TESİS YATIRIM MALİYETLERİ	80
8.3.1. Proje Yönetimi ve Mühendislik Hizmetleri	80
8.3.2. Makine ve Teçhizatlar	80
8.3.3. Sahanın Hazırlanması ve İnşaat İşleri	81
8.3.4. Arazi Bedeli.....	81
8.3.5. Kurulum ve İşletmeye Alma	81
8.3.6. Trafo veya Enerji Besleme Kablosu	81
8.3.7. Lisans Bedeli.....	81
8.3.8. Öngörülemeyen Giderler	82
8.3.9. Finansman Giderleri.....	82
8.3.10. Tesis Yatırım Dönemine Ait Genel Giderler	83
8.3.11. Toplam Yatırım Bedeli	83
8.4. FAALİYET GİDERLERİ	84
8.5. FİNANSAL ANALİZ.....	84
8.6. PV SİSTEMİNE AİT ÜRETİM VERİLERİ VE FAYDA MALİYET ANALİZİ	85
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	90
10. KAYNAKLAR.....	91
ÖZGEÇMİŞ.....	95

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. 2018 yılı sonunda Türkiye'de üretilen elektriğin kaynaklara göre dağılımı.	3
Şekil 2.2. 2019 yılı Haziran ayı itibarıyla Türkiye'ye ait kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı.	4
Şekil 2.3. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli.	6
Şekil 2.4. Türkiye'de nanotekniği-volkanik etkinliği ve jeotermal alanlar	8
Şekil 2.5. Türkiye'nin biyokütle potansiyeli.	9
Şekil 2.6. 2018 yılında Türkiye'de üretilen toplam elektrik enerjisinin payı.	12
Şekil 3.1. Düzce'nin coğrafi konumu.	14
Şekil 3.2. Türkiye'ye ait global radyasyon değerleri	15
Şekil 3.3. Düzce'ye ait global radyasyon değerleri	16
Şekil 3.4. Türkiye'ye ait güneşlenme süresi	16
Şekil 3.5. Düzce'ye ait güneşlenme süresi	17
Şekil 3.6. Düzce'nin güneş radyasyon değerleri	17
Şekil 3.7. Global PV elektrik üretimi kapasite atlası	18
Şekil 3.8. Güneş enerjisi teknik potansiyelinin Avrupa ülkelerine göre dağılımı	18
Şekil 3.9. Düzce iline ait aylık bazda dört farklı veri tabanından alınan güneş radyasyon verilerinin karşılaştırılması.	22
Şekil 3.10. Düzce iline ait yıllık global ışıınım verilerinin karşılaştırılması.	23
Şekil 4.1. Güneş ışınlarının yansımaları.	24
Şekil 4.2. PV sistem a) Güneş pili b) Fotovoltaik panel.	25
Şekil 4.3. Monokristal silikon güneş paneli.	26
Şekil 4.4. Polikristal silikon güneş paneli.	27
Şekil 4.5. Ribbon silisyum PV hücre.	27
Şekil 4.6. İnce film PV hücre.	28
Şekil 4.7. Bazı firmalara ait amorf silikon, mikromorf ve kadmiyum tellür ince film güneş panelleri a) Sharp firması b) Bosch firması c) Firstsolar firması.	29
Şekil 4.8. Esnek güneş paneli.	30
Şekil 4.9. Saydam güneş paneli.	31
Şekil 4.10. Yoğunlaştırıcıli fotovoltaik sistem.	32
Şekil 4.11. Şebeke bağlantılı bir fotovoltaik sistemin yapısı.	34
Şekil 4.12. İnvörtör cihazı.	35
Şekil 4.13. Şarj kontrol cihazı.	36
Şekil 4.14. Jel akü.	37
Şekil 4.15. Parabolik oluk kollektör yapısı.	39
Şekil 4.16. Parabolik oluk kolektörler.	39
Şekil 4.17. Stirling motorlu parabolik çanak kolektör.	40
Şekil 4.18. Merkezi alıcılı güneş enerjisi sistemleri.	40
Şekil 4.19. SPE 270 PV panelin akım-gerilim grafiği.	42
Şekil 4.20. SPE 270 PV panelin güç-gerilim grafiği.	43
Şekil 4.21. Bir fotovoltaik hücrenin tek diyot devre şeması.	43
Şekil 4.22. On-grid PV sistemin çalışma prensibi.	47

Şekil 4.23. Off-grid PV sistemin çalışma prensibi.	48
Şekil 7.1. PVsyst programı arayüz görünümü.	59
Şekil 7.2. SunEye cihazı görünümü.	60
Şekil 7.3. PVsyst, Meteonorm ve SunEye arasındaki ilişki.	61
Şekil 7.4. PVsysts programına göre Düzce'de 15 kWp güçteki güneş santralinin yıllık enerji üretim miktarı.	62
Şekil 7.5. Düzce-Merkez ilçesine 10 km mesafede bulunan bir PV tesisinin 2018 yılına ait elektrik üretim miktarı.	63
Şekil 7.6. PV santraline ait elektrik üretim miktarı dikkate alınarak sıcaklık ve güneşlenme değerlerine bağlı olarak polinom regresyon modeliyle tahmin edilen elektrik üretim miktarları.	68
Şekil 7.7. PV santraline ait elektrik üretim miktarı dikkate alınarak sıcaklık ve güneşlenme değerlerine bağlı olarak polinom regresyon modeliyle elde edilen elektrik üretim miktarlarına ait modelleme.	68
Şekil 7.8. PV santraline ait elektrik üretim miktarı dikkate alınarak sıcaklık ve ışınım değerlerine bağlı olarak polinom regresyon modeliyle tahmin edilen elektrik üretim miktarları.	69
Şekil 7.9. PV santraline ait elektrik üretim miktarı dikkate alınarak sıcaklık ve ışınım değerlerine bağlı olarak polinom regresyon modeliyle elde edilen elektrik üretim miktarlarına ait modelleme.	69
Şekil 7.10. PV santraline ait elektrik üretim miktarı dikkate alınarak güneşlenme ve ışınım değerlerine bağlı olarak polinom regresyon modeliyle tahmin edilen elektrik üretim miktarları.	70
Şekil 7.11. PV santraline ait elektrik üretim miktarı dikkate alınarak güneşlenme ve ışınım değerlerine bağlı olarak polinom regresyon modeliyle elde edilen elektrik üretim miktarlarına ait modelleme.	70
Şekil 7.12. PVsysts programına göre tahmin edilen elektrik üretim miktarı dikkate alınarak sıcaklık ve güneşlenme değerlerine bağlı olarak polinom regresyon modeliyle tahmin edilen elektrik üretim miktarları.	71
Şekil 7.13. PVsysts programına göre tahmin edilen elektrik üretim miktarı dikkate alınarak sıcaklık ve güneşlenme değerlerine bağlı olarak polinom regresyon modeliyle tahmin edilen elektrik üretim miktarlarına ait modelleme.	71
Şekil 7.14. PVsysts programına göre tahmin edilen elektrik üretim miktarı dikkate alınarak sıcaklık ve ışınım değerlerine bağlı olarak polinom regresyon modeliyle tahmin edilen elektrik üretim miktarları.	72
Şekil 7.15. PVsysts programına göre tahmin edilen elektrik üretim miktarı dikkate alınarak sıcaklık ve ışınım değerlerine bağlı olarak polinom regresyon modeliyle tahmin edilen elektrik üretim miktarlarına ait modelleme.	72
Şekil 7.16. PVsysts programına göre tahmin edilen elektrik üretim miktarı dikkate alınarak güneşlenme ve ışınım değerlerine bağlı olarak polinom regresyon modeliyle tahmin edilen elektrik üretim miktarları.	73
Şekil 7.17. PVsysts programına göre tahmin edilen elektrik üretim miktarı dikkate alınarak güneşlenme ve ışınım değerlerine bağlı olarak polinom regresyon modeliyle tahmin edilen elektrik üretim miktarlarına ait modelleme.	73

Şekil 7.18. Eğri uydurma (regresyon analizi) modeline göre elde edilen değerlerin karşılaştırılması.	74
Şekil 7.19. PVsyts programı, mevcut bir PV santral ve eğri uydurma yönteminden elde edilen verilerin karşılaştırılması.	75
Şekil 8.1. Düzce-Çilimli ilçesi Söğütlü köyünde yapımı tamamlanan PV tesisi.....	89

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı.....	6
Çizelge 2.2. Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyeli ve mevcut durum.	11
Çizelge 3.1. Düzce iline ait ortalama sıcaklık değerleri.	15
Çizelge 3.2. PVGIS veri tabanına göre Düzce'nin aylık ve yıllık global ışınım değeri.	19
Çizelge 3.3. GEPA veri tabanına göre Düzce'nin aylık ve yıllık global ışınım değeri.	20
Çizelge 3.4. Meteororm veri tabanına göre Düzce'nin aylık ve yıllık global ışınım değeri.	21
Çizelge 3.5. Düzce iline ait dört farklı veri tabanının alınan aylık ve yıllık ışınım değerleri.....	21
Çizelge 4.1. Fotovoltaik teknolojilerin karşılaştırılması.....	33
Çizelge 4.2. Örnek bir fotovoltaik panelin bazı özellikleri.....	42
Çizelge 5.1. Düzce-Merkez ilçesinde içme suyu ihtiyacını sondaj kuyusundan karşılayan köyler.	49
Çizelge 5.2. Düzce-Cumayeri ilçesinde içme suyu ihtiyacını sondaj kuyusundan karşılayan köyler.	51
Çizelge 5.3. Düzce-Çilimli ilçesinde içme suyu ihtiyacını sondaj kuyusundan karşılayan köyler.	52
Çizelge 5.4. Düzce-Gölyaka ilçesinde içme suyu ihtiyacını sondaj kuyusundan karşılayan köyler.	53
Çizelge 5.5. Düzce-Gümüşova ilçesinde içme suyu ihtiyacını sondaj kuyusundan karşılayan köyler.	53
Çizelge 5.6. Düzce-Yığılca ilçesinde içme suyu ihtiyacını sondaj kuyusundan karşılayan köyler.	53
Çizelge 6.1. Düzce'de su ihtiyacını içme suyu kuyusundan sağlayan köylerin nüfus dağılımı.....	55
Çizelge 6.2. Nüfusu 1000 kişi olan bir köyde mevcut durumda ve 30 yıl sonra ihtiyaç duyulabilecek su miktarı	56
Çizelge 8.1. YEK Kanununda belirtilen teşvik miktarları.....	77
Çizelge 8.2. EPDK'nın 01.04.2019 tarihinden itibaren geçerli elektrik tarifesi.	78
Çizelge 8.3. EPDK'nın 01.04.2019 tarihinden itibaren geçerli lisansız elektrik üreticiler için dağıtım bedeli.	79
Çizelge 8.4. Elektrik Piyasasında 2019 yılında uygulanacak olan lisans bedelleri.	82
Çizelge 8.5. Toplam yatırım maliyeti.	83
Çizelge 8.6. Yapılması düşünülen PV santraline ait muhtelif giderler.....	85
Çizelge 8.7. 9 Mayıs 2019 tarih ve 1044 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararı öncesinde PV sisteminin fayda maliyet analizi.....	87
Çizelge 8.8. 9 Mayıs 2019 tarih ve 1044 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararı sonrasında PV sisteminin fayda maliyet analizi.....	88

KISALTMALAR

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AC	Alternatif akım
AGM	Elektroliti separatörlere emdirilmiş
Ar-Ge	Araştırma-Geliştirme
CEF	Karbon emisyon faktörü
CPV	Yoğunlaştırılmış güneş paneli
DC	Doğru akım
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EİGM	Enerji İşleri Genel Müdürlüğü
EKKY	En küçük kareler yöntemi
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
GEPA	Güneş enerjisi potansiyel atlası
GES	Güneş enerjisi santrali
GPS	Küresel konumlama sistemi
HES	Hidroelektrik santrali
JRC	Ortak Araştırma Merkezi
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MTEP	Milyon ton eşdeğer petrol
NASA	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
OECD	Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
PV	Fotovoltaik
PVGIS	Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemleri
VER	Karbon kredisi fiyatı
VLRA	Sübapları ayarlanabilen kurşun asit
YEK	Yenilenebilir Enerji Kanunu
YEKDEM	Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması

SİMGELER

%	Yüzde
°C	Sıcaklık
GW	Gigawatt
GWh	Gigawattsaat
km ²	Kilometrekare
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattsaat
kWp	Kilowattpeak
m ³ /h	Metreküp/saat
m ³	Metreküp
m ²	Metrekare
mm	Milimetre
MTEP	Mega Ton Eşdeğer Petrol
MW	Megawatt
MWt	Megawattısı
W	Watt
W/m ²	Enerji
Wh/m ²	Işınım
q	Elektron Yüğü
k	Boltzmann Sabiti
T	Sıcaklık (Kelvin)
\$	Amerikan Doları Para Birimi
∂	Türev
∑	Toplam Sembolü
≈	Eşitlik
€	Avrupa Birliğı Para Birimi
lt/sn	Litre/saniye
n	Değişken Sayısı
X _i	Bağımlı Değişken
Y _i	Modelleme Sonucu Elde Edilen Bağımlı Değişken

ÖZET

DÜZCE ÇEVRESİNDE SU TEMİN UYGULAMASI İÇİN ŞEBEKE BAĞLANTILI 15 kWp GÜÇTEKİ PV SİSTEMİN FAYDA-MALİYET ANALİZİ

Ali YILDIZ

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Emin YILDIRIZ

Temmuz 2019, 94 sayfa

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı tüm dünyada hızla artmaktadır. Giderek artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için petrol, kömür, doğal gaz, vb. gibi fosil kaynakların tükenme endişesi olan ülkelerde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasını gerektirmektedir. Yaşam kaynağımız olan güneş enerjisi, dünyanın günlük ihtiyaçlarını milyonlarca yıl boyunca çevreye zarar vermeden karşılayabildiği açıktır. Güneş enerjisi çevre dostu, sürekli ve sürdürülebilir olduğundan, enerji kaynakları arasında önemlidir. Bu tez çalışması ile Düzce'deki yenilenebilir enerji potansiyelinin değerlendirilmesi, bölgede çevre dostu teknolojilerin kullanılması konusundaki farkındalığın artırılması ve bölgedeki üretici ve kurumların enerji maliyetlerinin azaltılması planlanmaktadır. Bu çalışma, civar köylerde bulunan içme suyu sondaj motorlarının tükettiği elektrik enerjisinin bir bölümünü veya tamamını yapılacak olan fotovoltaik tesis ile karşılamanın ve yerel halkın üzerindeki yükü azaltarak kazanç haline dönüştürmenin mümkün olduğunu vurgulamaktadır. Aynı zamanda, Düzce'de 15 kWp gücündeki bir fotovoltaik tesisin fayda maliyet analizine değinilerek bahse konu tesisin ne kadar bir sürede maliyetini amorti edeceği hesaplanmıştır. Yatırımcılara rehberlik sağlamanın yanında ülkemizin tamamı göz önüne alındığında bu çalışma birçok bölgeye de ışık tutacaktır.

Anahtar sözcükler: Yenilenebilir Enerji, Fotovoltaik, Elektrik Üretimi, Güneş Enerjisi.

ABSTRACT

COST-BENEFIT ANALYSIS ON-GRID 15 kW_p POWER PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR WATER SUPPLY APPLICATION IN THE VILLAGES OF DÜZCE

Ali YILDIZ

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Electrical Electronics
Engineering

Master's Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Emin YILDIRIZ

Temmuz 2019, 94 pages

The use of renewable energy sources is increasing rapidly all over the world. This necessitates the use of renewable energy resources in countries that are concerned about the depletion of fossil resources such as oil, coal, natural gas, etc. in order to meet the ever-increasing need for energy. It is clear that solar energy, our source of life, is able to meet the daily needs of the world for millions of years from day to day without harm to the environment. Because of solar energy is environment friendly, continuous and sustainable, it is important among energy sources. With this thesis, it is planned to evaluate the renewable energy potential in Düzce, to raise awareness of using environmental friendly technologies in the region and to reduce the energy costs of the producers and institutions in the region. This study emphasizes that it is possible to meet some or all of the electrical energy consumed by the drinking water drilling engines in the surrounding villages with the photovoltaic plant to be made and to reduce the burden on the local population to convert the gain. At the same time, the cost-benefit analysis of a 15 kW_p photovoltaic plant in Düzce was mentioned and it was calculated how much the cost of this plant would be amortized. In addition to providing guidance to investors, considering the whole of our country, this study will also shed light on many regions.

Keywords: Renewable Energy, Photovoltaic, Electricity Generation, Solar Energy.

1. GİRİŞ

Türkiye gelişen ve büyüyen bir ülke olduğundan enerji ihtiyacı giderek artmaktadır. Enerji bugünkü uygarlığımızın temel taşlarından biridir ve tüketim miktarı aynı zamanda bir toplumun gelişmişlik göstergesidir. Ülkemizin enerji ve doğal kaynaklara olan talebi, ekonomik büyüme ve nüfus artışı sebebiyle her geçen gün artış göstermektedir. 2002 yılından bu yana Türkiye, yıllık %5,5'lik büyüme oranıyla OECD üyeleri içerisinde elektrik talebinde en hızlı artış gösteren ülke olmuştur. Türkiye'nin kurulu gücü 2019 yılı Haziran ayı sonuyla 90 GW'tı aşmış olup, bu rakam ülkemizin kurulu gücünün son 15 yılda 3 kat arttığını ortaya koymaktadır [1]. Ancak ülkemiz enerji yönünden neredeyse %51 dışa bağımlı durumdadır. Bu nedenle ülkemiz yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik yatırımcılara hibe ve teşvik programları düzenlemekle kalmayıp lisanslı ve lisanssız elektrik üretimine bağlı olarak vergi muafiyet yöntemleriyle yatırımcılara destek sağlamaktadır.

Yenilenebilir enerjilerden olan güneş enerjisi ücretsiz, çevre açısından temiz ve dünyanın birçok yerinde bulunması, birçok uygulamada ekonomik olması dolayısıyla fosil yakıtlara alternatif bir enerji kaynağıdır. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli açısından Dünya Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası'nda belirlenen altı kuşak içerisinde dördüncü kuşakta olup Avrupa ülkeleri içerisinde İspanya, İtalya ve Yunanistan ile aynı kuşaktadır. Almanya ise beşinci kuşaktadır. Fakat Almanya ve İspanya tüm dünyada solar elektrik üretim teknolojilerine yapılan yatırımların yarısından fazlasını gerçekleştirmişlerdir. Bu tespit bile ülkemizin ciddi bir güneş potansiyeline sahip olduğunu, bu potansiyelden yeterince faydalanamadığını göstermektedir.

Düzce'de yaklaşık 279 köy ve 290 mahalle olmak üzere toplam 569 yerleşim yerinin su temini yeraltı su kaynaklarından, yüzeysel sulardan ya da içme suyu sondaj kuyusundan karşılanmaktadır. Kurulan tesislerin büyük bir bölümünde dalgıç pompa, yatay ve dikey pompa kullanılmaktadır. Bu sistemler Türkiye'de kırsal kesimlerin su temininde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Yerleşim yerlerinin dışında kurulan bu tesislerin ana kaynağı elektrik enerjisidir. Bahse konu tesislerin bakım onarımı ve elektrik faturası ödemesi gibi giderler köy ihtiyar heyetince köy bütçesinden karşılanmaktadır. Özellikle yaz aylarında

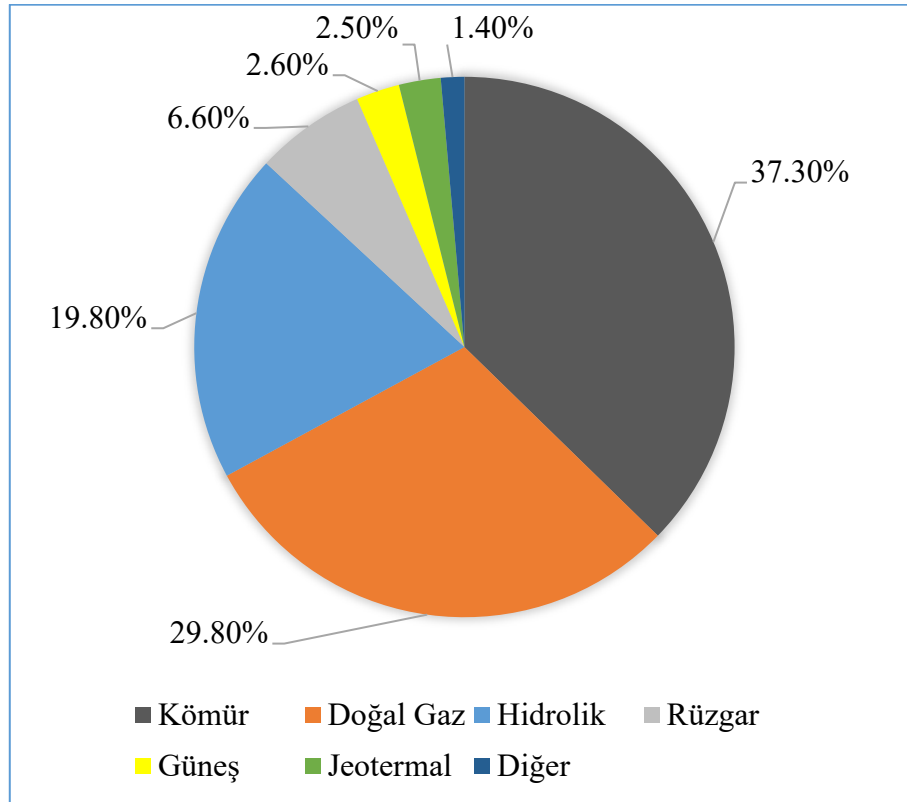
su ihtiyacının en üst düzeyde olması enerji ihtiyacı ve tüketiminin yoğunlaşması, artan elektrik maliyetleri köy bütçesine ağır bir yük getirmekte ve hizmetin sağlıklı bir şekilde köylüye ulaşması sektöre uğramaktadır. Bu çalışma ile sondaj kuyularının bulunduğu alanlarda güneş enerjisinden faydalanarak elektrik üretimi yapabilecek sistemlere yönelik çalışmalar üzerinde durulmuş ve hizmette devamlılığının sağlanması amaçlanmıştır.

Bu kapsamda yenilenebilir enerji potansiyelinin değerlendirilmesi, bölgede çevre dostu teknolojilerin kullanılmasına yönelik farkındalığın artırılması ve bölgedeki üreticilerin ve kurumların enerji maliyetlerinin azaltılması bu tezin temel hedeflerinden biridir.

Ayrıca bu çalışma ile Düzce ili ve köylerinde yaşayanların elektrik ve su ihtiyaçlarını yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamasının teşvik edilmesi amacıyla güneş enerjili dalgıç pompa sisteminde polikristal silisyum panelinin performans analiz raporuna ve 15 kWp güçteki bir fotovoltaik tesisinin fayda maliyet analizine yer verilerek yatırım yapmayı düşünen kişilere yol göstermek amaçlanmıştır.

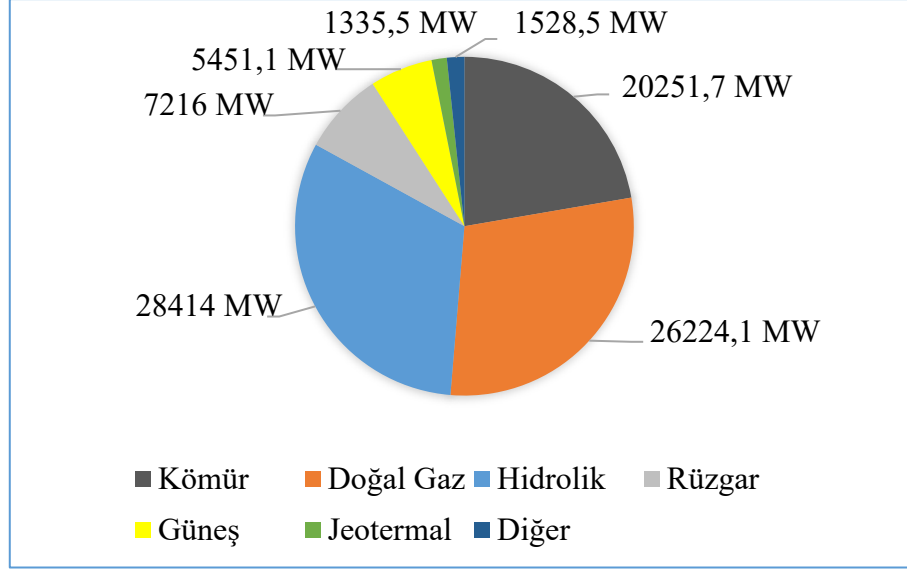
2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE TÜRKİYE'DEKİ MEVCUT DURUM

2018 yılında Türkiye elektrik enerjisi tüketiminde bir önceki yıla karşılaştırıldığında %2,2 artmış ve 303,3 milyar kWh değere ulaşmıştır. Aynı şekilde elektrik üretimi de bir önceki yıla karşılaştırıldığında %2,2 oranında artmış ve 303,9 milyar kWh değere ulaşmıştır. Üretilen elektrik enerjisinin kaynaklara göre dağılımı Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. 2018 yılı sonunda Türkiye'de üretilen elektriğin kaynaklara göre dağılımı.

2019 yılı Haziran ayı sonu itibarıyla Türkiye'nin kurulu gücü 90.420,9 MW'a ulaşmış olup kurulu gücün enerji kaynaklarına göre dağılımına bakıldığında sırasıyla yüzde 31,42 ile hidrolik enerjinin olduğu, ikinci sırada yüzde 29,0 ile doğal gaz yer aldığı, yüzde 22,4 ile üçüncü sırada kömürün olduğu, dördüncü sırada yüzde 7,98 ile rüzgâr enerjisi, beşinci sırada yüzde 6,02 ile güneş enerjisi, altıncı sırada yüzde 1,48 ile jeotermal enerji ve son olarak yüzde 1,7'si ise diğer kaynaklar şeklinde sıralanabilir [2].



Şekil 2.2. 2019 yılı Haziran ayı itibarıyla Türkiye'ye ait kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı.

2.1. YENİLENEBİLİR ENERJİ TÜRLERİ

Enerji, ülkelerin ekonomik anlamda kalkınmaları için çok önemli bir yere sahiptir. Dünyada ve Türkiye'de enerjiye duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bununla birlikte enerjiyi yenilenebilen ve yenilenemeyen enerji kaynakları olarak ikiye ayırdığımızda, Dünyada ve Türkiye'de yoğunlukla yenilenemeyen enerji kaynakları olarak bilinen fosil kaynaklar kullanılmaktadır. Fosil kaynaklar içerisinde en çok kullanılan kaynaklar ise petrol, doğalgaz ve kömür yer almaktadır. Fakat bu kaynaklar hem uzun dönemli gelecek vadetmemekte, hem de çevre kirliliği sorununu arttırmaktadır. Bu nedenle yenilenebilir ve temiz enerji kaynakları dünya hükümetlerinin gündemlerinde daha fazla yer almaya başlamış, yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen önem her geçen gün artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları olarak bilinen kaynaklar ise hidroelektrik enerji, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal enerji ve biyokütle enerjisidir [3]. Ayrıca bunlara ilave olarak dalga enerjisi ve hidrojen enerjisini de sayabiliriz.

2.1.1. Hidroelektrik Enerji

Hidroelektrik enerjisi hidroelektrik santrallerinden (HES) sağlanır. Akan suyun gücünü elektriğe çevirirler. Hızla Akan su içindeki enerji miktarını suyun akış ya da düşüş hızı belirler. Akarsu ya da Nehir'de akan su, büyük oranda enerjiyi beraberinde taşımaktadır. Öte yandan su çok yüksek bir noktadan düşürüldüğünde aynı oranda hatta fazlasıyla

enerji sağlanır. İki şekilde de kanal ya da borular içine alınan su, türbinlere doğru akar, elektrik üretimi için pervane gibi kolları olan türbinlerin dönmesi sağlanır. Jeneratörlere bağlı olan türbinlerin mekanik enerjisiyi elektrik enerjisine dönüştürmesiyle enerji üretilmiş olur. Ülkemize baktığımızda 36.000 MW güçte bir hidroelektrik potansiyeline sahip olduğunu görürüz [4]. Hidroelektrik enerjisi dikkatli ve duyarlı bir kurulum yapıldığı takdirde çevreye olumsuz bir etkisi yoktur. Ancak inşaat aşamasında ağaçların yok edilmesi, atık türbin yağlarının suya karışması hem su kalitesine hem de suda yaşayan canlılara olumsuz etkisi edebilmektedir.

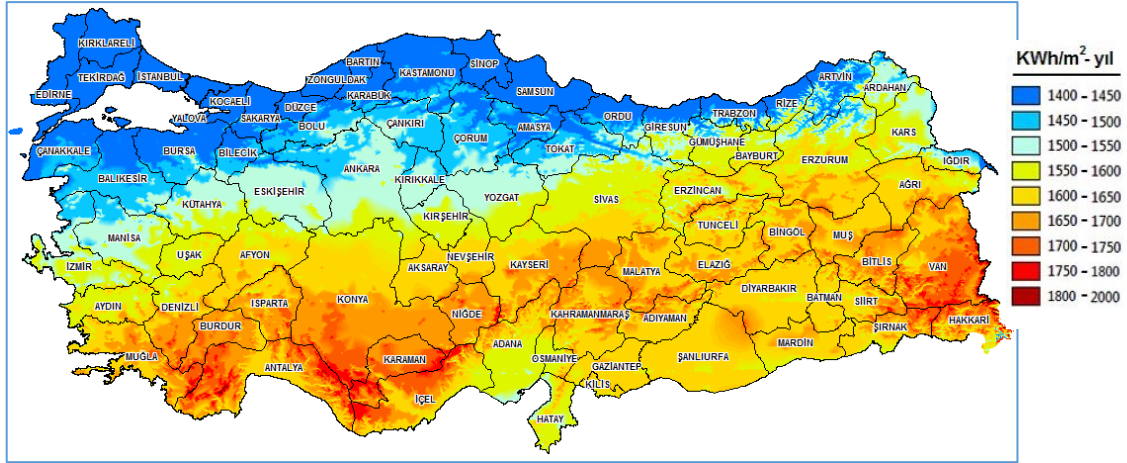
2.1.2. Rüzgâr Enerjisi

Yeryüzünde ısınan ve soğuyan havadan kaynaklı basınç farkları, yeryüzünde hava akımlarına neden olmaktadır. Bu hava akımlarına rüzgâr denmektedir. Yeryüzünde oluşan bu rüzgârlar aracılığı ile enerji elde edilmekte, bu enerji de elektrik üretiminde kullanılabilir. Rüzgâr enerjisinin çeşitli avantajları vardır. Bunlar arasında doğada bol miktarda bulunması, çevreyi kirletmemesi, tükenme olanağının bulunmaması gibi faktörler yer almaktadır. Yerli bir enerji kaynağı olması nedeniyle fosil yakıtlar gibi dışa bağımlılık yaratmaz. İlk kurulum maliyetleri yüksek olsa da sonrasında bakımı ve işletilmesi oldukça az maliyetlerle yapılabilir. Türkiye rüzgâr enerjisi potansiyel atlasına göre 48.000 MW kapasiteye sahip olduğu ifade edilmektedir [5]. Rüzgâr enerjisi kurulum aşamasında ağaçların yok edilmesi söz konusu olabilmekte ve santralin kuş göç yolları üzerine inşa edilmesi çevrede doğabilecek olumsuz etkilerden bazılarıdır.

2.1.3. Güneş Enerjisi

Güneşin çekirdeğinden çıkan ışınlar dünyaya içinde enerji potansiyeli barındırarak ulaşmaktadır. Bu ışınların önemli bir kısmı atmosfere ulaşmadan etkisini yitirse de, dünyaya ulaşan miktar bile tüm insanlığın enerji ihtiyacından oldukça fazladır. Bu açıdan güneş ışınlarının içinde barındırdığı enerjinin değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Güneş pilleri vasıtası ile güneş ışınları soğurularak elektrik üretimi gerçekleştirilir. PV (Fotovoltaik) teknolojisi, gelen güneş ışınlarının dağınık bileşenlerini kullanır ve fotoelektrik etki prensibine göre güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çevirir.

2018 yılında Türkiye'de toplam 303.900 GWh elektrik üretilmiş olup güneş enerjisi kullanılarak toplamda 7.901,4 GWh elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir. Türkiye'de elektrik üretiminde en az faydalanılan kaynaklardan biri de güneş enerjisidir.



Şekil 2.3. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli [6].

Çizelge 2.1. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [7].

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m ² -yıl)	Güneşlenme Süresi (saat-yıl)
G. Doğu Anadolu	1.648	2.845
Akdeniz	1.548	2.737
Doğu Anadolu	1.528	2.615
İç Anadolu	1.523	2.519
Ege	1.481	2.563
Marmara	1.329	2.250
Karadeniz	1.305	1.929

Güneş enerjisi yenilenebilir ve kirlilik oluşturmeyen, temiz bir enerji kaynağıdır. Nüfusun ve sanayileşmenin giderek artması ile dünyada enerji ihtiyacı artış göstermektedir. Petrol ve doğalgaz kaynaklarının azalması ile veya bu kaynaklara sahip olmayan ülkelerde artan enerji ihtiyacına cevap verebilmek oldukça sıkıntılı bir hal almaktadır. Bu sebeple daha temiz ve daha düşük maliyetli olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek bu sorunun giderilmesine katkı sağlayacaktır. Güneş enerjisinin elektrik üretimindeki payı gün geçtikçe daha da artmakta ve bu alanda yapılan çalışmalar da giderek önem kazanmaktadır.

2.1.4. Jeotermal Enerji

Jeotermal, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, kimyasallar içeren sıcak su, buhar ve gazlardır. Jeotermal enerji de bu jeotermal kaynaklardan ve bunların oluşturduğu enerjiden doğrudan veya dolaylı yollardan faydalanmayı kapsamaktadır. Jeotermal enerji yeni, yenilenebilir, sürdürülebilir, tükenmez, ucuz,

güvenilir, çevre dostu, yerli ve yeşil bir birincil enerji kaynağıdır. İçinde su bulunmayan sıcak kuru kayalar da jeotermal enerji kaynağı olarak sayılabilir. Yenilenebilir, sürdürülebilir, tükenmeyen bir enerji kaynağı olması, Türkiye gibi jeotermal enerji bakımından zengin ülkeler için bir öz kaynak oluşturması, temiz ve çevre dostu olması, atmosferi olumsuz etkileyecek herhangi bir yanma teknolojisi kullanılmaması ve dolayısıyla emisyon bakımından sıfıra yakın bir değere sahip olması, konutlarda, tarımsal faaliyetlerde, endüstriyel alanlarda, sera ısıtmasında ve buna benzer alanlarda çok amaçlı ısıtma uygulamaları için çok ideal şartlar sunması; rüzgar, yağmur, güneş gibi meteoroloji şartlarından bağımsız olması ve etkilenmemesi; fosil veya diğer enerji kaynaklarına göre çok daha ucuz ve kullanıma hazır nitelikte olması; arama kuyularının doğrudan üretim tesislerine ve bazen de reenjeksiyon alanlarına dönüştürülebilmesi; yangın, patlama, zehirlenme gibi risk faktörleri olmadığından güvenilir olması; % 95'in üzerinde verimlilik elde edilebilmesi; diğer enerji türleri üretiminin (hidroelektrik, güneş, rüzgar, fosil enerji) aksine tesis alanı ihtiyacının asgari düzeylerde kalması; yerel niteliği nedeniyle ithalinin ve ihracının uluslararası konjonktür, krizler, savaşlar gibi faktörlerden etkilenmemesi; konutlara fuel-oil, mazot, kömür, odun taşınması gibi problematik süreçler içermediği için yerleşim alanlarında kullanımının kolay olması gibi nedenlerden dolayı büyük oranda yarar sağlamaktadır [8].

Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyeli oldukça yüksek olup jeotermal alanların %78'i Batı Anadolu'da, %9'u İç Anadolu'da, %7'si Marmara Bölgesi'nde, %5'i Doğu Anadolu'da ve %1'i diğer bölgelerde yer almaktadır. Jeotermal enerji kaynaklarımızın %90'ı düşük ve orta sıcaklıkta olup doğrudan uygulamalar (ısıtma, termal turizm, çeşitli endüstriyel uygulamalar vb.) için elverişli iken, %10' u ise dolaylı uygulamalar (elektrik enerjisi üretimi) için uygundur [9].



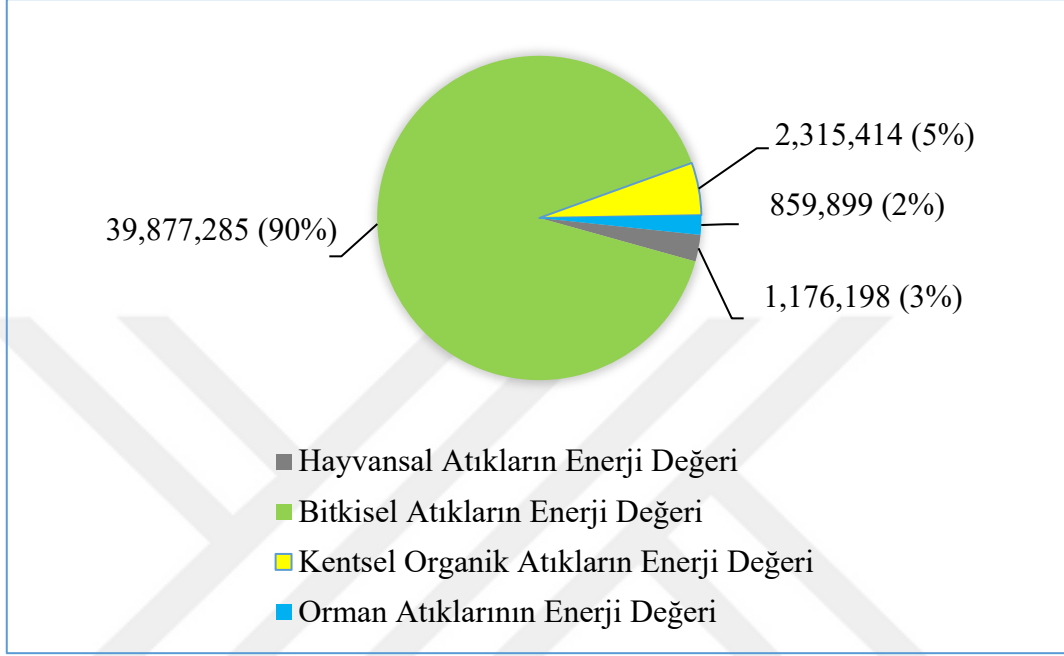
Şekil 2.4. Türkiye’de nanotektoniği-volkanik etkinliği ve jeotermal alanlar [10].

Şekil 2.4 incelendiğinde Türkiye jeotermal kaynak bakımından zengin olduğu anlaşılmaktadır. Bu kaynakların kullanım miktarının artırılması önemlidir. Türkiye'nin jeotermal kaynaklardan daha fazla yararlanması için bu alana daha fazla yatırım yapması gerekmektedir. Türkiye'nin teorik olarak jeotermal enerji potansiyeli 31.500 MWt olduğu kabul edilmektedir [11].

2.1.5. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle enerjisi biyo ve kütle kelimelerinden görüleceği gibi biyolojik atıklar vasıtası ile enerji elde etme sürecidir. Biyokütle enerjisi tükenmeyen bir kaynak türü olması, her alanda elde edilebilmesi mümkün olan, bilhassa kırsal kesimler için sosyo-ekonomik gelişmelere katkı sağlaması nedeniyle uygun ve önemli bir enerji kaynağı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu atıklar hayvansal veya bitkisel olabilir. Biyokütle enerjisi için mısır, buğday gibi özel olarak yetiştirilen bitkiler kullanılabilir gibi bunlara ilaveten otlar, yosunlar, büyükbaş veya küçükbaş hayvan dışkıları, ekinler, sazlıklar, yaşlanmış ağaçlar, evlerden atılan tüm organik çöpler (meyve ve sebze artıkları) enerji üretiminde kullanılabilir. Hayvan dışkıları gaz enerjisine dönüştürülerek (biyogaz) elektrik üretilmektedir. Benzer şekilde bitkilerde ise yakıt oluşturarak (biyodizel) enerji üretilmektedir. Hayvan dışkılarının sahada toplanması vasıtası ile gaz elde edilmekte ve gaz türbinleri vasıtası ile elektrik üretilmektedir. Bunun yanında, atıklar çürüme yöntemi ile metan gazı elde edilmektedir. Bu gaz ise ısıtma amaçlı değerlendirilmektedir. Türkiye'nin biyokütle atık potansiyelinin yaklaşık 44,2 milyon eşdeğer petrol

(MTEP) olduğu ve üretilebilecek biyogaz enerji miktarının 1,5-2 MTEP değerler arasında olduğu tahmin edilmektedir. Biyokütle enerji kaynaklı tesislerden üretilen elektrik enerjisi miktarına baktığımızda 2018 yılında 2.266 GWh elektrik üretimi gerçekleştirilmiş olduğu belirtilmektedir [12],[13]. 2019 yılı Haziran ayı itibarıyla biyokütle enerjisi 694,5 MW'lık kurulu güce sahiptir [2].



Şekil 2.5. Türkiye'nin biyokütle potansiyeli (TEP/Yıl) [14].

2.1.6. Dalga Enerjisi

Dünya yüzeyindeki ısı farklılıkları neticesinde meydana gelen ve denizlerdeki dalgalanmalardan ortaya çıkan enerjiye dalga enerjisi ismi verilir. Kısacası dalga enerjisi deniz dalgalarından elde edilmektedir. Dalga enerjisi daha çok Avrupa ülkeleri tarafından tercih edilen ve yeni yeni kullanımına başlanılan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Dalga enerjisi diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha yenidir. Bu fikir 1800'lü yıllara dayanmasına rağmen uygulanabilir olması ve yeterli teknolojik yetkinliğe ulaşılması 1970'li yılları bulmuştur. 1973 yılında enerji krizi etkisi ile İngiltere'de Stephen Salter "Salter Ördeği" denilen dalga enerjisinden elektrik enerjisi üretmeyi başarmıştır. Ancak krizin sona ermesi ile petrole olan talep tekrar artmış ve bu enerji sisteminin üretilmesi ve geliştirilmesi rafa kaldırılmıştır. Son zamanlarda ise tekrar gündeme gelerek 2008 yılında Portekiz'de dalga enerjisi çiftliği kurulmuştur. Fakat 2,25 MW gücü olan bu sistemin ömrü 2 aydan fazla olmamıştır. 2016 yılında ise İngiltere'de 10 MW güce sahip "Wave Hub" kurulmuş ve hala elektrik üretimine devam etmektedir [12].

2.1.7. Hidrojen Enerjisi

Hidrojen, evrende en basit ve en çok bulunan element olup rengi ve kokusu olmayan, havadan çok daha hafif ve tamamen zehirsiz olan bir gazdır. Güneş ve diğer yıldızların termonükleer tepkime sonucu ortaya çıkan ısının yakıtı olup evrenin temel enerji kaynağından biridir. -252,77 °C’de sıvı hale dönüşebilirler. Sıvı hidrojenin hacmi gaz halindeki hidrojenin hacminin yalnızca 1/700’ü kadardır. Bilinen tüm yakıtlar ile karşılaştırıldığında birim kütle başına en fazla enerji içeren bir yapıya sahiptir. 1 kg hidrojenin verdiği bir enerjiyi ancak 2,1 kg doğalgaz ya da 2,8 kg petrol verebilmektedir. Fakat birim enerji başına hacmi yüksek olup doğada serbest halde bulunmaz, bileşikler halinde bulunur. En çok bilinen ve günümüzde de çok kullanılan bileşiği ise H₂O yani “su”dur.

Isı ve patlama enerjisi gerektiren her alanda kullanımını kolay ve temiz olan hidrojenin yakıt olarak kullanıldığı enerji sistemlerinde, atmosfere atılan ürün sadece su ya da su buharı olmaktadır. Hidrojenden enerji elde edilmesi aşamasında çevreyi kirleten veya sera etkisini artıran hiçbir gaz ve zararlı kimyasal madde üretimi söz konusu değildir. Petrol yakıtları ile karşılaştırıldığında daha verimli bir yakıt olma özelliği taşımaktadır. Hidrojenin yakıt olarak kullanıldığı ve kimyasal enerjinin doğrudan elektrik enerjisine çevrildiği sistemler yakıt hücreleri olarak ifade edilmektedir. Yeni geliştirilen bu sistemlerde hidrojen, doğrudan ya da hidrojen salan herhangi bir kaynak vasıtasıyla sisteme verilmekte ve istenilen enerji elde edilmektedir.

Elektrik, 20. yüzyılın en önde gelen enerji türlerinden biridir. Hidrojenin ise 21. yüzyılın en önemli bir diğer enerji türü olacağı tahmin edilmektedir. Evrende en çok bulunan yanıcı bir gaz olup bilinen bu en hafif element dünyada da çok fazla miktardadır. Fakat serbest halde olmayıp su molekülü içerisinde bulunmaktadır. Doğal bir yakıt olmayıp birincil enerji kaynaklarından yararlanılarak farklı hammaddelerden üretilen sentetik (yapay) bir yakıt özelliği taşımaktadır.

Yenilenebilir Enerji kaynaklarının çevreye etkileri fosil yakıtlara göre çok dar ve kısıtlıdır. Ayrıca doğaya salınan karbon miktarının (çevreyi kirletme hakkı) alınıp satılabilen ve fiyatı olan ticari bir mal haline getiren Kyoto Protokolü, küresel ısınmanın etkilerini azaltmak için fosil yakıtların kullanımının azaltılması ve karbon emisyonun düşürülmesini amaçlamaktadır. Bu tür oluşumlar yenilenebilir enerji kaynaklarının ne kadar önemli olduğunu bizlere göstermektedir.

2.2. TÜRKİYE'DE YENİLENEBİLİR ENERJİ POTANSİYELİ

Yenilenebilir enerji potansiyeli bakımından Türkiye oldukça zengindir. Fakat Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyeli ile bu enerjinin kullanım miktarlarına bakıldığında, bu zenginliğin etkin bir şekilde değerlendirilmediği görülmektedir. Türkiye'nin cari işlemler dengesinin açık verdiği, her geçen gün bu açığın arttığı ve cari işlemler açığının temel nedenlerinden birinin de enerjide dışa bağımlı olmamız göze önüne alınır, var olan bu enerji potansiyelinin kullanılabilmesi uzun vadede önem arz etmektedir [15].

Çizelge 2.2. Türkiye'nin yenilenebilir enerji potansiyeli ve mevcut durum [2], [5], [9], [12], [16].

Yenilenebilir Enerji Türü	Enerji Potansiyeli (Yıllık)	2018 Yılı Sonu Toplam Üretim Miktarı	2019 Haziran İtibarıyla Toplam Kurulu Güç
Rüzgâr	48.000 MW	20,01 milyar kWh	7216 MW
Güneş	1.527 kWh/m ²	7,9 milyar kWh	5451,1 MW
Hidroelektrik	158 milyar kWh ¹	60,17 milyar kWh	28414 MW
Jeotermal	31.500 MW	7,60 milyar kWh	1335,5 MW
Biyogaz	1,5-2 MTEP	2,27 milyar kWh	694,5 MW

Çizelge 2.2 incelendiğinde Türkiye'nin yıllık rüzgâr enerjisi potansiyeli 48.000 MW olduğu, 2018 yılında rüzgar enerjisinden toplamda 20,01 milyar kWh elektrik enerjisi üretildiği, rüzgâr enerjisi santrallerinin 2019 yılı Nisan ayı itibarıyla toplam 7216 MW kurulu güce sahip olduğu tespit edilmiştir.

Yıllık toplam güneş enerjisi potansiyeli Türkiye'de 1.527 kWh/m² olduğu, ülkemizde 2018 yılında 7,9 milyar kWh elektrik üretildiği ölçülmüş olup 2019 yılı Nisan ayı itibarıyla toplam güneş enerjisi santralının mevcut kurulu gücü 5451,1 MW'tır.

Türkiye'nin teorik olarak hidroelektrik potansiyeli, dünyadaki teorik olarak hidroelektrik potansiyelinin %1'ine denk gelmekte ve ekonomik potansiyeli ise Avrupa ekonomik potansiyelinin %16'sını oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları içinde hidrolik kaynaklar, en önemli yere sahiptir. Türkiye'nin hidroelektrik kaynaklarının teorik olarak potansiyeli 433 milyar kWh' tır. Bunun teknik olarak değerlendirilebilir potansiyeli 216

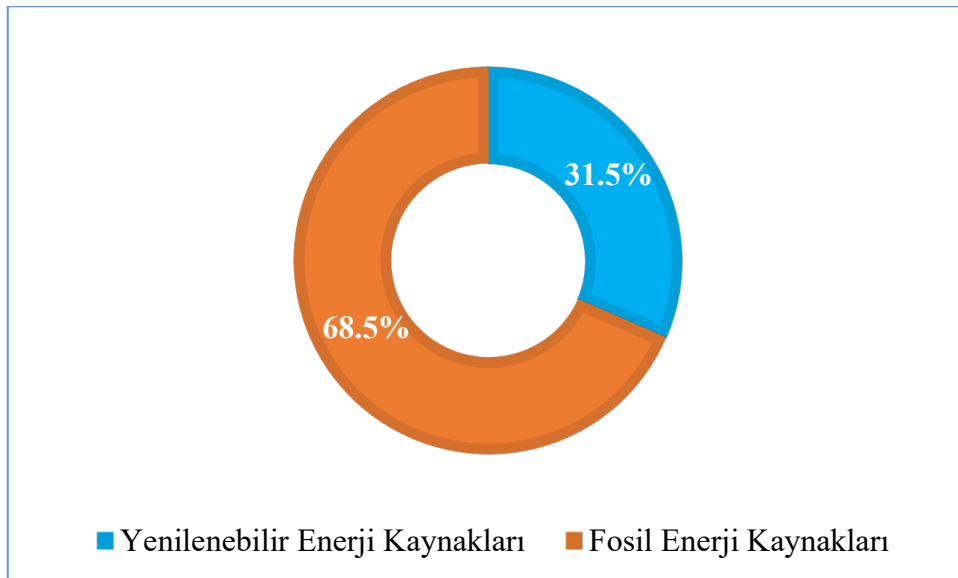
¹ Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü "DSİ 2018 Yılı Faaliyet Raporu" (s.50)

milyar kWh olup, hidroelektrik enerji potansiyelinin ekonomik değeri ise 158 milyar kWh/yıl'dır. Türkiye'de 2018 yılında hidroelektrik kaynaklardan 60,17 milyar kWh elektrik üretilmiştir. 2019 yılı Nisan ayı itibarıyla toplam hidroelektrik enerji santrali kurulu gücü 28414 MW 'tır.

Jeotermal kaynakların sadece %10'u elektrik enerjisi üretimi için uygundur. Bunun nedeni kaynaklarımızın düşük ve orta sıcaklıkta olmasıdır. Dünyadaki jeotermal enerji kurulu gücü 2018 yılı sonu itibari ile yaklaşık olarak 14.600 MW civarındadır. Jeotermal enerjiyi elektrik enerjisi üretiminde kullanan ilk beş ülke sırasıyla ABD, Endonezya, Filipinler, Türkiye ve Yeni Zelanda'dır [17]. Türkiye'de 2018 yılında jeotermal enerji aracılığı ile 7,60 milyar kWh elektrik üretilmiştir. Türkiye'nin 2019 yılı Nisan ayı itibarıyla toplam jeotermal kaynağa sahip mevcut kurulu güç 1335,5 MW 'tır.

Türkiye'deki biyokütle enerji atık potansiyelinin yaklaşık olarak 44,2 milyon ton eşdeğer petrol (MTEP) olduğu ve üretilebilecek olan biyogaz miktarının ise 1,5-2 MTEP olduğu düşünülmektedir. Biyokütle kaynaklı toplam kurulu güç 694,5 MW olup bu tesislerden 2018 yılında yaklaşık 2,27 milyar kWh elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilmiştir.

Şekil 2.6' da 2018 yılında Türkiye'de üretilen toplam elektrik enerjisinin payları yer almaktadır. Bu verilere göre Türkiye'de üretilen elektriğin % 31,5'i akarsu, rüzgâr, güneş, jeotermal kaynaklar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilirken üretilen elektriğin % 68,5'i ise doğalgaz, kömür, fuel-oil, nafta gibi fosil kaynaklardan elde edilmiştir.



Şekil 2.6. 2018 yılında Türkiye'de üretilen toplam elektrik enerjisinin payı.

Şekil 2.6'e bakıldığında 2018 yıl sonu itibarıyla Türkiye elektrik üretiminde hala yenilenemeyen, fosil kaynaklara bağımlı olduğu, yenilenebilir enerji kaynaklardaki payın düşük olduğu ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretiminde payının artırılması gerektiği anlaşılmaktadır.

3. DÜZCE’NİN KONUMU VE GÜNEŞ POTANSİYELİ

Yüzölçümü 739,1 km² olan Düzce, Batı Karadeniz Bölgesinde yer alır. İlin güney bölümünde kalan topraklar İç Anadolu Bölgesinin özelliklerini ihtiva eder. Düzce ili Merkez ilçe ile birlikte toplamda 7 ilçe, 2 Merkeze bağlı belde, 301 köye sahip bir il merkezidir. İstanbul-Kocaeli-Sakarya-Ankara gibi önemli merkezleri birbirine bağlayan kara yolları Düzce’de birleşir. Jeopolitik konum özelliği sebebiyle Düzce, yolların kesiştiği, bölgelerin birbirine bağlandığı önemli ve merkezi bir konumundadır.



Şekil 3.1. Düzce’nin coğrafi konumu.

Düzce, güney ve doğusunda Bolu, batısında Sakarya, kuzeydoğuda bölümünde Zonguldak illeri ile komşudur. Denizden yüksekliği 160 m. olup, 40.83° kuzey enlemi, 31.16° doğu boylamı üzerinde yer almaktadır.

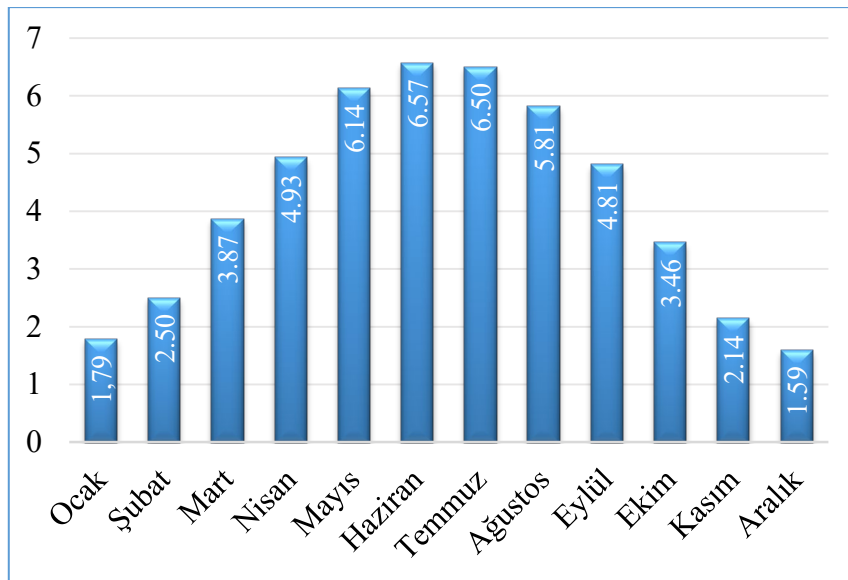
Bölgesinden de anlaşılacağı üzere Düzce ilinde Karadeniz iklimi hüküm sürer. Düzce’nin iklimsel yapısı yazları sıcak ve yağışlı, bahar mevsimleri ılık ve yağışlı, kışları ise soğuk ve yağışlı olarak tanımlanır. 160 metre yüksekte kurulu olan Düzce iline ait 1959-2018 yılları arasındaki meteorolojik gözlemlere dayanan değerler incelendiğinde yıllık ortalama sıcaklığı 13,4 °C’dir. En soğuk ay ortalaması 0,4 °C olan ilin en sıcak ay ortalaması ise 29,1 °C’dir. Kaydedilen en düşük sıcaklık -20,5 °C iken 42,4 °C’de ilin kaydedilen en yüksek sıcaklığıdır. Bahar mevsimlerinde yağmurların görüldüğü, kışların kar yağışlı geçtiği Düzce ilinin yıllık bazda yağış ortalaması ise 827,4 mm’dir [18].

Düzce il merkezinde bir adet gözlem istasyonu bulunmakla birlikte, 1959-2018 yılları arasındaki meteorolojik gözlemlere dayanan değerler Çizelge 3.1’de gösterilmiştir [19].

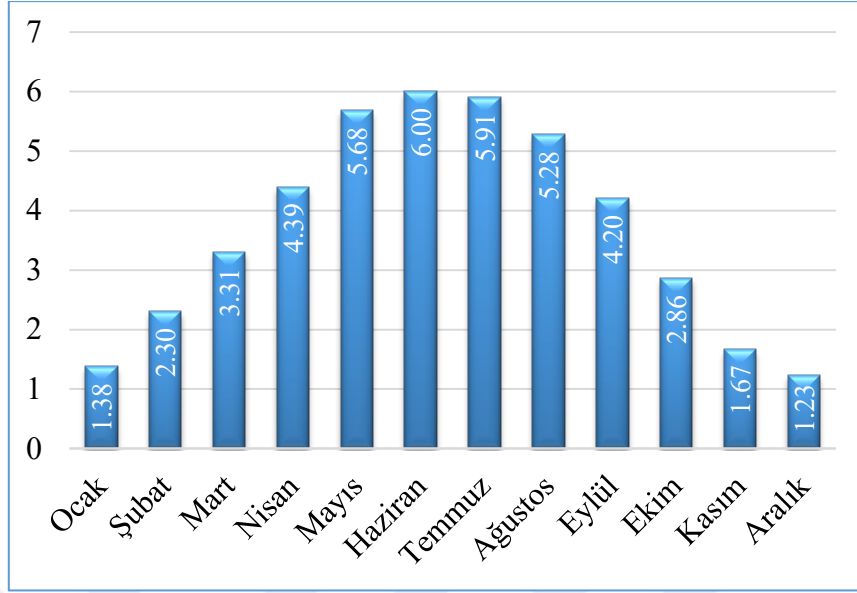
Çizelge 3.1. Düzce iline ait ortalama sıcaklık değerleri.

Aylar	Ortalama Sıcaklık Değerleri (°C)
Ocak	3,8
Şubat	5,3
Mart	7,9
Nisan	12,4
Mayıs	16,7
Haziran	20,6
Temmuz	22,6
Ağustos	22,4
Eylül	18,8
Ekim	14,3
Kasım	9,6
Aralık	5,8
Yıllık Ortalama Sıcaklık Değeri	13,4

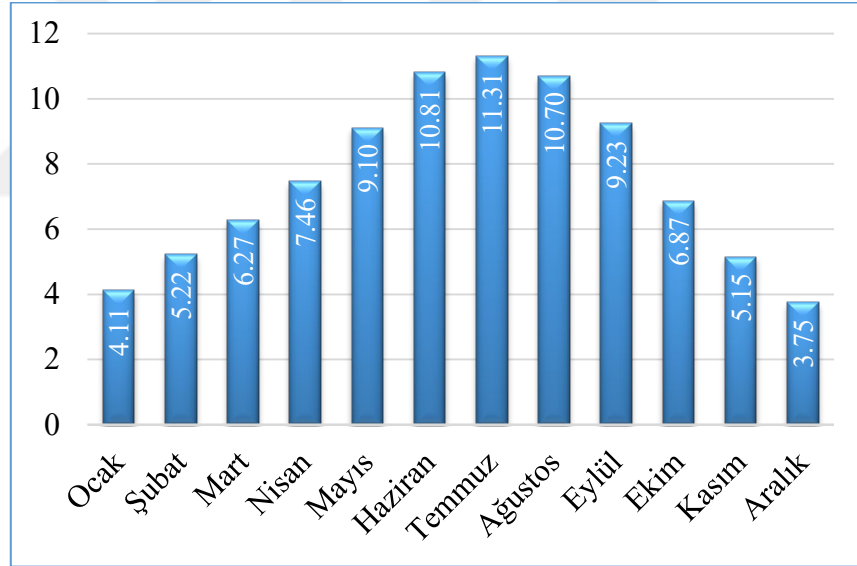
Türkiye, coğrafi konumundan dolayı sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli bakımından birçok ülkeye nazaran avantajlı halde olup mevcut durumda sahip olunan potansiyel orta kuşak ikliminde yer almasından dolayı güneş enerjisinden yararlanma konusunda üstünlük sağlamaktadır. Aşağıdaki şekillerde Türkiye’nin ve Düzce’nin güneşlenme süresi ve radyasyon değerleri gösterilmektedir [6], [20].



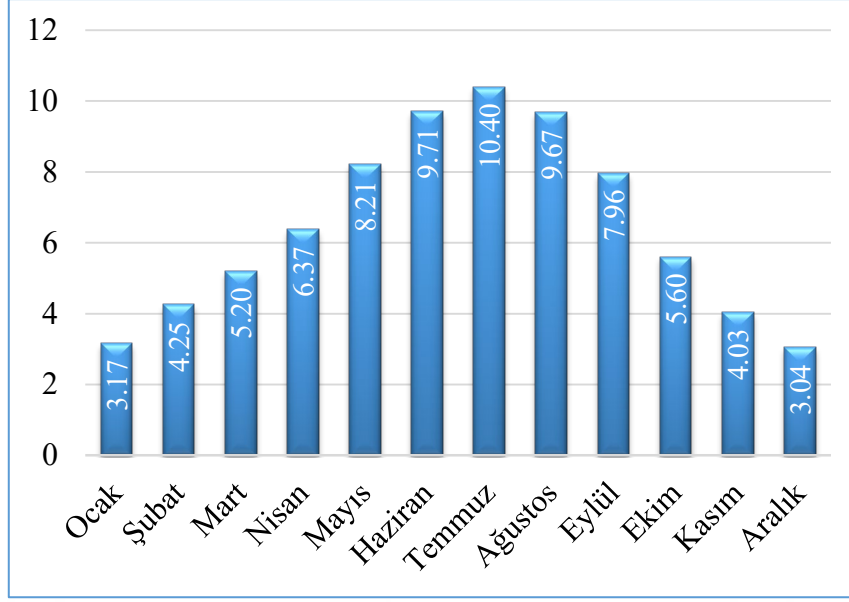
Şekil 3.2. Türkiye’ye ait global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün).



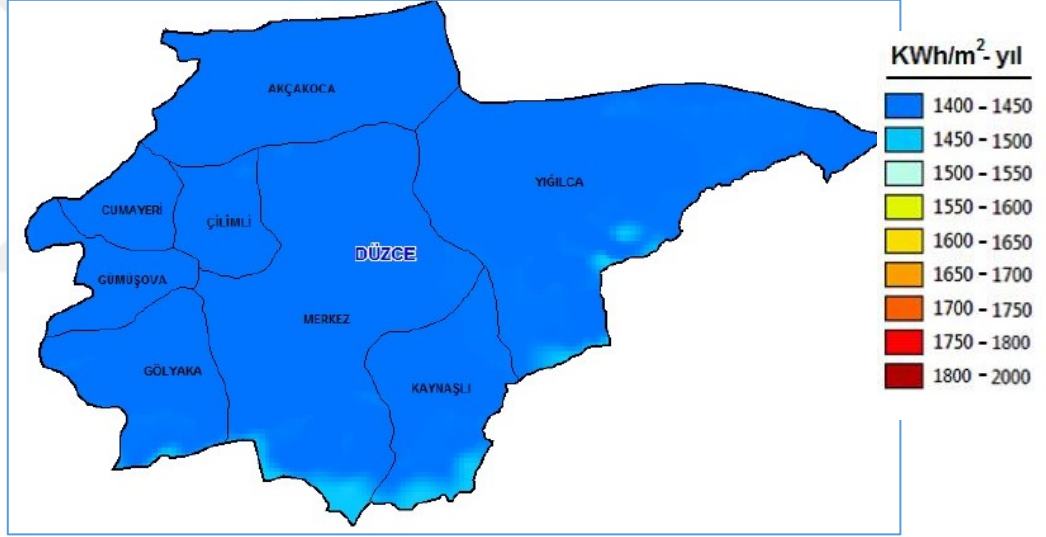
Şekil 3.3. Düzce'ye ait global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün).



Şekil 3.4. Türkiye'ye ait güneşlenme süresi (saat).



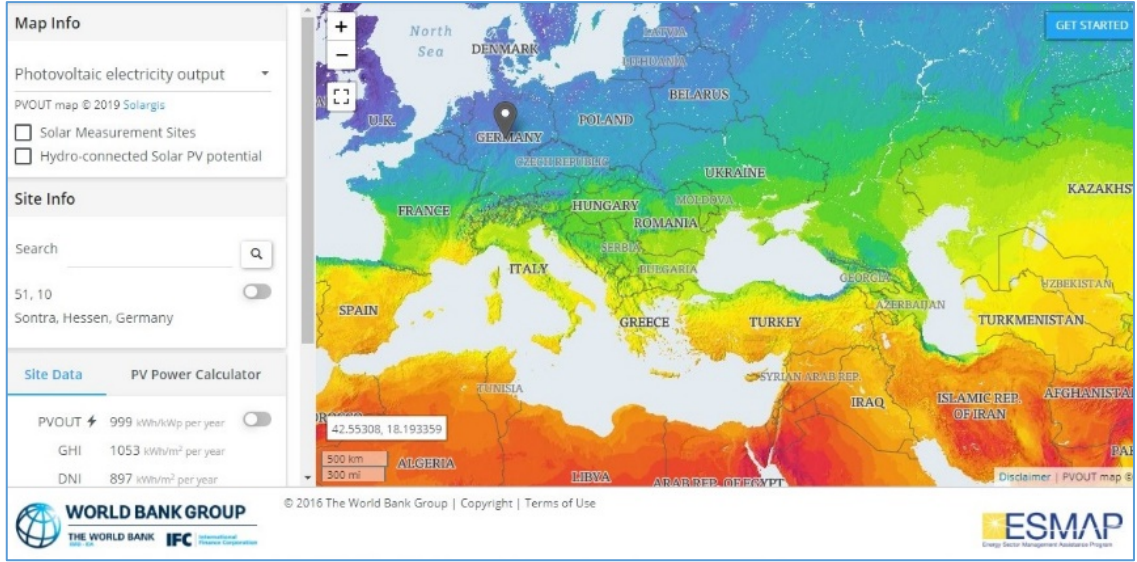
Şekil 3.5. Düzce'ye ait güneşlenme süresi (saat).



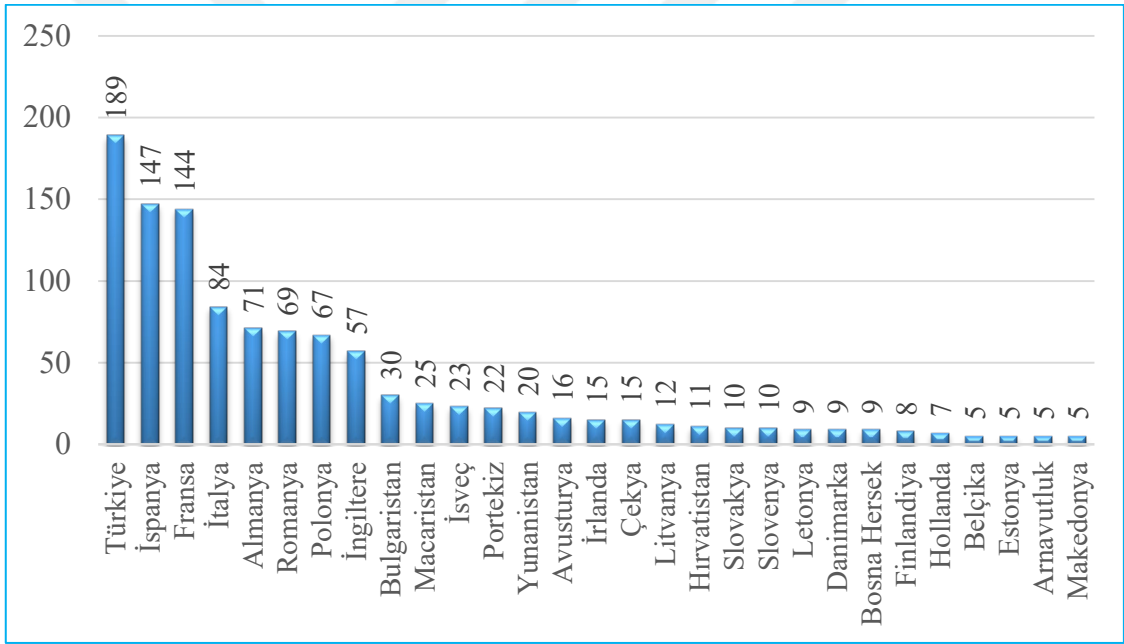
Şekil 3.6. Düzce'nin güneş radyasyon değerleri.

Bir bölgeyi güneş enerjisi bakımından değerlendirebilmek için başta o bölgenin radyasyon (ışınım) değerlerine bakılması gerekmektedir. Bu bakımdan Şekil 3.6'da Düzce iline ait güneş radyasyon değerlerine bakıldığında genelde 1400-1450 kWh/m²-yıl arasında, bazı sınır bölgelere yakın noktalarda ise çok az alanda da olsa 1450-1500 kWh/m²-yıl olduğu görülmektedir [20].

Yukarıdaki grafikler incelendiğinde günlük ortalama radyasyon değeri 3,68 kWh/m², aylık ortalama radyasyon değeri 112,277 kWh/m², aylık ortalama sıcaklık 13,4 °C, aylık ortalama güneşlenme süresi 6,46 saat olduğu görülmektedir. Tüm bu değerler Düzce'nin Avrupa'ya göre şanslı bir konumda olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.7. Global PV elektrik üretimi kapasite atlası [21].



Şekil 3.8. Güneş enerjisi teknik potansiyelinin Avrupa ülkelerine göre dağılımı (GWh/yıl) [15].

Güneş enerjisi santralleri için ışınım değerleri en önemli değişkenlerden birisi olarak tanımlanmaktadır. Fizibilite çalışmaları aşamasında bir güneş enerjisi tesisinin üretebileceği enerji miktarı tahmin edilirken ölçüm istasyonlarından elde edilen ışınım değerleri kullanılmaktadır. Fakat ölçüm yapılan istasyonlarda meydana gelebilecek herhangi bir hata dolayısıyla tek bir ölçüm noktasından elde edilen verilerin hatalı olması bizleri yanlış sonuçlara götürecektir. Bu sebeple güneş enerjisi fizibilite çalışmaları yapılacağı zaman kabul görmüş farklı ölçüm istasyonlarından alınan bilgilerin

kullanılması yararlı olacaktır. Ayrıca tesisin yapılacağı alanda kurulacak bir ölçüm istasyonu aracılığıyla da birebir ölçümler yapmak fizibilite çalışmalarının hassasiyetini daha da arttıracak unsurlar olarak tanımlanabilir [22].

Işınım değerlerini daha hassas bir şekilde ele alabilmek için bu tez çalışması sırasında Düzce ili için 4 farklı veri tabanından alınan veriler kullanılmaktadır. Bu veriler sırasıyla Avrupa Birliği Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemleri Veri Tabanı (PVGIS) , Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA), Meteororm ve Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA)’nden alınan değerler göz önünde bulundurulacaktır.

Avrupa Birliği Fotovoltaik Coğrafi Bilgi Sistemleri Veri Tabanı (PVGIS) , Avrupa Birliği (AB) bünyesinde, Ortak Araştırma Merkezi (JRC)’nin hazırladığı global radyasyon haritası Avrupa ve Afrika ülkelerini kapsamaktadır [23].

PVGIS veri tabanına göre elde edilen Düzce iline ait aylık ve yıllık global radyasyon değerleri Çizelge 3.2’de sunulmaktadır. Çizelge 3.2’de görüldüğü üzere PVGIS veri tabanına göre Düzce ili için yıllık ışınım değeri 1438,4 kWh/m² olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.2. PVGIS veri tabanına göre Düzce’nin aylık ve yıllık global ışınım değeri.

Aylar	PVGIS (kWh/m ²)
Ocak	45,1
Şubat	63,1
Mart	96,6
Nisan	139
Mayıs	174
Haziran	193
Temmuz	209
Ağustos	193
Eylül	134
Ekim	89
Kasım	60,9
Aralık	41,7
Yıllık	1438,4

Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA), Türkiye’de yenilebilir enerji kaynaklarının potansiyelini belirlemek amacıyla Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (EİGM) tarafından hazırlanmaktadır [24].

Güneş enerjisi potansiyelini belirlemek için modelde kullanılacak parametrelerin hesaplanması ve model kalibrasyonun yapılmasında EİGM ve Meteoroloji Genel

Müdürlüğü (MGM)'nin 1985 - 2006 yılları arasında ölçüm yapılan 22 yıllık saatlik güneş ölçüm değerleri dikkate alınmıştır.

GEPA veri tabanına göre Düzce iline ait aylık ve yıllık global radyasyon değerleri Çizelge 3.3'de sunulmaktadır. Çizelge 3.3'de görüldüğü üzere GEPA verilerine göre Düzce ili için yıllık ışıınım miktarı 1347,35 kWh/m² olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.3. GEPA veri tabanına göre Düzce'nin aylık ve yıllık global ışıınım değeri.

Aylar	GEPA (kWh/m²)
Ocak	42,78
Şubat	64,4
Mart	102,61
Nisan	131,7
Mayıs	176,08
Haziran	180
Temmuz	183,21
Ağustos	163,68
Eylül	126
Ekim	88,66
Kasım	50,1
Aralık	38,13
Yıllık	1347,35

Toplam 8.350 ölçüm istasyonu vasıtasıyla alınan meteorolojik bilgiler ile arzu edilen herhangi bir konumdaki ışıınım, güneşlenme süresi, yağış miktarı ve sıcaklık gibi değişkenleri hesaplayan Meteonorm programı bir meteorolojik referans yazılım özelliği taşımaktadır [25]. Güneş enerjisi tesis planlamasında yaygın olarak kullanılan bu yazılım programı sahip olduğu veri tabanı ile güvenilir bir kaynak olarak karşımıza çıkmaktadır. Ölçüm istasyonu olmayan alanlarda söz konusu yazılım programı en yakın mesafedeki istasyon verilerini dikkate alarak interpolasyon yöntemiyle hesaplamaya gitmekte ve bu şekilde veri oluşturmaktadır. İnterpolasyon yöntemiyle bulunan aylık ışıınım değerlerinde %9 hassasiyetlik mevcut iken sıcaklık değerlerinde bu hassasiyetlik değeri 1,5° C kadar olduğu ifade edilmektedir [22]. Düzce ili, bahse konu Meteonorm veri tabanında tanımlandıktan sonra güneş radyasyon ölçüm aralığı 1991-2010 yılları arasında seçilerek ve sıcaklık verileri için 2000-2009 yılları arasındaki ölçüm periyotları baz alınarak aylık bazda ışıınım değerleri elde edilmiştir.

Meteonorm veri tabanına göre Düzce iline ait aylık ve yıllık güneş radyasyon değerleri Çizelge 3.4'te gösterilmektedir. Çizelge 3.4'te görüldüğü üzere Meteonorm veri tabanına

göre Düzce ilinin yıllık ışıınım miktarı 1376 kWh/m² olarak elde edilmiştir.

Çizelge 3.4. Meteonorm veri tabanına göre Düzce'nin aylık ve yıllık global ışıınım değeri.

Aylar	METEONORM (kWh/m ²)
Ocak	42
Şubat	56
Mart	98
Nisan	135
Mayıs	167
Haziran	183
Temmuz	198
Ağustos	178
Eylül	132
Ekim	87
Kasım	60
Aralık	43
Yıllık	1376

NASA'nın Dünyadaki Enerji Kaynaklarının Tahmini veri tabanında güneş radyasyon değerleri yer almaktadır. NASA'nın bu değerleri uydu bazlı ölçümlerin bir araya getirilmesiyle elde edilmektedir [26].

Düzce iline ait dört farklı kaynaktan alınan aylık ve yıllık güneş radyasyon değerleri Çizelge 3.5'te karşılaştırılmış olup elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu görülmektedir.

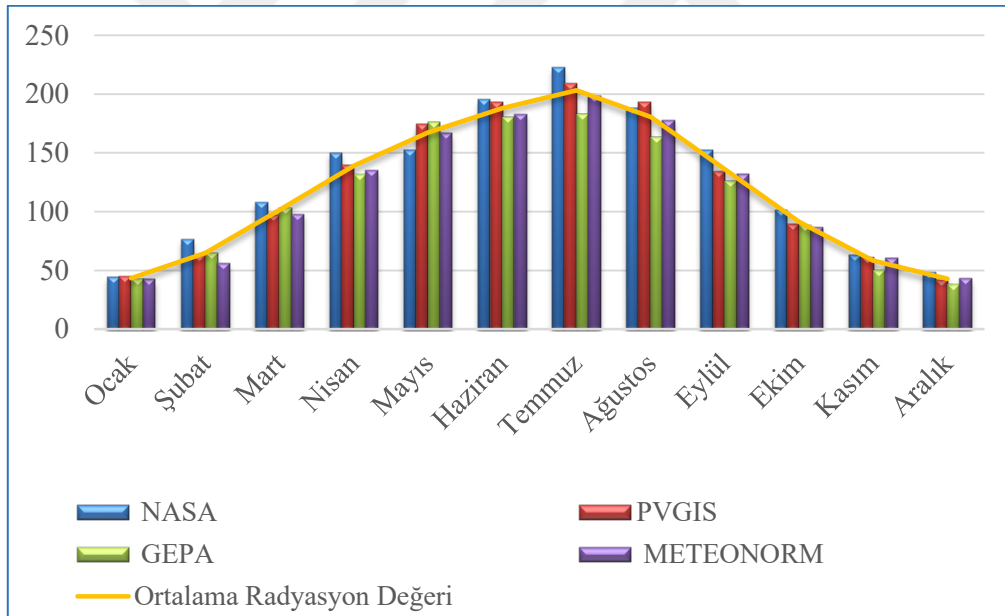
Çizelge 3.5. Düzce iline ait dört farklı veri tabanının alınan aylık ve yıllık ışıınım değerleri (kWh/m²).

Aylar	NASA	PVGIS	GEPa	METEONORM
Ocak	43,71	45,1	42,78	42
Şubat	76,3	63,1	64,40	56
Mart	108,19	96,6	102,61	98
Nisan	150	139	131,70	135
Mayıs	152,21	174	176,08	167
Haziran	195,45	193	180,00	183
Temmuz	222,58	209	183,21	198
Ağustos	188,02	193	163,68	178
Eylül	152,25	134	126,00	132
Ekim	100,91	89	88,66	87
Kasım	62,85	60,9	50,10	60

Çizelge 3.5 (devam). Düzce iline ait dört farklı veri tabanının alınan aylık ve yıllık ışınım değerleri (kWh/m²).

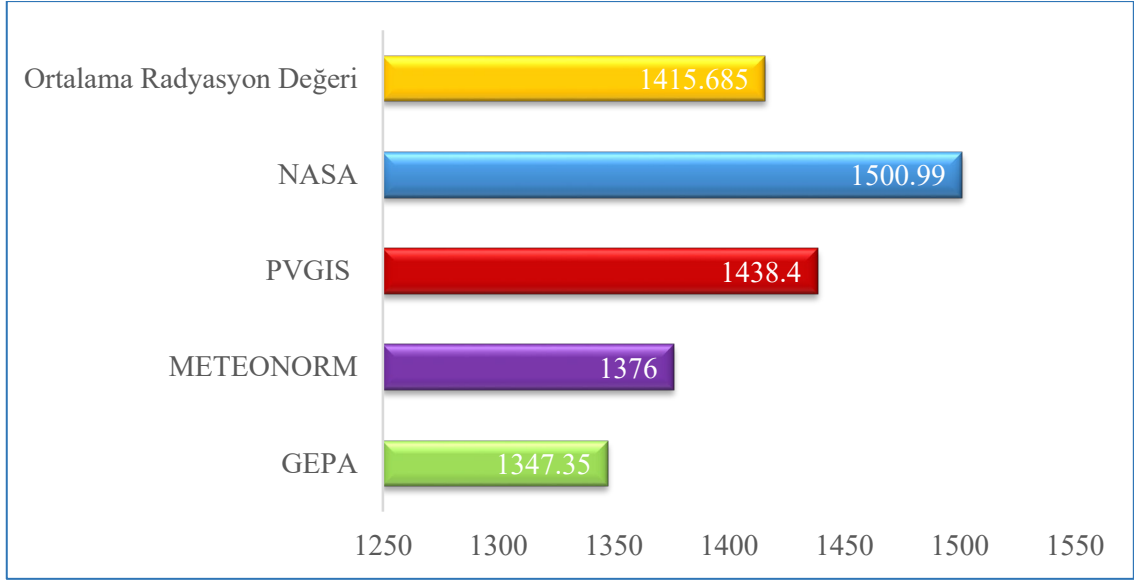
Aylar	NASA	PVGIS	GEPA	METEONORM
Aralık	48,52	41,7	38,13	43
Yıllık	1500,99	1438,4	1347,35	1376

Çizelge 3.5'teki değerlere bakıldığında her bir veri tabanında yakın değerlere ulaşıldığı görülmektedir. Güneş radyasyon miktarında yıllık bazda en düşük değer GEPA 1347,35 kWh/m² ile elde edildiği, en yüksek değer ise 1500,99 kWh/m² ile NASA veri tabanından elde edilmiş olduğu görülmektedir. Bu durumda ufak bir hesaplama yapacak olursak en yüksek ve en düşük değeri veren veri tabanları arasında % 11,4 oranında bir fark olduğu görülecektir. Elde edilen bu değerler arasındaki farkın büyük oranda güneşlenme süresinin daha yoğun olduğu yaz aylarında oluştuğu ve bu değer farkının bu mevsimde daha belirgin hale geldiği görülmektedir. Farklı veri tabanlarından alınan güneş radyasyon değerleri toplu olarak Şekil 3.9'da gösterilmektedir.



Şekil 3.9. Düzce iline ait aylık bazda dört farklı veri tabanından alınan güneş radyasyon verilerinin karşılaştırılması.

Şekil 3.9'daki veriler incelendiğinde yıl boyunca benzer şekilde artış ve azalışların olduğu görülmektedir. Yıllık bazda elde edilen güneş radyasyon değerlerine bakıldığında düşük şiddetten yüksek şiddete sırasıyla, GEPA, Meteonorm, PVGIS ve NASA şeklinde sıralandıkları görülecektir. Veri tabanlarına göre yıllık güneş radyasyon verileri Şekil 3.10'da gösterilmektedir.

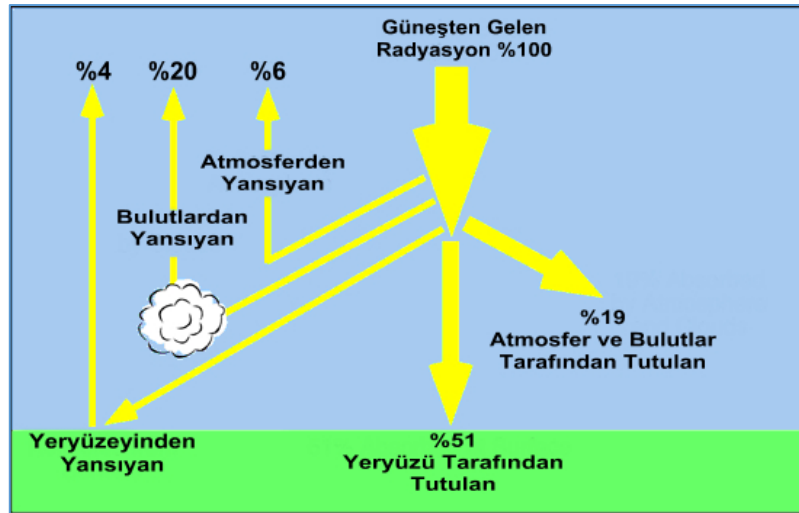


Şekil 3.10. Düzce iline ait yıllık global ışınım verilerinin karşılaştırılması.

4. FOTOVOLTAİK (PV) ENERJİ SİSTEMLERİ

Güneş çekirdeğinde, yüksek sıcaklık ve basınç altında meydana gelen füzyon reaksiyonları ile hidrojen elementi helyum elementine dönüştürülmekte, bu tepkimeler sonucunda güneş büyük miktarda enerji üretmektedir. Güneş enerjisi genel olarak birim m² alan başına düşen W cinsinden enerji olarak gösterilmektedir. Dünya atmosferinin dışına yaklaşık olarak yılda 1370 W/m² değerinde güneş enerjisi ulaşmakta, ancak yeryüzüne ulaşan miktar ise 0 ila 1100 W/m² arasında değişiklik göstermektedir [27].

Güneşten gelen ışının ancak %51'i yeryüzüne ulaşabilir, bu enerji yeryüzünü ve yeryüzüne yakın olan atmosferi ısıtır. Ayrıca buharlaşmayı sağlamasının yanında bitkilerin de fotosentez yapmasını sağlar. Artakalan %49'luk kısmın, %4'ü yer yüzeyinden yansırken, %26'sı da bulutlar ve atmosfer tarafından yansıtılır, geriye kalan %19'luk kısmı da atmosferik gazlar, partiküller ve bulutlar tarafından emilir [28].

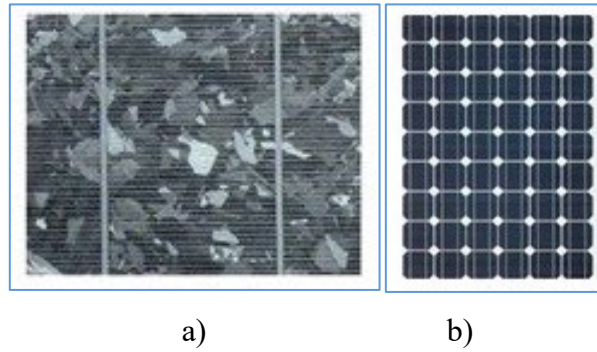


Şekil 4.1. Güneş ışınlarının yansımaları.

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmek için kullanılan teknolojilere baktığımızda fotovoltaik (PV) ve yoğunlaştırıcı fotovoltaik sistemler (Concentrated-PV) olmak üzere iki ana gruba ayırmak mümkündür.

PV sistemler, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren düzeneklerdir. Sistemin temel yapı bloğu PV hücrelerdir. Bu hücrelerin alanları genellikle 1 m²'ye yakın

olmakla birlikte kalınlıkları 0,1- 0,4 mm arasında değişmektedir. Fotovoltaik prensibe dayalı olarak alışan PV hücresler, üzerlerine ışık düşmesiyle uçlarında bir elektrik gerilimi oluşur. Bu hücreler çoğunlukla yapısına bağlı olarak % 5 ila % 30 verimlilik değerleri arasında çalışırlar. Bir yüzey üzerinde birden fazla sayıdaki güneş hücresi kendi aralarında paralel ya da seri bağlamak koşuluyla gerilimi ve dolayısıyla güç çıkışını artırmak veya değiştirmek mümkündür. Bu yapıya PV modül adı verilmektedir. İstenen güce bağlı olarak bu modüllerin birbirlerine seri ya da paralel bağlanmasıyla birkaç W'tan MW'lara kadar büyüklükte bir üretim sistemi kurulabilir. Çeşitli PV modüllerin sırasıyla, gerilimi ve/veya akımı artırmak için seri ve/veya paralel olarak bağlanmasıyla güneş ışınlarının etkisiyle elektrik akımının yaratıldığı ana yapı olan PV paneli oluşturulmaktadır [27].



şekil 4.2. PV sistem a) Güneş pili b) Fotovoltaik panel.

Ardından, PV sistem dengeleyicileri olarak isimlendirilen panel haricindeki diğer sistem elemanları sisteme dâhil edilmektedir. PV sistem dengeleyicilerini; invertör, güç kontrol sistemleri (akü şarj kontrol cihazı), enerji depolama aygıtları (akü) ve diğer sistem dengeleyicileri olarak dört ana bölüme ayırmak mümkündür.

4.1. PV TEKNOLOJİ EşİTLERİ

PV paneller ve sistem dengeleyicilerinin bir araya getirilmesi sonucunda PV sistem teknolojisi kurulumu hazır hale gelmektedir. Kullanılan temel malzeme (yarı iletken) eşidine ve ticari olgunluk düzeyine bağlı olarak PV sistem teknolojileri kristal silikon paneller, ince film paneller, esnek paneller, saydam paneller ve gelişmekte olan yeni PV teknolojiler şeklinde sınıflandırılabilir.

4.1.1. Kristal Silikon PV Paneller

Oksijen elementinden sonra yer kabuğunda en çok bulunan element Silisyum'dur. Tabiatta saf kimyasal madde şekilde bulunmayan silisyumun hücre yapımı için hazır hale gelebilmesi için yüksek sıcaklık gerektiren işlemler sonucunda silisyumdioksit (SiO_2) bileşiğinden ayrışması zorunludur [29]. Saflaştırılmış silisyum atomunun yapısal, elektriksel ve optik özelliklerini uzun yıllar boyunca, 20-30 yıl, koruyabilmesinden dolayı saflaştırma işlemine bu sebeplerden ötürü önem verilmektedir. Bu özelliklerinden dolayı silisyum güneş pili üretiminde en çok tercih edilen elementlerden biridir [30]. Üretim sürecindeki farklılıklardan dolayı kristal silikon PV hücrelerin; monokristal silikon, polikristal silikon ve ribbon silikon hücre olmak üzere üç çeşidi bulunmaktadır.

4.1.1.1. Monokristal Silikon Güneş Panelleri

Monokristal silikon piller, güneş pili üretim metotları arasında en eski ve en pahalı yöntemlerden biridir. Ancak bu paneller aynı elektrik üretimini yapan polikristal güneş panellerine göre daha yüksek verimlilikle çalışmaktadırlar. Fakat bu verimlilik güneş pilinin kullanıldığı yere, üzerine düşen güneş ışınlarının açısı ve değerine göre farklılıklar gösterebilmektedir. Yüzey alanları polikristal panellere nazaran % 1 ile % 2 arasında daha küçüktür. Monokristal güneş pilleri üretiminin uzun sürmesinin sebebi kullanılan teknoloji ile alakalıdır. Monokristal paneller homojen bir kristal yapısına sahiptir.



Şekil 4.3. Monokristal silikon güneş paneli.

4.1.1.2. Polikristal Silikon Güneş Panelleri

Polikristal silikon PV hücreler monokristal hücreye göre maliyeti daha azdır. Ancak, polikristal hücrenin verimliliği daha düşüktür. Buna rağmen sıkça tercih edilen paneller arasında yer almaktadır çünkü fiyat olarak önemli bir avantaja sahiptir ve rahatlıkla temin

edilebilir durumdadır. Polikristal paneller monokristal panellerden farklı olarak heterojen bir kristal yapısına sahiptir.



Şekil 4.4. Polikristal silikon güneş paneli.

4.1.1.3. Ribbon Silikon Güneş Panelleri

Monokristal hücre üretiminde bazı malzeme kayıpları olmaktadır. Ribbon silisyum PV hücreler, bu malzeme kayıplarını minimize etmek amacıyla levha şeklinde silisyum tabakalarından imal edilirler. Birçok farklı yöntemlerle üretilen bu pillerin, geliştirilme aşaması halen devam etmektedir. Bu pillerin laboratuvar şartlarındaki verimleri %13-14 değerleri arasında olmaktadır.



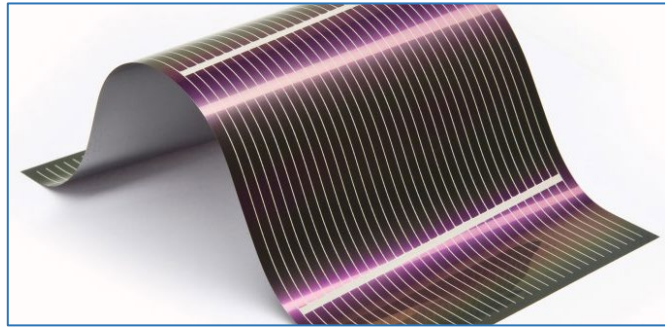
Şekil 4.5. Ribbon silisyum PV hücre.

4.1.2. İnce Film PV Paneller

İnce film güneş panelleri, diğer pillere nazaran daha az kalınlıkta bir yapıya sahip olup güneş ışınlarını absorbe etme özelliği iyi olan maddeler kullanılarak üretilirler. Bir

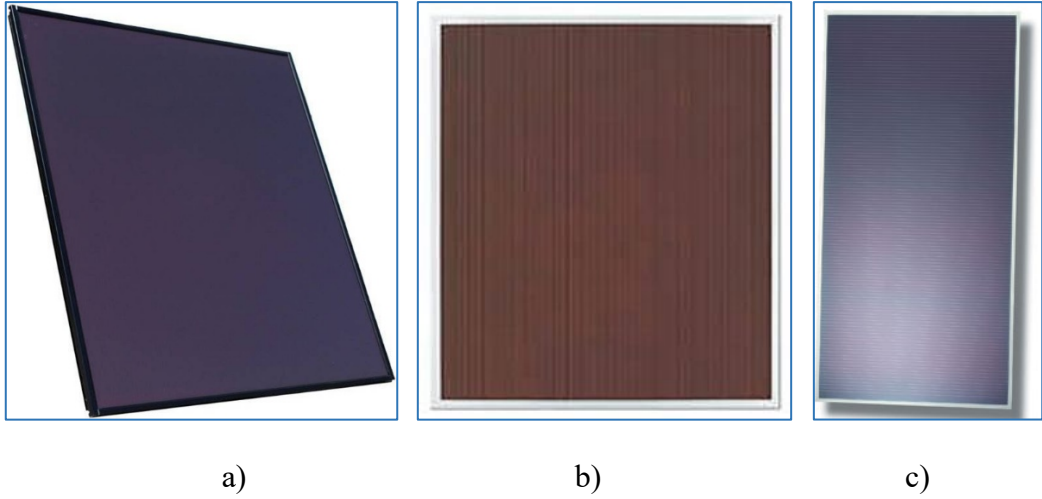
örnekle açıklamak gerekirse amorf silisyum güneş pillerinin emilim katsayısı kristal güneş pilleri emilim katsayısından daha fazladır. Yani 0,7 mikrondan daha az dalga boyu katsayısı olan bir alanda güneş ışınlarını absorbe etmek için 1000 mikron kalınlığında amorf silisyum güneş pili kullanılması yeterli iken kristal silisyum pil ile aynı değerdeki radyasyonu absorbe edebilmek için 5000 mikron kalınlıkta bir malzeme kullanılması gerekmektedir [31]. Hücrelerin ışık tutma oranı yüksektir ancak ince film güneş panelleri monokristal ve polikristal panellere nazaran düşük verimlilikte çalışmaktadır.

İnce film hücreler, geniş yüzeyler üzerine yarı iletken malzemeler kaplanarak oluşturulmaktadır. Böylece değişik karakteristiklere sahip yarı iletken malzeme kullanılmasıyla, farklı özelliklere sahip piller üretilmiş olacaktır. Yapılan araştırmalarda güneş pilleri üretiminde kullanılması mümkün birçok yarı iletken malzemenin düşük maliyetler ile cam, paslanmaz çelik ya da plastik malzemedan yapılmış geniş yüzeylere uygulanmasının mümkün olduğu ispatlanmıştır. İnce film pillerde kullanılan yarı iletken malzemenin büyüklüğü ise bir milimetrenin binde birinden, milyonda birine kadar değişen damarlardan oluşmaktadır. Bundan dolayı bu hücreler esnek bir yapıya sahip olmaktadır [32].



Şekil 4.6. İnce film PV hücre.

İnce film güneş pillerinde genellikle amorf silisyum, kadmiyum ve tellür elementlerinden oluşan bileşikler kullanılır. Bu PV hücrelerin çıkış akımları çok düşük olmasına karşın güneş ışınlarını soğurma oranları çok yüksektir. Bu sebeple kristal silisyumlu pillere göre çıkış gerilimi hemen hemen 2 ila 3 kat daha fazla iken akım değerleri de bir o kadar küçüktür. İnce film malzemeler arzu edilen birçok malzeme üzerine istenilen boyutta kaplanabilme özelliğine sahipken, silisyum pillerin boyutları ise kristalin boyutları ile sınırlı kalmaktadır. Bunun yanında ince film malzeme kullanım alanlarına baktığımızda modül ve panel yapımında daha kolay ve uygun olduğu görülmektedir [33].



Şekil 4.7. Bazı firmalara ait amorf silikon, mikromorf ve kadmiyum tellür ince film güneş panelleri [22] a) Sharp firması b) Bosch firması c) Firstsolar firması.

İnce film fotovoltaik güneş pillerinin üç farklı türü vardır; Bunların ilki amorf silikon piller, ikincisi bakır indiyum diselenit piller, üçüncü ve son olarak diğer piller şeklinde ifade edilebilir.

Silikonları çok ince tabakalardan oluşan amorf silikon güneş pillerini oluşturmak için gerekli olan ısı miktarı, kristal silikon piller için gerekli olan ısıdan çok daha düşüktür. Bundan dolayı amorf silikon hücrelerin üretim aşaması çok daha kolay ve dolayısıyla üretimi de çok daha ucuzdur. Bu piller genellikle çok fazla enerji ihtiyacı gereksinimi duyulmayan yerlerde tercih edilirler. Günümüz teknolojisinde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı gereksinimi bu piller ile karşılanır. En önemli kullanım alanı ise yapısal alanlarda entegre olarak yarı saydam cam yüzeyler ve binaların dış cepheleridir. Maliyetleri düşük olmasıyla birlikte verimleri de düşük seyretmektedir [34].

Bakır indiyum diselenit piller, periyodik tablonun birinci, üçüncü ve altıncı gruptan elementlerin en az üçünün bir araya gelmesi ile oluşur. Meydana gelen bu yarı iletken bileşiğin soğurma katsayıları oldukça yüksek olup, yasak enerji aralıkları güneşin spektrumu ile ideal bir biçimde uyuşacak şekilde ayarlanabilme imkânı sunmaktadır. Bakır, indiyum ve selenyumdan yapılan bu üçlü bileşikten (CuInSe) oluşan yarı iletken gruba “CIS” güneş pilleri olarak ifade edilebilir [35].

Diğer piller grubunda ise birçok farklı sebeplerden dolayı şimdilik yaygın bir kullanım alanı olmamakla birlikte bu grupta da galyum diselenit, kadmiyum telurit, termovoltaiik, orta kuşak, süper tandem, sıcak taşıyıcı, organik fotovoltaik piller gibi bir çok farklı pil tipleri mevcuttur [36].

4.1.3. Esnek PV Paneller

Esnek güneş paneli, çok fazla kullanım olanağı bulunan bir güneş panelidir. Esnek güneş panelleri kırılmayan ve çok dayanıklı olma özelliğine sahiptir. Bu tip güneş pilleri hem monokristal hem de polikristal bir yapıda olabilmektedir. Haliyle bu yapısal özelliğinden dolayı panelin verim aralığını da çeşitlendirmektedir. Ayrıca bu panel türleri çok hafif olmaktadır çünkü diğer panellere nazaran bu panellerin alüminyum çerçevesi ve temperli camları yoktur dolayısıyla çok daha hafif olabilmektedir. Bir diğer avantajı da esnek yapısından dolayı kubbe tarzı eğimli çatılar için çok ideal olup çatının düz olma zorunluluğunu ortadan kaldırarak yapısal modellemelerde kısıtlama getirmemektedir. Bazı kullanım alanlarını söylemek gerekirse; şarjlı araçlar, şarjlı deniz araçları, otobüs durakları, eğimli fabrika çatıları, eğimli otopark gölgelikleri gibi mahaller örnek olarak verilebilir [37].



Şekil 4.8. Esnek güneş paneli.

4.1.4. Saydam PV Paneller

Saydam güneş panelleri, arasında ince bir film bulunan iki cam tabakadan oluşan bir yapıya sahiptir. Bu sandviç şeklindeki yapının arasındaki film, organik moleküllerden üretilen aktif bir tabaka olarak güneş ışığını elektriğe çevirmektedir. Üstelik organik, esnek ve hafif olan bu süper ince film sadece morötesi ve yakın kızılötesi dalga boylarındaki ışığı camın kenarlarında bulunan plastik kanallarda toplayarak çok küçük boyuttaki güneş pillerine göndermekte ve enerji üretimini o kısımda gerçekleştirerek

elektriğe dönüştürmektedir. Böylece pencerenin ışığını kesmemekle birlikte araba camları gibi de ışığı karartmamaktadır bu sebeplerden dolayı da şeffaf görünmektedir [38].



Şekil 4.9. Saydam güneş paneli.

Daha önceki yıllarda üretilmiş olan yarı şeffaf panellerin verimlilik oranı %7 dolaylarında iken üretilen yeni panellerin verimlilik oranları her ne kadar yapılan çalışmalarla %5 seviyesine ulaşması beklenirse de şimdilik sadece %1 verimlilikle çalışabilmektedir. Bu ürünlerde verimlilik her ne kadar düşük olsa da endüstriyel uygulamalardan daha çok kişisel kullanıcılara ait cihazlarda ve el araçlarında kullanımı yaygınlaşabileceği inanılmaktadır [39].

4.1.5. Gelişmekte Olan Yeni PV Sistemler

Kristal silikon ve ince film PV sistemlere nazaran yüksek verimliliği olan ve daha düşük maliyetteki PV teknolojilerin geliştirilmesine yönelik araştırmalar son 20 yıldır devam etmektedir. Bu çalışmalar sonucunda yoğunlaştırılmış PV hücreler (CPV), organik PV hücreler, gelişmiş inorganik ince film hücreler ve diğer yeni PV hücreler olmak üzere dört çeşit üçüncü nesil PV sistem ortaya çıkmıştır. Yoğunlaştırılmış fotovoltaik panel teknolojilerinde (CPV) hücre, modül ve sistemlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar uzun zamandır devam etmesine rağmen, söz konusu teknoloji ancak 2000'li yılların başlarında piyasada yer almaya başlamıştır. Kristal silikon ve ince film PV teknolojilerinin henüz gerisinde olan CPV sistemlerinin piyasası, endüstrisi ve fiyatları konusunda güvenilir verilere ulaşmak oldukça güçtür [39].

CPV teknolojisinde güneşten gelen ışık aynalar ve lensler vasıtasıyla daha küçük bir yüzeye yansıtılarak güneş enerjisi PV hücreler yardımıyla direkt olarak elektrik enerjisine

dönüştürülmektedir. Bu sistem doğrudan güneş ışığından yararlandığı için doğrudan gelen ışınım değerinin 2000 kWh/m²-yıl üzerinde olan yerlerde uygulanması daha verimli olmaktadır. Ayrıca tek ve çift yönlü takip sistemi kullanılarak verimlilik daha da arttırılabilmektedir.



Şekil 4.10. Yoğunlaştırıcıli fotovoltaiik sistem.

CPV yoğunlaştırıcıdaki ışığın odaklandığı noktaya bir fotovoltaiik yarı iletken malzeme yerleştirilerek diğer düzlemsel PV hücrelerine kıyasla daha küçük alana mercekler yardımıyla sağlanan daha yüksek yoğunluktaki ışık ışınlarının odaklanmasıyla daha yüksek bir verimde enerji üretimi sağlanmış olur. Bu sistemde kullanılan malzeme silisyumdan 10 kat daha pahalı olmasına rağmen verimin yüksek olması ve malzemenin az kullanılması neticesinde toplam maliyetin daha düşük olmasını sağlar.

CPV dışındaki diğer yeni nesil PV teknolojileri genellikle Ar-Ge aşamasındadır ve piyasada henüz tam olarak yer edinememiştir. Bu teknolojilerin verimlilikleri düşük olmasına rağmen hafif, düşük maliyetli ve serbest şekillerde olması yeni nesil PV teknolojileri avantajlı hale getirecektir.

4.2. PV TEKNOLOJİLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Güneş enerjisinden elektrik üretmek isteyen yatırımcılar; PV sistem maliyetini, hücre ve modül verimliliklerini, ekonomik ömrü ve birim kW kapasite kurulumu için gerekli alan gibi bilgileri dikkate alarak karar verebilmektedir. Söz konusu değişkenler arasında en önemli parametre maliyet olmakla beraber sistem performansının da yıllık gelirlerin öngörülebilmesi açısından değerlendirilmeye alınması gerekmektedir. PV teknoloji maliyetlerine ilişkin ortak bir veriye ulaşmak oldukça zordur. Çünkü sistem elemanlarının fiyatları imal edildikleri ülkeye, verimlilik düzeylerine göre farklılık göstermektedir. Bu nedenle PV teknolojilerini karşılaştırmak amacıyla hazırlanan tabloda maliyetlere ilişkin bir bilgi yer almamaktadır.

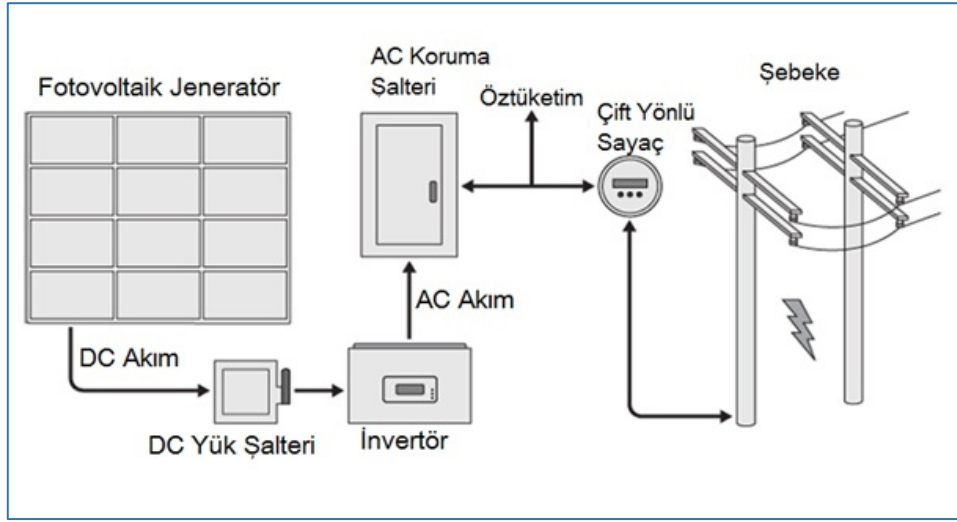
Son yirmi yılda, PV teknolojilerinin performansları önemli ölçüde geliştirilmiş olup bu eğilimin gelecekte de devam etmesi beklenmektedir. PV hücre ve modül üretimi faaliyetleri, Ar-Ge faaliyetlerinin yoğun bir şekilde sürdürüldüğü rekabetçi bir alanda yürütülmektedir. Son yıllarda, PV sistem verimliliğini artırmaya, ekonomik ömrünü uzatmaya ve maliyetini düşürmeye yönelik çalışmalar hızla devam etmektedir.

Çizelge 4.1. Fotovoltaik teknolojilerin karşılaştırılması [7].

PV Teknoloji Türü	Kristal Silikon		İnce Film			CPV
	Monokristal Silikon	Polikristal Silikon	Amorf Silisyum (a-Si/m-Si)	Kadmiyum Tellürid (CdTe)	Bakır İndiyum Galyum Diselenid (CI(G)S)	
Maksimum Hücre Verimliliği (%)	22	18	10	11,2	12,1	-
Laboratuvar Şartlarında En Yüksek Hücre Verimliliği (%)	25	20,3	13,2	16,5	20,3	46
Maksimum Modül Verimliliği (%)	19-20	15-16	9	-	-	36,7
Ticari Modül Verimliliği (%)	13-19	11-15	7-9	10-11	7-12	25-35
2015-2020 Yılı Ticari Modül Verimlilik Hedefi (%)	16-23	19	10-11	14	15	-
Arazi Kullanımı (m ² /kW)	6-8	7-9	11-15	9-10	9-15	36
Ekonomik Ömrü (Yıl)	25-30		25			-
2015-2020 Yılı Ekonomik Ömür Hedefi (Yıl)	30-35					-
Piyasa Payı (%)	35	55	10		-	-

4.3. PV SİSTEM Dengeleyicileri

Güneş enerjisi sistemleri diğer elektrik üretim santrallerine benzer şekilde çalışmakta ancak PV sistemlerde doğal olarak bir takım farklı üretim ekipmanları da kullanılmaktadır. Güneş panellerinin çıkış akımı yapıları gereği doğru akım (DC) olduğu için bu akımı sanayide veya evlerde kullanılabilmesi için alternatif akıma (AC) çevrilmesi önem arz etmektedir. Bu dönüştürme işlemi yapılırken sistem dahilinde bazı cihazlar kullanılmaktadır. Güneş enerjisi sistemlerinde, projelerde değişkenlik gösterebilmekle beraber temel ekipmanlar; İntertör (Evirici), Güç Kontrol Sistemleri (Akü Şarj Kontrol Cihazı), Enerji Depolama Aygıtları (Akü), Uzaktan İzleme ve Diğer Sistem Dengeleyicileri şeklinde sıralanabilir.



Şekil 4.11. Şebeke bağlantılı bir fotovoltaik sistemin yapısı.

Güneş ışınımlarına ve yüksek sıcaklıklara dayanabilen özel imal edilmiş solar kablolar vasıtasıyla güneş panellerinden elde edilen doğru akım taşınarak doğru akım kesicilerine ulaştırılır. Güneş panellerinin meydana getirdiği paralel kolların her birinde doğru akım kesicileri bulunur ve bu kesiciler sistemin güvenilir hale gelmesinde önemli rol oynar. Bu doğru akım kesicilerine paralel olarak güneş enerjisi sistemlerinde özel olarak tasarlanmış olan parafudur cihazları da yerleştirilerek sistemin daha da güvenilir hale gelmesi sağlanır. Tüm bu kesici cihazların çıkış tarafına ise fotovoltaik sistemlerin kalbi olarak tanımlanan invertör ünitesi bağlanır. Güneş enerjisi sistemlerinde yer alan invertörlerin genel olarak çalışması, güneş panellerinden elde edilen doğru akımın alternatif akıma çevrilmesi şeklindedir. Güneş enerjisi sistemlerinde yer alan invertör cihazları elektrik şebekeleri ile paralel çalışma niteliğine sahip olduklarından düzenli bir şekilde elektrik

şebekesini kontrol ederek kendisini elektrik şebekesiyle bütünleştirebilirler. Bu özelliklere sahip olan güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan invertörlere şebekeye entegre invertör tanımlaması yapılabilir. İntertör çıkışında elde edilen, alternatif akıma uygun alternatif akım kesicisi ve parafudur cihazı ile şebekeye bağlantısı sağlanır.

Güneş enerjisi sisteminde mühim olan bir diğer konu da topraklama sistemidir. Güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan tüm cihaz, donanım ve metal aksamın topraklanması yapılmalı ve artık akımların sisteme zarar vermesi önlenmelidir [22].

4.3.1. İntertör

İntertör, PV hücreler tarafından üretilen doğru akım enerjisini bir genlikte ve frekanstaki alternatif akıma dönüştüren cihazdır. İntertörler, şebekedeki voltaj ve frekans seviyelerini dikkate alarak kendi çıkış voltaj ve frekanslarını ayarlayan ve şebeke ile paralel çalışan cihazlardır. Yani şebekeye bağlı inverterlerin ürettiği gücün frekansı ile şebekenin frekansı aynı değerde olmalıdır. Şebekeden bağımsız sistemlerde kullanılması düşünülen invertör cihazları düşük gerilim (12-48 V) özellikli tercih edilirken, şebeke bağlantılı sistemlerde ise bu durum biraz daha farklı olup daha yüksek gerilimli invertör cihazları (110 V ve üstü) kullanılmalıdır [40].



Şekil 4.12. İntertör cihazı.

Normal invertör cihazlarından farklı olan multifonksiyonel inverterler ise hem şebekeye bağlı hem de şebekeden bağımsız çalışabilme özelliğine sahiptirler.

4.3.2. Güç Kontrol Sistemleri (Akü Şarj Kontrol Cihazı)

Şarj kontrol cihazları, farklı bir ifadeyle bir nevi DC-DC dönüştürücülerdir. Güneş panellerinde üretilen gerilim ve akım değerleri sabit olmadığı için bu değerlerin sabit hale getirilmesi şarj kontrol cihazları vasıtasıyla sağlanır böylece değişken akım ve gerilime

maruz kalmayan akülerin ömrü uzayacak dolayısıyla daha verimli şarj olması sağlanmış olacaktır. Akü ve güneş paneli arasında yer alan, verimli bir şekilde akülerin şarj edilmesini sağlayan şarj kontrol cihazları bu özelliklere ek olarak akülerden panellere gidebilecek ters akımları da engelleyen bir özelliğe sahiptir. Ayrıca şarj kontrol cihazının devresinde olan transistörler aracılığıyla anahtarlama işlemi yerine getirilerek, güneş panellerin gerilim değeri akü gerilim değerinden yüksek olmadığı müddetçe şarj kontrol cihazı herhangi bir akım geçişine müsaade etmez. Genellikle 12 V gerilim değerine sahip akülerin tam olarak şarj edilebilmesi için 14-14.5 V dolaylarında bir gerilime gereksinim duyar. Eğer güneş panelinden yüksek voltaj gelir ve istenen gerilim seviyesine düşürülmez ise akü aşırı şarj olmaktan zarar görebilir. Akü şarj kontrol cihazı da güneş panellerinden gelen bu yüksek gerilimi akü şarj gerilim seviyesine indirgeyerek düzenler [41].



Şekil 4.13. Şarj kontrol cihazı.

Normal şarj kontrol cihazları yalnız belli bir referans gerilim aralığında çalışırken MPPT özellikli olan şarj kontrol cihazları ise PV panelin en yüksek güç elde ettiği gerilimi tespit eder ve o gerilimde çalışır. Bu sebeple normal şarj kontrol cihazlarından daha verimlidirler.

4.3.3. Enerji Depolama Aygıtları (Akü)

Fotovoltaik hücreler tarafından üretilen elektrik enerjisinin tüketilmediği durumlarda depolanması gereklidir. Güneş ışımını olduğu sürece üretilen elektrik akülerde depolanır. Aküler, elektrik enerjisini kimyasal enerji biçiminde depo eden, gereksinim durumunda bunu elektrik enerjisi olarak verebilme özelliğindeki cihaza verilen isimdir. Birkaç farklı türü bulunmaktadır. Asit ya da su ilavesi gerektirmeyen kapalı tip akülere Kuru Akü denir. Sübapları ayarlanabilen kurşun asit (VLRA) akü türü olarak da adlandırılır, Kuru Akü ve Jel Aküler bu sınıfa giren akülerdir. Kuru aküler iç yapıları ve imalatlarına bağlı olarak ikiye ayrılır; Elektroliti separatörlere emdirilmiş (AGM) akü ve jel akü. Bu

akülerin esas özelliği asit taşması ya da sızdırmasının olmamasıdır. Gaz çıkışı yok denecek kadar azdır. Bu yüzden çok güvenlidir ve rafta bekleme ömürleri çok daha uzundur. Jel akü diğer bir adıyla solar akü; ortamında jel-jöle kıvamında elektrolit bulunduran akülerdir. Ağır bölgesel koşullara bilhassa de sıcaklığa ve titreşime dayanabilen bakımsız akülerdir. Bu yüzden denizcilik pazarında ve solar enerji sistemlerinde bilhassa tercih edilirler. Solar akü anında şarj edilmezse bile, derin deşarjdan tamamıyla geri döndürülebilir. Günlük sürekli kullanım amacıyla idealdir. Uzun deşarjlarda kusursuz performans gösterirler. Derin döngülü akü, nominal kapasitesinin % 20'si seviyesine kadar deşarj olduğu halde kapasite kaybına uğramayan akülerdir. Günümüzde en çok kurşun-asit ve nikel kadmiyum tipi aküler PV sistemlerde kullanılmaktadır. Kurşun-Asit bataryaları nispeten ucuz fakat kısa ömürlü iken nikel kadmiyum bataryaları uzun ömürlü fakat daha pahalıdır [42].



Şekil 4.14. Jel akü.

Örneğin; 15 kW gücünde bir akü grubu elde edilmek istenirse 12 V gerilim, 200 Ah akım üretebilen bir aküden;

$$Akü\ Sayısı = \frac{15000}{12 \times 200} = 6,25 \quad (4.1)$$

7 adet akü kullanmak gerekir.

Yüksek akü şarj gerilimi şarj süresini kısaltmasına karşın iç kayıpların artmasına ve akü ömrünün azalmasına sebep olur. Akünün fazla şarj edilmesi; akünün ısınmasına, sıvı kaybetmesine ve ömrünün azalmasına sebep olur. Akü şarj sırasında düşük şarj seviyesinde uzun süreli tutulmamalıdır. Ortam sıcaklığının yükselmesi de akü ömrünü kısaltan faktörlerden biridir.

4.3.4. Uzaktan İzleme

Bir güneş enerjisi santralinde, sistemin güvenilirliği ve performansı takibinin yapılması, en önemli konuların başında gelmektedir. Bu bağlamda, güneş enerjisi santrallerinin hem performans takibi yapılabilmesi, hem verimlerinin yükseltilmesi hem de bakım maliyetlerinin düşürülmesi konusunda uzaktan izleme sistemleri büyük önem arz etmektedir. Ayrıca dağıtım şirketinin bağlantı kriterlerini göz önüne alacak olursak, santralden enerji akışını verimli bir şekilde sağlandığının kontrolü için gerekli altyapıyı oluşturmak gerekir. Uzaktan izleme sistemleri bu amaçlar doğrultusunda önem arz etmektedir.

4.3.5. Diğer Sistem Dengeleyicileri

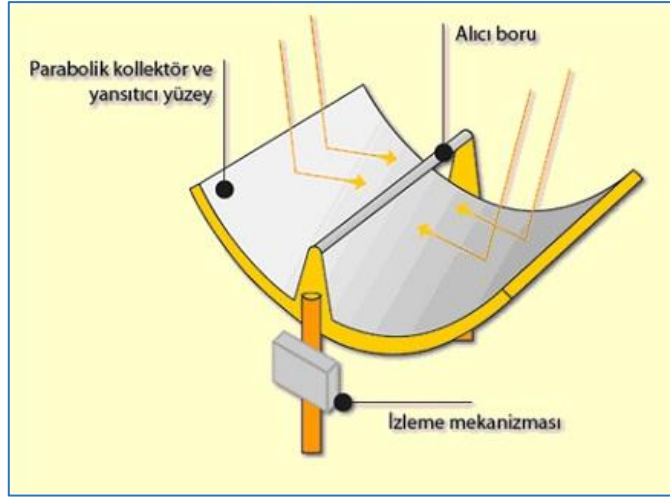
Bu kategori içerisinde konstrüksiyon malzemeleri ile elektriksel bağlantılar için gerekli olan donanım malzemeleri, solar kablo ve konnektörler, elektrik panoları ve şalt cihazları gibi malzemeler bulunur.

4.4. GÜNEŞ ENERJİSİYLE ELEKTRİK ÜRETİLMESİ

Güneş enerjisiyle elektrik enerjisi elde etmenin temel olarak 2 farklı yöntemi vardır. Bunlardan ilki, yüksek sıcaklık ilkesi ile çalışan yoğunlaştırıcı sistemler, ikincisi ise bu çalışmanın da konusunu teşkil eden ışığın doğrudan doğruya elektrik enerjisine dönüştürülmesi yöntemiyle çalışan fotovoltaik sistemlerdir.

4.4.1. Yoğunlaştırıcı Sistemler

Elektrik üretiminde birincil enerji kaynağı olarak güneş enerjisini kullanan sistemler yoğunlaştırılmış fotovoltaik sistemler olarak adlandırılır. Parabolik güneş kolektörleri diğer termoelektrik teknolojilerine nazaran en yaygın kullanılmakta olan teknolojidir. Bu sistemlerde parabolik şekilde oluk kolektörler kullanılmakta ve bu kolektörler güneş ışınının toplanmasında önemli görev üstlenirler. Nitekim bu güneş enerjisi santrallerinde çalışma sıvısı, kolektörlerin odak noktalarının olduğu yere yerleştirilerek absorban boru içerisinde dolaştırılmakta ve sonrasında ısınan bu sıvıdan eşanjörler vasıtasıyla kızgın buhar elde edilmektedir.



Şekil 4.15. Parabolik oluk kolektör yapısı.



Şekil 4.16. Parabolik oluk kolektörler.

Parabolik çanak kolektör kullanılan sistemlerde de ya bir önceki paragrafta bahsedildiği şekilde benzer bir yöntem kullanılmakta ya da merkeze yerleştirilen bir motor (Stirling) aracılığıyla ısı enerjisini elektrik jeneratörü için gerekli mekanik enerjiye çevirme şeklinde bir yöntem izlenmektedir.

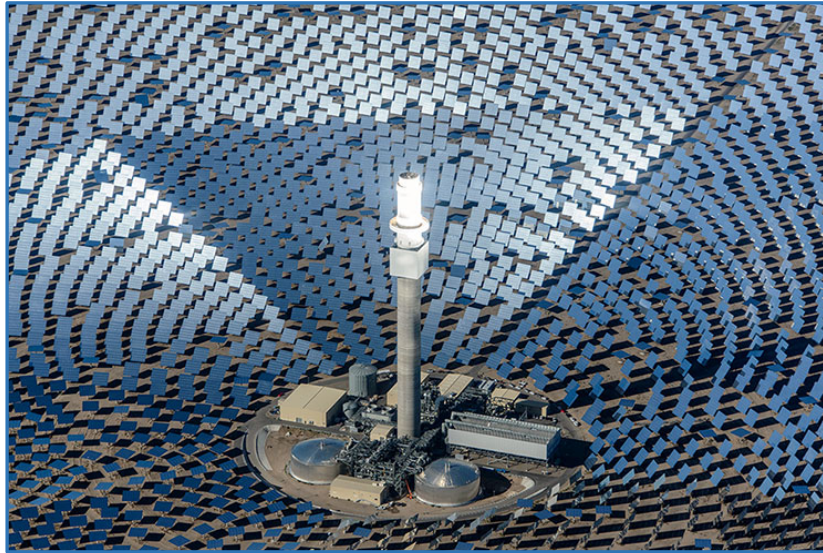
Stirling motorun çalışma prensibine bakacak olursak; stirling motoru basınç altında olacak şekilde hava, helyum veya hidrojen gibi bir gaz ile doldurulur. Bu doldurulan gaz çalışma gazı denilmektedir. Çanak kolektörde toplanan güneş enerjisiyle stirling motorun içerisinde bulunan gaz ısıtılır. Isı ile beraber stirling motorun iç basıncı artar ve sonucunda piston harekete başlar. Daha sonra stirling motorun içindeki gaz soğutulur ve basınç düşer. Isınma ve soğuma şeklinde bu çevrim böylece tekrar edilir. Normalde stirling

motoru çalışır haldeyken bu çevrim çok hızlı bir şekilde meydana gelir. Öyle ki bir içten yanmalı motorun hızı ile aynı hızdadır. Stirling motoru içerisindeki çalışma gazı, sıcak ve soğuk bölümler arasında yüksek hızda ileri ve geri hareket eder, devamlı olarak ısı kazanır, kaybeder ve neticesinde ise güç üretilir.



Şekil 4.17. Stirling motorlu parabolik çanak kolektör.

Alıcısı merkezde olan sistemlerde ise, güneş ışınları düzlemsel aynalar (heliostat) vasıtasıyla alıcı olarak adlandırılan ısı değiştiricisine yansıtılmaktadır. Alıcı kısmında ısıtılan çalışma sıvısından, konvansiyonel yöntemlerle elektrik enerjisi elde edilmektedir [43].



Şekil 4.18. Merkezi alıcılı güneş enerjisi sistemleri.

Güneş enerjisi santralının planlanmasında göz önünde bulundurulması gereken başlıca parametreleri üç başlıkta toplamak mümkündür. Bunlar;

- Güneş enerjisi ve iklim yapısının değerlendirilmesi,
- Parametrelerin optimizasyonu,
- Bölge seçimidir.

Fotovoltaik santralin tesis edileceği ideal bölge seçiminde ise aşağıdaki ölçütler göz önünde bulundurulmalıdır.

- Yıllık yağış miktarı düşük olmalı,
- Bulutsuz ve sissiz bir atmosfere sahip olmalı,
- Hava kirliliği olmamalı,
- Ormanlık ve ağaçlık bölgelerden uzak olmalı,
- Rüzgâr hızı düşük olmalıdır [44].

4.4.2. Fotovoltaik Güneş Panelleri

Yüzeyine düşen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren güneş panelleri, yarı iletken maddeler olarak ifade edilmektedir. Fotovoltaik güneş hücrelerinin yüzeyleri çoğunlukla kare, dikdörtgen veya daire biçimindedir. Güneş hücreleri boyutları bakımından genellikle 125x125 mm veya 156x156 mm değerindedirler. Hücrelerin kalınlık değerleri ise gün geçtikçe azaldığı yapılan araştırma sonuçlarında ve bu hücreleri üreten firmaların raporlarında görülmektedir. Günümüzde üretim yapan firmaların raporları incelendiğinde hücrelerin kalınlıkları 0,15-0,2 mm değerleri arasında olduğu görülmektedir.

Güneş panelleri fotovoltaik yöntemle dayalı olarak çalışmaktadır. Bu yöntemde, hücrelerin üzerlerine ışık düşmesi sonucu hücrelerin uçlarında elektriksel bir gerilim oluşması olarak ifade edilebilmektedir. Mekanik olarak elektrik enerjisi üreten cihazların aksine güneş hücreleri hareketli parçalar olmadığından teorik ömürleri sonsuz olarak tanımlanmaktadır.

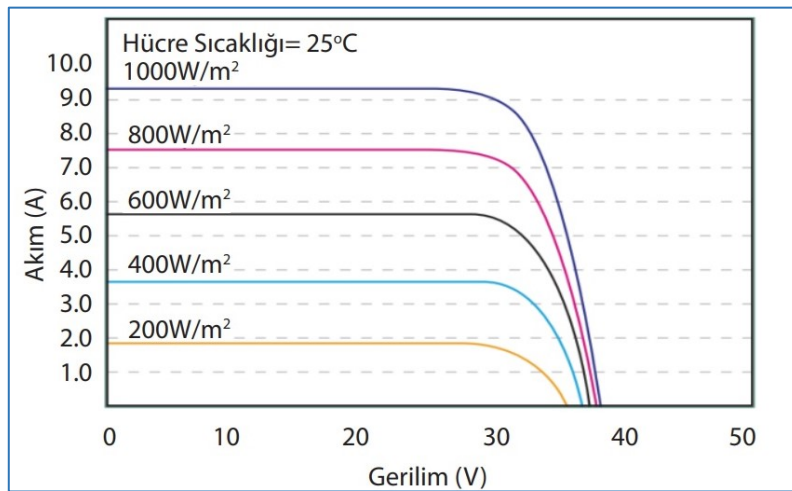
Birden fazla güneş hücresi birbirlerine paralel ya da seri bağlanmak suretiyle güç çıkışı ayarlanabilmektedir. Bu şekildeki yapıya güneş paneli ya da fotovoltaik panel adı verilmektedir. Güneş panelleri istenen tesis gücüne bağlı olarak seri ya da paralel şekilde bağlanabilme özelliği sayesinde düşük güçteki enerji santrallerinden büyük güçteki güneş

tarlalarına varıncaya kadar çok farklı seçeneklerde fotovoltaik tesisler meydana getirilebilir [22].

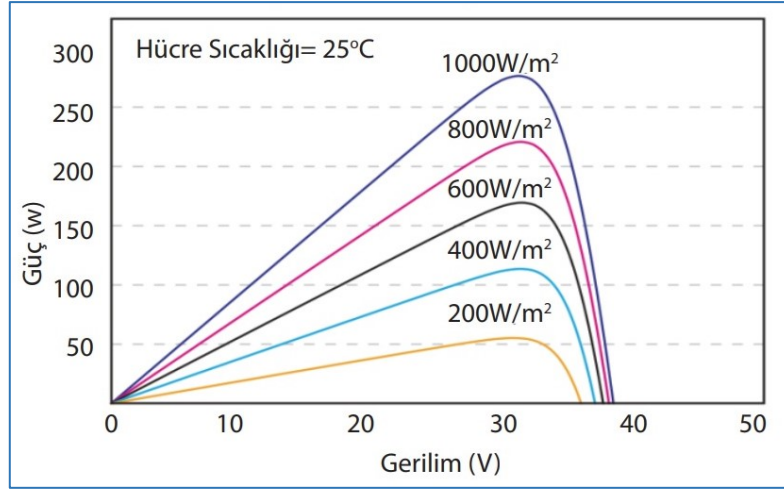
Kullanılması düşünülen fotovoltaik panelin bazı özellikleri Tablo 1’ de gösterilmiştir. Bu özellikler 1000 W/m^2 ışınım ve $25 \text{ }^\circ\text{C}$ hücre sıcaklığında ölçülen değerlerdir. Ölçüm toleransı $\pm \%3$ değerindedir [45].

Çizelge 4.2. Örnek bir fotovoltaik panelin bazı özellikleri.

Üretici Firma	<i>Schmid-Pekintaş</i>	Açık Devre Gerilimi (Voc)	<i>37,9 V</i>
Panel Tipi	<i>Polikristal-Sunsolar SPE 270</i>	Kısa Devre Akımı (Isc)	<i>9,3 A</i>
Hücre Sayısı	<i>60 (6x10)</i>	Maksimum Sistem Gerilimi	<i>1000 V</i>
Maksimum Enerji	<i>270 W</i>	Modül Verimliliği	<i>% 16,3</i>
Maksimum Gerilim (Vmp)	<i>30,7 V</i>	Ürün Garanti Süresi	<i>10 Yıl</i>
Maksimum Akım (Imp)	<i>8,8 A</i>	Performans Garantisi	<i>10 Yıl % 90 Enerji Üretim Verimliliği</i>
Maksimum Ters Akım	<i>15 A</i>		<i>25 Yıl % 80 Enerji Üretim Verimliliği</i>



Şekil 4.19. SPE 270 PV panelin akım-gerilim grafiği.

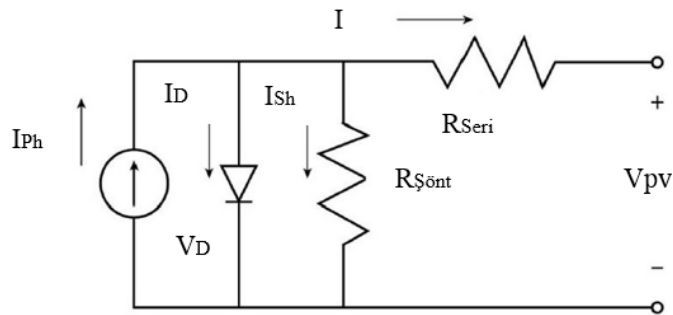


Şekil 4.20. SPE 270 PV panelin güç-gerilim grafiği.

4.4.3. Fotovoltaik Panelin Modellenmesi

Bir güneş pili güneş ışığını elektrığe dönüştürmek için tasarlanmıştır. Işık güneş hücresiyle etkileşime girdiğinde, elektrik gücü üretmek için akım ve gerilim gözlemlenir. Güneş ışığı güneş hücresinde emilir ve elektronları daha yüksek bir enerji durumuna uyarır ve uyarılan elektron elektronik devreye geçer ve devreye enerji verir. Güneş ışığı ve elektronik devre arasındaki enerji dönüşümü, p-n bağlantılı yarı iletken malzemelerle gerçekleştirilir [46].

Bir PV panelinin teorik eşdeğer devresi, doğrusal ve doğrusal olmayan elektronik bileşenler tarafından gerçekleştirilir. Her bir bileşenin özellikleri, farklı PV panelleri için güneş enerjisinin sıcaklığı ve büyüklüğüne bağlı olarak ayrı ayrı tanımlanır. PV panelinin eşdeğer devresi diyot, dirençler ve bir akım kaynağı ile temsil edilir [47].



Şekil 4.21. Bir fotovoltaik hücrenin tek diyot devre şeması.

Kirchhoff akım yasası, Şekil 4.21’da ki devreye uygulanırsa [48];

$$I = I_{ph} - I_D - I_{Sh} \quad (4.1)$$

Diyot akımı, p-n jonksiyonundan geçen toplam akım olup, matematiksel olarak fotonlar vasıtasıyla harekete geçirilen elektronlar ile boşluklar tarafından meydana getirilen akım değerlerinin toplamı olarak ifade edilir. İletim bandındaki elektron durumlarının ve valans bandındaki boşluk akımlarının Boltzman dağılımı ile net elektron akımı ve boşluk akımları;

$$I_e = I_{eo} \left\{ e^{\frac{qV_D}{mkT}} - 1 \right\} \quad (4.2)$$

$$I_h = I_{ho} \left\{ e^{\frac{qV_D}{mkT}} - 1 \right\} \quad (4.3)$$

şeklinde ifade edilir. Bu durumda diyot akımı ise;

$$I_D = I_e + I_h = I_o \left\{ e^{\frac{qV_D}{mkT}} - 1 \right\} \quad (4.4)$$

olur.

Burada;

q: Elektron yükü ($1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$),

k: Boltzmann sabiti ($1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$),

V_D : Diyot uçları arasındaki potansiyel farkı (V),

V_{pv} : Fotovoltaik pilin çıkış gerilimi (V),

I: Fotovoltaik pilin çıkış akımı (A),

I_0 : D diyodunun ters doyma akımı (A),

I_{ph} : Işık seviyesi ve p-n birleşim noktasındaki akım (A),

T: Kelvin cinsinden mutlak sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$),

m: PV panel diyot idealite faktörü (Polikristal panel için 1,3),

R_{seri} : Eşdeğer devrenin seri direnci (Ohm),

$R_{şönt}$: Eşdeğer devrenin paralel direncini (Ohm) ifade eder.

Şekil 4.21’da gösterilen güneş pili eşdeğer devresinde, Kirchhoff’un gerilimler kanunu uygulanarak, aşağıdaki kaynak akımı ifadesi elde edilir.

$$I_D = I_o \left\{ e^{\frac{qV_D}{mkT}} - 1 \right\} = I_o \left\{ e^{\frac{q(V_{pv} + I.R_{seri})}{mkT}} - 1 \right\} \quad (4.5)$$

$$I_{Sh} = \frac{V_D}{R_{\text{Şönt}}} = \frac{(V_{pv} + I.R_{seri})}{R_{\text{Şönt}}} \quad (4.6)$$

$I = I_{ph} - I_D - I_{Sh}$ olduğundan,

$$I = I_{ph} - I_o \left\{ e^{\frac{q(V_{pv} + I.R_{seri})}{mkT}} - 1 \right\} - \frac{(V_{pv} + I.R_{seri})}{R_{\text{Şönt}}} \quad (4.7)$$

elde edilir.

Denklem (4.7)’deki eşitliğin sıcaklıkla bağlantısı ise;

$$I = I_{ph}(1 + C_0(T - 300)) - I_o \left\{ e^{\frac{q(V_{pv} + I.R_{seri})}{mkT}} - 1 \right\} - \frac{(V_{pv} + I.R_{seri})}{R_{\text{Şönt}}} \quad (4.8)$$

Güneş panelleri, N_{pc} sayıda paralel kollardan oluşur. Her bir N_{pc} kol ile N_{sc} sayıda güneş pili birbirine seri olarak bağlanmıştır. Birbirlerine seri bağlı güneş pillerinin toplam gerilim değeri, akım değeri aynı olmak şartıyla her bir güneş pili gerilim değerinin birbirine eklenmesiyle bulunur. Birbirlerine paralel bağlı güneş pillerinin toplam akım değeri ise, gerilim değeri aynı olmak şartıyla her bir güneş pilinin üretmiş olduğu akım değerlerinin toplanmasıyla bulunur. Modül uçlarına uygulanan gerilim V_M ve modül akımı I_M olmak üzere;

$$V_M = N_{sc} V_{new} \quad (4.9)$$

$$I_M = N_{pc} I_{new} \quad (4.10)$$

şeklinde ifade edilir.

4.4.4. Güneş Enerjili Dalgıç Pompa Sistemi

Dalgıç pompa, hava ve su geçişi olmayacak şekilde sıkı bir biçimde kaplanmış, pompa gövdesi üzerine bitişik halde olan motorlara verilen genel bir isimdir. Herhangi bir dış hava basıncına ihtiyaç duymadan akışkanın yukarı basılması dalgıç pompaların en önemli

avantajlarından biridir. Mekanik salmastra (biri hareketli (dönen), diğeri sabit bulunan iki makine parçası arasında sızdırmazlık sağlayan parça) sistemleriyle akışkanın açık olan noktadan dışarıya sızması engellenir. Dalgıç pompa doğrudan borulara, flexible borulara veya tesisata bağlı olabilmektedir. Birçok tipi bulunan dalgıç pompaların tek kademe özellikli olanları; drenajlarda, kanalizasyonlarda ve genel endüstride çamur basmakta kullanılır. Ayrıca akvaryumda kullanılan pompalar en küçük dalgıç pompalardandır. Derin sondajlarda ve kuyularda ise su çıkarmakta kullanılan ve yaygın bir şekilde tercih edilen türler çok kademeli dalgıç pompalardır. Bu pompalar genellikle içme suyu uygulamaları, sprinkler sistemleri (yangın söndürme), yer altı suyu seviyesinin kontrol edilmesi ve ısı pompası uygulamalarındaki temiz veya az kirli suların basınçlandırılmasında tercih edilmektedir. Park ve bahçelerdeki süs havuzları ve fiskiyeler de bu pompaların kullanıldığı alanlardan bazılarına örnek olarak verilebilir.

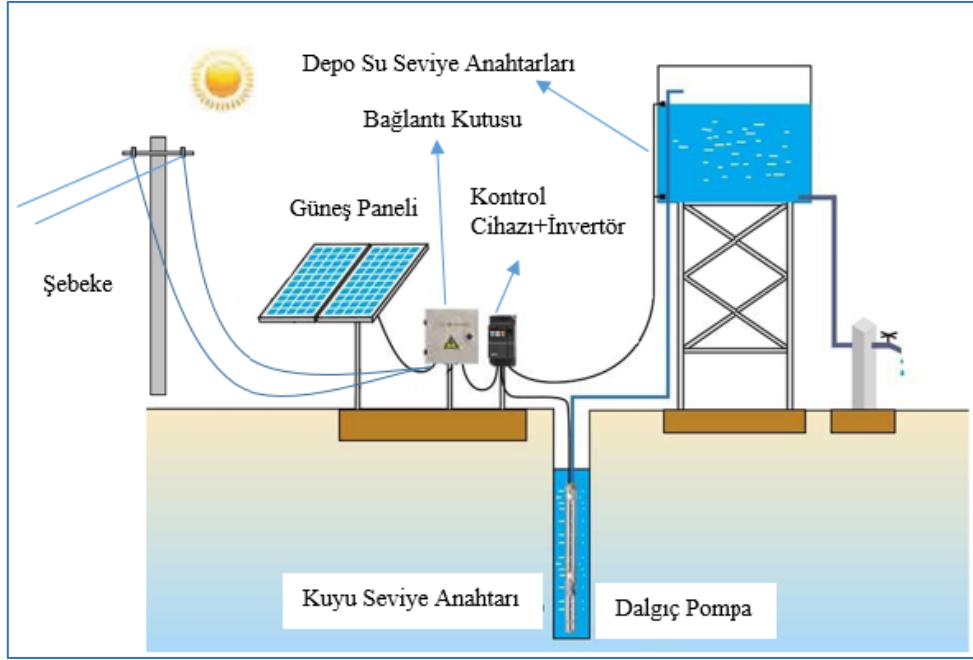
Dalgıç pompalar, bakım gerektirmeyen ve akışkanın içine konulduktan hemen sonra kullanıma hazır hale gelmesi sebebiyle ön hazırlık gerektirmeden kullanılabilen cihazlardır. Bütünüyle akışkanın içerisinde yer aldıklarından ve burada çalışıklarından, kayda değer bir seviyede gürültü ve titreşime neden olmazlar. Ayrıca pompa ve motorun bulunduğu konum itibarıyla kullanıcı tarafından müdahale edilmesine elverişli olmaması sebebiyle, hatalardan kaynaklanan arıza ihtimali de oldukça düşürmektedir [49].

Güneş enerjili sulama sistemlerinde tercih edilen pompalar ise kurulacak bölgede elektrik hattının olup olmasına göre ikiye ayrılır. Bunlar biri alternatif akımla (AC) çalışan dalgıç pompa, diğeri doğru akımla (DC) çalışan dalgıç pompadır. AC sistemde çalışan dalgıç pompalar genellikle elektrik dağıtım şebekesinin bulunduğu bölgelerde bu şebekelere bağlantılı olan on-grid fotovoltaik sistemlerde, DC sistemde çalışan dalgıç pompalar da genellikle elektrik dağıtım şebekesinin bulunmadığı yani şebekeden bağımsız off-grid sistemlerde kullanılır. Her iki durumda da bakım masrafları ve maliyet açısından bataryasız sistem öngörülmüştür.

4.4.4.1. Şebeke bağlantılı (On-grid) PV sistem

Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler, üretilen elektrik enerjisini akülerde depolamak yerine üretim yerinde tüketilmesi prensibine dayalı olarak çalışmaktadır. Atmosferden gelen güneş ışınlarının güneş panelleri üzerine temas etmesiyle DC elektrik enerjisi üretilir. Üretilen doğru akım enerjisi invertör yardımıyla alternatif akıma dönüştürülür ve elektrik dağıtım şebekesine bağlanır. Böylelikle panellerden üretilen enerji şebeke

sistemine gönderilmiş olur. Eğer güneş panellerinin ürettiği enerji yetersiz gelirse ihtiyaç duyulan enerji şebekeden karşılanır. Hem üretilen hem de tüketilen enerji çift yönlü sayaç yardımıyla ölçülür ve belli periyotlar sonunda ilgili dağıtım şirketiyle mahsuplaşmaya gidilir.



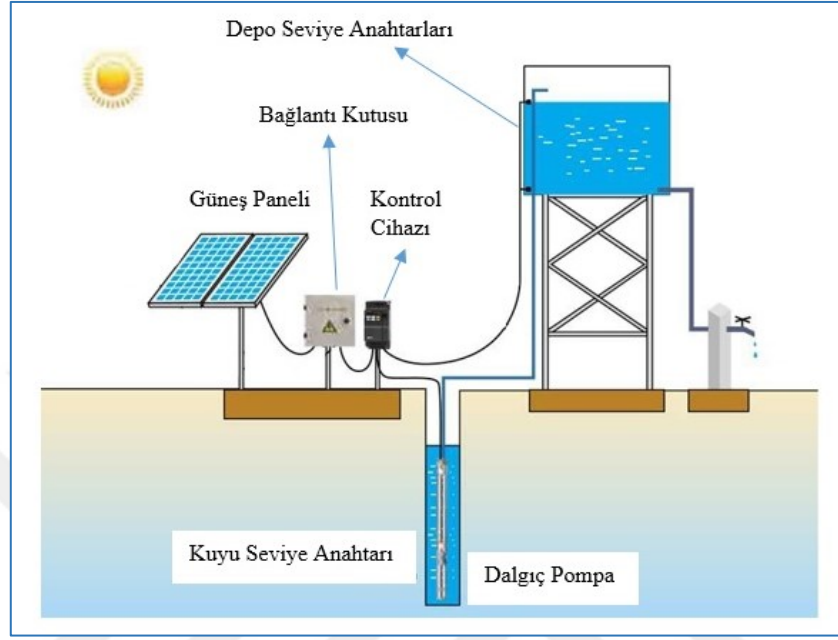
Şekil 4.22. On-grid PV sistemin çalışma prensibi.

4.4.4.2. Şebeke bağlantısız (Off-grid) PV sistem

Şebekenin bulunmadığı yerlerde fazla üretilen enerjinin şebekeye verilmesi gibi bir durum söz konusu olmadığından bu sistemde doğru akımla (DC) çalışan dalgıç pompaların kullanılması halinde invertöre gerek kalmayacaktır. Bu haliyle hem maliyet açısından hem de kurulum kolaylığı açısından fizibilitesi yüksek bir yatırım olarak göze çarpmakta olup DC dalgıç pompa motoru çok derin kuyularda ne yazık ki verimleri çok iyi olmamakta ya da verimli olabilecek bir sistem yüksek maliyetli olabilmektedir. Ama derin olmayan su kuyuları ve su kanalları ile 3 kW güce kadar olan uygulamalarda çok ideal bir sistem olarak karşımıza çıkmaktadır [50].

Genel olarak on-grid ile off-grid sistem arasındaki fark sistemin kurulacağı bölgede şebekenin olup olmamasıyla doğrudan ilgilidir. Ancak güneş enerjisi sisteminin çıkış gerilimi DC olduğu için AC sisteme çevirmekte kullanılan invertör kayıpları olmayacağından off-grid sistemler on-grid sistemlere göre daha verimli çalışmaktadır. Batarya bakımı ve yatırım maliyetleri yüksek olduğu için batarya kullanımı hem on-grid hem de off-grid sistemde göz önünde bulundurulmamıştır. Her iki sistemde de su

temininin devamlılığı sağlamak 3nem arz ettiğinden su tankı kullanılması zorunluluktur. Bununla birlikte, off-grid sistemlerde g3neşsiz g3nleri de hesaba katarak sistemin sorunsuz çalışması için su tankı ihtiyaa g3re biraz daha b3y3k seçilmesi daha uygun olacaktır.



şekil 4.23. Off-grid PV sistemin çalışma prensibi.

5. DÜZCE'DE BULUNAN İÇME SUYU SONDAJ KUYULARI VE PARAMETRELERİ

Çizelge 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 ve 5.6'da görüleceği üzere toplam 83 adet sondaj kuyusu olup 75 adet aktif olarak kullanılmakta olan sondaj kuyusu bulunmaktadır. Bu sondaj kuyularından Düzce Merkez'de 48, Cumayeri'nde 6, Çilimli'de 12, Gölyaka'da 2, Gümüşova'da 9, Yığılca'da 6 olmak üzere toplam 83 adet mahallin su ihtiyacı karşılanmaktadır. Bazı köylerde bulunan sondaj kuyuları aktif değilken bazı köylerde ise birden fazla sondaj kuyusu bulunmakta ve bu tesislerde güçleri genellikle 7,5-15 kW aralığında değişen dalgıç pompalar kullanılmaktadır [51].

Çizelge 5.1. Düzce-Merkez ilçesinde içme suyu ihtiyacını sondaj kuyusundan karşılayan köyler.

Sıra No	Köyün Adı	Sondaj Sayısı	Sondajdan Faydalanan Köyler	Açıklama	Kuyu Derinliği (m)	Statik Seviye	Dinamik Seviye	Verimi (lt/sn)	Kuyu Çapı (Ø)	Pompa Gücü (HP)
1	Akbıyıklar	2	X	2 Ad. Aktif	104	60	74	4	175	12,5
2	Altınpınar	1	X	Aktif						
3	Aynalı	1	X	Aktif						10
		1	X	Aktif	120	30	72	4	175	10
4	Balıca	1	X	Aktif						15
5	Bataklıçiftlik	1	X	Aktif						15
6	Çınardüzü	1	X	Aktif						
7	Çınarlı	1	X	Aktif						10
8	Çiftlikköy (Aslanlar M.)	2	X	2 Ad. Aktif	130	50	90	4	225	10
9	Doğanlı	1	X	Aktif						17,5
10	Duraklar		X	Küçük Ahmetler Grubu						
11	Düzköy	1	X	Aktif						
12	Eminaçma	1	X	Aktif	180	60	150	2.2	175	12,5
13	Esençam	1	X	Aktif	100	30	60	5	175	12,5
14	Esentepe	1	X	Aktif	152		60	3.5		12,5

Çizelge 5.1 (devam). Düzce-Merkez ilçesinde içme suyu ihtiyacını sondaj kuyusundan karşılayan köyler.

Sıra No	Köyün Adı	Sondaj Sayısı	Sondajdan Faydalanan Köyler	Açıklama	Kuyu Derinliği (m)	Statik Seviye	Dinamik Seviye	Verimi (lt/sn)	Kuyu Çapı (Ø)	Pompa Gücü (HP)
15	Gökçe	1	X	Gökçe Grubu	110	12	80	15	225	17,5
16	Güldere	1	X	Aktif	166	75	130	2	175	10
17	Gümüşpınar	1	X	Aktif						15
18	Günbaşı	1	X	Aktif	90	30	70	3	175	
19	Gündolaması	1	X	Aktif						12,5
20	Hacı Ahmetler		X	Küçük Ahmetler Grubu						
21	Hacialiler	1	X	Aktif						12,5
22	Hocaoğlu		X	Kızılıcık Grubu						
23	Kadioğlu	1	X	Aktif	108	30	54	5	175	17,5
24	Karaçalı	1	X	Aktif						
25	Kızılıcık		X	Kızılıcık Grubu	80	Artezyen		50	250	25+25
26	Kirazlı	1	X	Aktif						15
27	Konaklı	1	X	Aktif						10
28	Kurtsuyu	1	X	Aktif	246		198	3.5	175	17,5
29	Kuşaçması		X	Kızılıcık Grubu						
30	Küçük Ahmetler		X	Küçüka Ahmetler Grubu	90	20	60	10	225	20
31	Küçük Mehmetler	1	X	Küçük Ahmetler Grubu						
32	Muncurlu (Besni Mah.)	1	X	Aktif						25
33	Musababa	1	X	Pasif						
34	Nasırlı	1	X	Aktif	66	3	35	0.4	175	
		1	X	Aktif	180	45	98	3.2	175	15
35	Osmanca	1	X	Aktif	110	50	96	2.2	175	10
36	Otluoğlu		X	Kızılıcık Grubu						
37	Ovapınar	1	X	Pasif	200	110	140	3	175	12,5
38	Ozanlar		X	Kızılıcık Grubu						
39	Paşaormanı		X	Gökçe Grubu						

Çizelge 5.1 (devam). Düzce-Merkez ilçesinde içme suyu ihtiyacını sondaj kuyusundan karşılayan köyler.

Sıra No	Köyün Adı	Sondaj Sayısı	Sondajdan Faydalanan Köyler	Açıklama	Kuyu Derinliği (m)	Statik Seviye	Dinamik Seviye	Verimi (lt/sn)	Kuyu Çapı (Ø)	Pompa Gücü (HP)
40	Pınarlar		X	Gökçe Grubu						
41	Sinirci		X	Küçük Ahmetler Grubu						
42	Taşköprü	1	X	Aktif	72		16	2.5	175	12,5
43	Turaplar		X	Kızılıcık Grubu						
44	Yaka	1	X	Aktif	175	100	160	2	175	
45	Yayakbaşı	1	X	Aktif	80	30	60	4	175	15
46	Yayla	2	X	2 Ad. Aktif	75	20	45	3,5	200	17,5
47	Yenikaraköy		X	Kızılıcık Grubu						
48	Yenitaşköprü	1	X	Kızılıcık Grubu						
49	Yeşilçam	1	X	Aktif						
50	Yeşilçimen	1	X	Aktif						10
Toplam		42	52							

Çizelge 5.2. Düzce-Cumayeri ilçesinde içme suyu ihtiyacını sondaj kuyusundan karşılayan köyler.

Sıra No	Köyün Adı	Sondaj Sayısı	Sondajdan Faydalanan Köyler	Açıklama	Kuyu Derinliği (m)	Statik Seviye	Dinamik Seviye	Verimi (lt/sn)	Kuyu Çapı (Ø)	Pompa Gücü (HP)
1	Çamlıpınar	1	X	Pasif						12,5
2	Çelikdere	1	X	Pasif						12,5
3	Dokuz Değirmen	1	X	Aktif						10
4	Esentepe	1	X	Pasif						15
5	Hamascık	1	X	Aktif						15
6	İğdır	1	X	Pasif						12,5
7	Sırtpınar	1	X	Aktif						10
8	Üvezbeli	2	X	Aktif						10+10

Çizelge 5.2 (devam). Düzce-Cumayeri ilçesinde içme suyu ihtiyacını sondaj kuyusundan karşılayan köyler.

Sıra No	Köyün Adı	Sondaj Sayısı	Sondajdan Faydalanan Köyler	Açıklama	Kuyu Derinliği (m)	Statik Seviye	Dinamik Seviye	Verimi (lt/sn)	Kuyu Çapı (Ø)	Pompa Gücü (HP)
9	Yenitepe	1	X	Aktif						12,5
10	Yeşiltepe	1	X	Aktif						15
Toplam		11	10							

Çizelge 5.3. Düzce-Çilimli ilçesinde içme suyu ihtiyacını sondaj kuyusundan karşılayan köyler.

Sıra No	Köyün Adı	Sondaj Sayısı	Sondajdan Faydalanan Köyler	Açıklama	Kuyu Derinliği (m)	Statik Seviye	Dinamik Seviye	Verimi (lt/sn)	Kuyu Çapı (Ø)	Pompa Gücü (HP)
1	Alacamescit	1	X	Aktif	106		30	2,4	175	12,5
2	Döngelli	1	X	Aktif						12,5
3	Dikmeli (Söğütlü Grubu)		X	Söğütlü Grubu						
4	Esenli	1	X	Aktif						15
5	İshaklar		X	Söğütlü Grubu						
6	Karaçörtlen	1	X	Aktif	55				175	17,5
7	Kuşoğlu		X	Söğütlü Grubu						
8	Söğütlü	1	X	Söğütlü Grubu	80		60	6.5	225	17,5
9	Pırpır	3	X	2 Ad. Aktif 1 Ad. Pasif	90	6	35	4	175	15+15 +12,5
10	Yeniköy	1	X	Aktif						10
11	Yukarı Karaköy	1	X	Aktif	250	120	150	2	250	15
12	Kırk Harman	1	X	Aktif	165		122	0,5	175	7,5
Toplam		11	12							

Çizelge 5.4. Düzce-Gölyaka ilçesinde içme suyu ihtiyacını sondaj kuyusundan karşılayan köyler.

Sıra No	Köyün Adı	Sondaj Sayısı	Sondajdan Faydalanan Köyler	Açıklama	Kuyu Derinliği (m)	Statik Seviye	Dinamik Seviye	Verimi (lt/sn)	Kuyu Çapı (Ø)	Pompa Gücü (HP)
1	İçmeler	1	X	Aktif						12,5
2	Sarıdere	1	X	Aktif	200	30	150	3	225	12,5
Toplam		2	2							

Çizelge 5.5. Düzce-Gümüşova ilçesinde içme suyu ihtiyacını sondaj kuyusundan karşılayan köyler.

Sıra No	Köyün Adı	Sondaj Sayısı	Sondajdan Faydalanan Köyler	Açıklama	Kuyu Derinliği (m)	Statik Seviye	Dinamik Seviye	Verimi (lt/sn)	Kuyu Çapı (Ø)	Pompa Gücü (HP)
1	Adaköy	1	X	Aktif						12,5
2	Çaybükü	1	X	Aktif						
3	Elmacık	2	X	2 Ad. Aktif	250	128	162	3		12,5+15
4	Hacıkadirler	1	X	Aktif						12,5
5	Kahveleryanı	1	X	Aktif						12,5
6	Selamlar	1	X	Aktif						12,5
7	Soğuksu	1	X	Aktif	100	28	50	1.8		
8	Sultaniye	1	X	Aktif	80	17	66			12,5
9	Yakabaşı	1	X	Aktif						10
Toplam		10	9							

Çizelge 5.6. Düzce-Yığılca ilçesinde içme suyu ihtiyacını sondaj kuyusundan karşılayan köyler.

Sıra No	Köyün Adı	Sondaj Sayısı	Sondajdan Faydalanan Köyler	Açıklama	Kuyu Derinliği (m)	Statik Seviye	Dinamik Seviye	Verimi (lt/sn)	Kuyu Çapı (Ø)	Pompa Gücü (HP)
1	Çamlı	1	X	Aktif				2		12,5
2	Gelenöz	1	X	Aktif	128			0,5		10

Çizelge 5.6 (devam). Düzce-Yığılca ilçesinde içme suyu ihtiyacını sondaj kuyusundan karşılayan köyler.

Sıra No	Köyün Adı	Sondaj Sayısı	Sondajdan Faydalanan Köyler	Açıklama	Kuyu Derinliği (m)	Statik Seviye	Dinamik Seviye	Verimi (lt/sn)	Kuyu Çapı (Ø)	Pompa Gücü (HP)
3	Gökçe ağaç	1	X	Aktif	200			3		12,5
4	Hocaatman	1	X	Aktif						12,5
5	Kocaoğlu	1	X	Aktif	130		96	1,8	175	12,5
6	Sarıkaya	1	X	Aktif	210			3		10
7	Tuğrul	1	X	Pasif Off-Grid PV	210			2		10
Toplam		7	7							

Yığılca ilçesi Tuğrul köyü hariç diğer tüm köylerde dalgıç pompa sistemlerinin tamamı AC gerilim altında çalışabilen, elektrik dağıtım şebekesinden beslenen tesislerdir.

6. DALGIÇ POMPA SEÇİMİ VE SU TÜKETİM ANALİZİ

İçme suyu kuyularının bulunduğu 83 köyden 78 tanesinin nüfusu 1000 kişiden azdır [52]. PV dalgıç pompa sisteminin fayda maliyet analizi yoğun olan popülasyon aralığı yani 1000 kişilik bir nüfus için yapıldığında daha geniş bir topluluğa hitap edeceği görülmektedir.

Çizelge 6.1. Düzce'de su ihtiyacını içme suyu kuyusundan sağlayan köylerin nüfus dağılımı.

Köyler	Nüfus Miktarı Belirtilen Değerler Arasında Olan Köy Sayısı					Toplam
	<500	500<1000	1000<1500	1500<2000	2000<2500	
Merkez	22	22	1	1	2	48
Cumayeri	6					6
Çilimli	6	5	1			12
Gölyaka		2				2
Gümüşova	4	5				9
Yığılca	5	1				6
Toplam	43	35	2	1	2	83

Günlük su tüketimine baktığımızda Düzce iline ait günlük kişi başına su tüketim miktarı (litre/kişi-gün) 179 litredir [53]. Köy nüfusunun 1000 kişi olduğu kabul edilirse, köydeki büyükbaş, küçükbaş, tavuk, hindi, ördek gibi muhtemel hayvan sayıları da dikkate alınarak ve yatılı bölge okulu, askeri birlik, sağlık ocağı gibi tesislerin olmadığı farz edilerek yapılan hesaplamalar neticesinde mevcut durumda su tüketim miktarının 2,2668 (8,2 m³/h) olduğu 30 yıl sonra ise 3,0435 (10,9 m³/h) olacağı hesaplanmıştır [54].

Çizelge 6.2. Nüfusu 1000 kişi olan bir köyde mevcut durumda ve 30 yıl sonra ihtiyaç duyulabilecek su miktarı.

İhtiyaç Türleri		Nüfus	Birim İhtiyaç (lt/gün)	Toplam İhtiyaç (lt/gün)		Mevcut Durum (lt/sn)	Gelecek Durum (lt/sn)	
Görevsel İhtiyaçlar	İnsan	Mevcut	1.000	179	179.000	2,1	2,2598	3,0366
		20 yıl sonra	1.245	179	222.804	2,6		
		30 yıl sonra	1.375	179	246.114	2,8		
	Büyükbaş	250	50	12.500	0,14			
	Küçükbaş	250	15	3.750	0,04			
	Askeri Birlik	-	500	-	0,00			
Özel İhtiyaçlar	Tavuk	1.250	0,15	188	0,002	0,0069	0,0069	
	Hindi	300	0,70	210	0,002			
	Ördek	250	0,80	200	0,002			
	Yatılı Okul (Öğrenci)	-	500	-	0,000			
	Sağlık Ocağı (Yatak Adedi)	-	250	-	0,000			
Toplam İhtiyaç (lt/sn)						2,2668 (8,2 m ³ /h)	3,0435 (10,9 m ³ /h)	
						Mevcut Durumda	30 Yıl Sonra	

30 yıl sonrası için su deposunun kapasitesi hesaplanırsa;

$$V = \frac{Q_{ih} \times 86400}{3 \times 1000} + F \quad (6.1)$$

Burada;

V: Depo hacmi (m³)

Q_{ih}: 30 yıl sonra ihtiyaç duyulacak su miktarı (lt/sn)

F : Olası yangın için ihtiyaç duyulan su miktarı (m³)

1/3: Suyun depolanma zamanı

1000 : Sabit sayı

86400 : 24 saatteki saniye değeridir.

Terfili sistemlerde suyun depolama zamanı $1/3$ iken cazibeli sistemlerde bu oran günün $1/4$ 'ü dür. Nüfus miktarı 1000 kişiden fazla olması halinde olası yangın için ihtiyaç duyulan su miktarı $F=36 \text{ m}^3$ olurken, nüfusun 1000 kişiden az olması halinde ise $F=18 \text{ m}^3$ olarak dikkate alınacaktır. Denklem 6.1'de veriler yerine yazıldığında su deposunun hacmi $V = 123,65 \text{ m}^3$ bulunacaktır. Basit bir hesaplama yapacak olursak 6,5 metre en, 6,5 metre boy ve 3 metre yükseklikte olan bir su deposunun yapılması 30 yıl sonra ihtiyaç duyulması muhtemel olan suyun depolanması için yeterli olacaktır. $3,5 \text{ lt/sn}$ ($\approx 12,6 \text{ m}^3/\text{h}$) özellikli 15 kW güçte bir dalgıç pompa 150 metre derinlikten suyu alarak 100 metre yükseklikteki su deposuna suyu basabilme özelliğine sahiptir. Nitekim Düzce'deki köylerde kullanılan dalgıç pompalar ağırlıklı olarak 15 kW güçtedir. Böyle bir dalgıç pompa 123 m^3 lük bir depoyu yaklaşık 8 saat çalışarak dolduracak ve bu depoyu doldurken harcayacağı elektrik sarfiyatı da yaklaşık 120 kWh olacaktır.

7. PV SANTRALİN ENERJİ ANALİZİ

Bir güneş enerjisi santralının ekonomik analizinin iyi yapılabilmesi için güneş enerjisi santralının yıllık enerji üretiminin doğru hesaplanması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında yıllık enerji üretim tahminleriyle ilgili araştırmalar yapılırken hassasiyetin mümkün olduğunca artırılabilmesi için birkaç farklı kaynaktan veriler alınarak en uygun sonuca ulaşılabilecektir. Başta dünya üzerinde çok yaygın olarak kullanılan PVsyst yazılımıyla tahmin edilen elektrik üretim verileri ile bu programdan elde edilen verilere ek olarak mevcut durumda yapımı tamamlanmış bir PV santralinden elde edilen yıllık elektrik üretim verileri de dikkate alınacaktır. Ayrıca her iki şekilde elde edilen verilerin 7.3 konu başlığında bahsedilen eğri uydurma (regresyon analizi) modeliyle analizi yapılarak modelleme yoluyla bulunan verilerin de hesaba katılmasıyla ortalama değer bulunacak ve hesaplanacak olan bu değer yıllık ortalama elektrik enerjisi üretim verisi olarak kullanılacaktır.

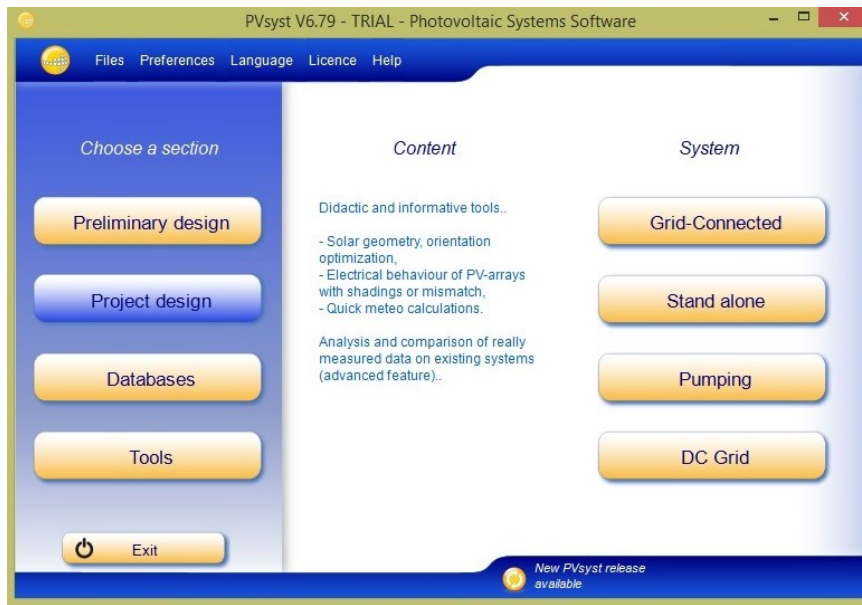
7.1. PVsyst PROGRAMI VE ELEKTRİK ÜRETİM TAHMİNİ

PVsyst İsviçre'deki Cenevre Üniversitesinden mezun André Mermoud ve İsviçre'deki EPFL (Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne) üniversitesinden mezun Michel Villoz tarafından geliştirilen ve C programlama dili ile yazılan bir simülasyon programıdır. PVsyst programı vasıtasıyla PV sistemlerin boyutlandırılması, simülasyon ve veri analizi yapılabilmektedir. Bu yazılım içeriğinde yer alan araçlar sayesinde mimar, mühendis ve araştırmacılar çalışmalarını kolay bir şekilde gerçekleştirebilmektedirler. PVsyst, birçok farklı kaynaktan elde ettiği kişisel verileri bulundurduğu gibi Meteororm verilerini de alabilmektedir. Ayrıca PVsyst programı, şebekeye entegre sistemlerin modellemesini yapabildiği gibi şebekeden uzak sistemlerin de modellemesini yapabilmektedir. Tüm bunlara ilave olarak PVsyst programı simülasyon programları içerisinde bankalar tarafından kabul gören nadir programlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

PVsyst programı hesaplamalar yaparken bazı detayları dikkate alarak işlemini gerçekleştirmektedir. Bu detaylar arasında;

- Tesisin kurulacağı yerdeki meteorolojik veriler,
- Bölgenin kirlilik oranı (Kum fırtınası, çamur yağmuru vb.)
- Detaylı güneş ışınım değerleri,
- Gölgeleme ve bulutlu gün sayılarına ait analizler,
- Yeryüzünden gerçekleşen yansıma oranları (Albedo),
- Yerleşim planları,
- Kurulması düşünülen güneş panelinin yönü ve açısı,
- Kullanılması düşünülen güneş paneline ait özellikler,
- Güneş panellerine ait yıllık verim kaybı oranları,
- İnvörtörler cihazlarına ait özellikler,
- Besleme kablolarının mesafesi,
- Yapılan bağlantı noktasına dair sayı,
- Elektrik dağıtım şebekesine dair özellikler,

gibi detaylara yer vererek hesaplamalar yapmaktadır [22]. PVSyst'in 6.79 versiyonuna ait ara yüz görüntüsü Şekil 7.1'de gösterilmektedir.



Şekil 7.1. PVsyst programı arayüz görünümü.

Yukarıda bahsedilen detayların büyük bir çoğunluğu yazılım programındaki kendi veri tabanından elde edebileceği gibi bir kısmı dışarıdan da ilave edilebilir. Dışarıdan ilave edilebilen en önemli özelliklerden birisi de gölgelenme ve bulutlu gün sayılarına ait analizler olduğu söylenebilir. Gölgeleme etkisi güneş enerjisi sistemlerinde bilindiği üzere büyük çapta verim kaybına ve üretim değerlerinde düşmelere neden olur. Bu anlamda yıl boyunca gölgeden uzak olan mahallerde güneş enerjisi santralleri kurmak önem arz etmektedir. Genellikle güneş enerjisi tesis yeri seçimlerinde etrafı açık olan araziler seçilse de ve başlangıçta bu araziler üzerinde herhangi bir gölgelenme sorunuyla karşılaşılacakmış gibi görünse de bazı durumlarda özellikle kış mevsimlerinde yani güneş ışınlarının daha yatay geldiği zamanlarda tesis çevresinde bulunan yükseltilerin güneş ışınlarını belirli saatlerde kestiği ve dolayısıyla bu durumun da elektrik enerjisi üretiminde büyük oranda etkileyeceği öngörülmektedir. Kısacası bir güneş enerjisi santrali kurulacağı zaman yer seçiminin çok büyük bir önemi olduğu bilinmelidir. Yer seçimi yapılacağı zaman kullanılan en önemli cihazlardan biri de Solmetric firmasına ait olan SunEye olarak tanımlanan gölge ölçüm cihazıdır [22].

SunEye, yer seçimi yapılacağı zaman güneşlenme bakımından en uygun noktanın belirlenmesini sağlayan ve yer seçimi yapıldıktan sonra seçilen noktanın gölgelenme analizini yaparak güneşlenme süresini daha hassas ölçebilen ve güneş panellerinin güneşten maksimum derecede faydalanabilmesi için nasıl tasarlanması gerektiği konusunda kullanıcıyı yönlendiren bir cihazdır. Balık gözü mantığıyla çalışmakta olan SunEye cihazı, bulunduğu noktada güneş yörüngesini küresel konumlama sistemi (GPS) bağlantısı ile belirlemekte ve çektiği fotoğraf üzerinde gölgelenme analizi yapmaktadır. SunEye cihazının görüntüsü Şekil 7.2’de gösterilmektedir [55].



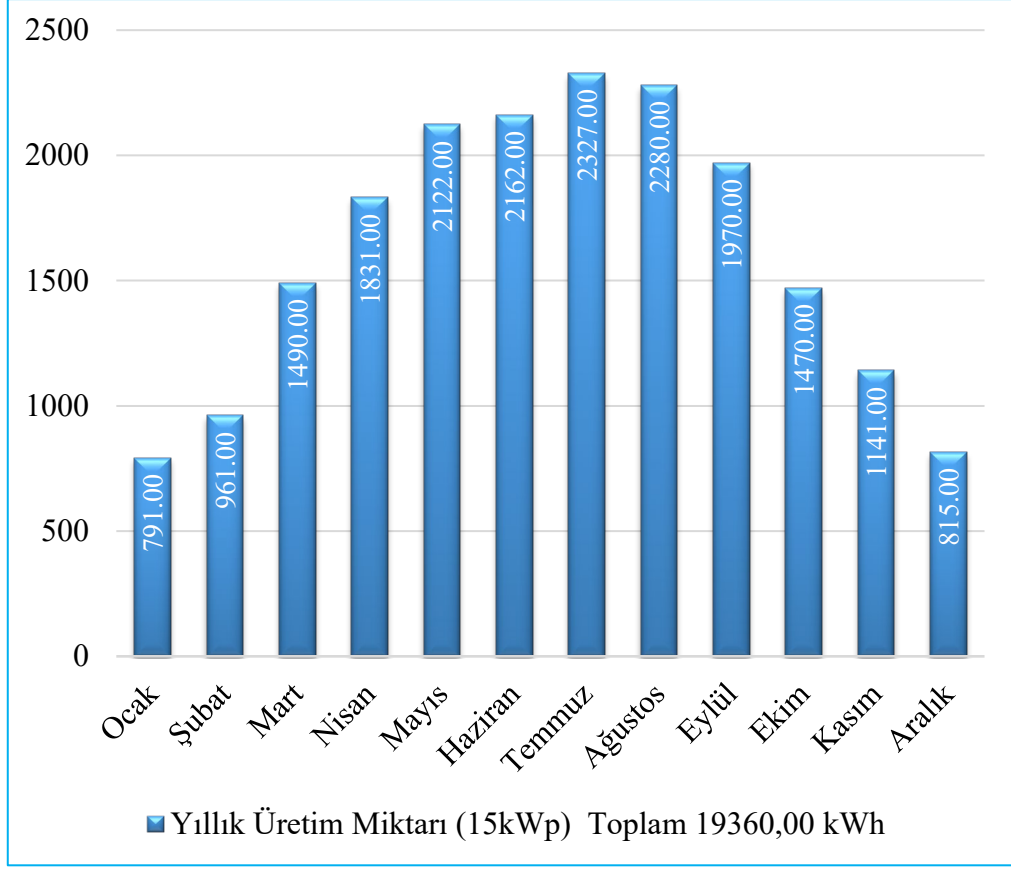
Şekil 7.2. SunEye cihazı görünümü.

PVsyst ve Meteonorm veri tabanı ile SunEye cihazı arasında nasıl bir bağlantı olduğu Şekil 7.3'te gösterilmektedir.



Şekil 7.3. PVsyst, Meteonorm ve SunEye arasındaki ilişki.

Meteonorm ve SunEye'dan alınan bilgilerin PVsyst programında değerlendirilmesiyle bir güneş enerjisi santralının günlük, aylık ve yıllık bazda üretebileceği enerji miktarı hesaplanabilir. Dünya üzerinde güneş enerjisi sistemleri için en yaygın olarak kullanılan ve en çok güven duyulan analiz programı PVsyst olduğu bilinmelidir. Yapılan araştırmalara göre PVsyst programından elde edilen sonuçlar ile sahada alınan sonuçların büyük oranda birbiriyle eşleştiği belirtilmektedir. Bununla beraber PVsyst programından elde edilen sonuçların \pm % 5'lik bir hata payı olduğu da ayrıca belirtilmektedir [22]. PVsyst programına göre Düzce'de 15 kWp güçteki bir fotovoltaik tesisin yıllık elektrik üretim grafiği Şekil 7.4'te gösterilmiştir.



Şekil 7.4. PVsyts programına göre Düzce’de 15 kWp güçteki güneş santralının yıllık enerji üretim miktarı.

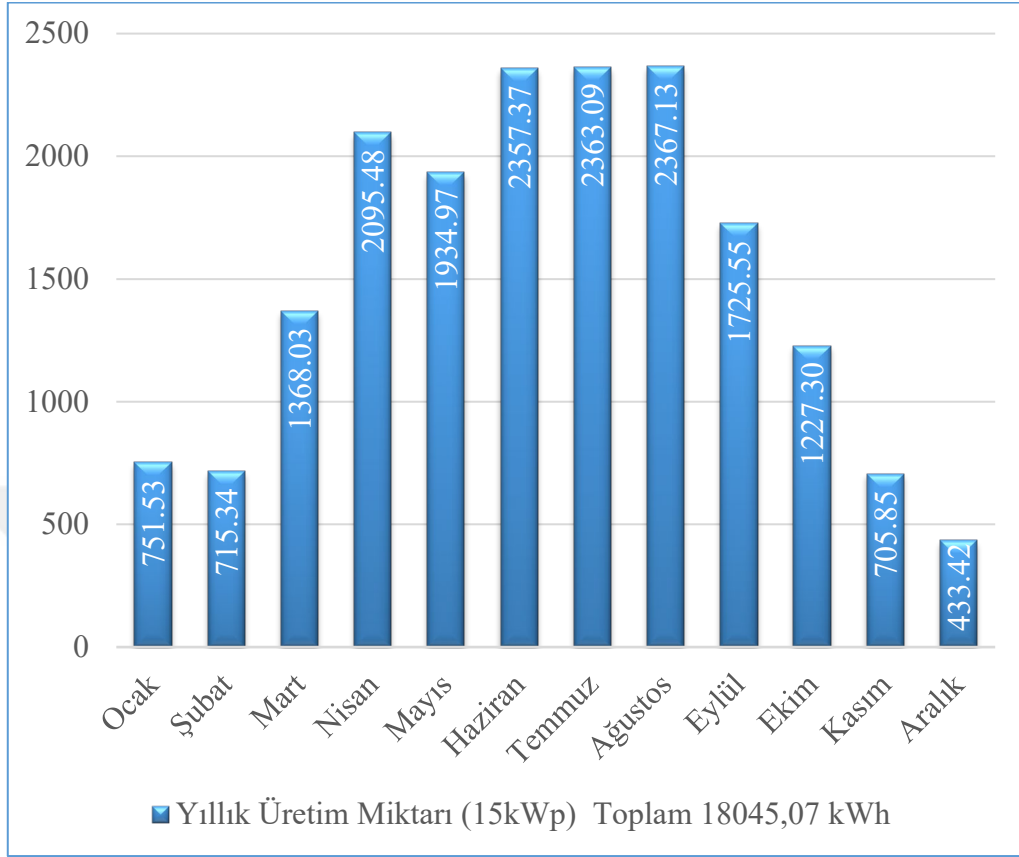
Yapılan analizde;

- Güneş panellerinin tam güney tarafa çevrildiği (Azimuth açısının 0° olduğu),
- Güneş enerjisi santralının 31.17° Doğu, 40.85° Kuzey koordinatlarına kurulduğu,
- Albedo (yansımaya) değerinin 0,20 olarak alındığı,
- Ufuk çizgisinin görünür ve açık olduğu,
- Ortalama rüzgâr hızının 2,3 m/s olduğu,
- Tozlanma sebebiyle meydana gelen kaybın % 1,5 olduğu kabul edilmiştir.

7.2. MEVCUT DURUMDAKİ BİR PV SANTRALİN ELEKTRİK ÜRETİM MİKTARI

Düzce şehir merkezine 10 km uzaklıkta bulunan 15 kWp güçteki bir PV tesisine ait yıllık üretim miktarına baktığımızda ise 2018 yılında 18.045,07 kWh elektrik enerjisi ürettiği

görölmüş olup üretim miktarı Şekil 7.5'te gösterilmiştir [56]. Bu santralde kullanılan panelin özellikleri Çizelge 4.2, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de gösterilmiştir.



Şekil 7.5. Düzce-Merkez ilçesine 10 km mesafede bulunan bir PV tesisinin 2018 yılına ait elektrik üretim miktarı.

7.3. EĞRİ UYDURMA YÖNTEMİ (REGRESYON ANALİZİ) VE ELEKTRİK ÜRETİM TAHMİNİ

İstatistik biliminin en önemli konularından birisi de regresyon analizidir. Regresyon analizi, arasında sebep-sonuç ilişkisi olan iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi, o konu ile ilgili tahminler ya da kestirimler yapabilmek amacıyla regresyon modeli olarak tanımlanan ve bunu matematiksel bir model ile karakterize eden bir analiz tekniğidir [57]. Regresyon analizi, başta araştırma olmak üzere matematik, finans, ekonomi, tıp gibi birçok alanda yoğun olarak kullanılmaktadır. Özellikle istatistiksel analizlerde bir parametredeki değişikliğin diğer bir parametreyi nasıl etkilediği merak konusu olan araştırmalarda yoğunlukla başvurulan yöntemlerden biridir. Örneğin bu yöntem iktisatta bir ürün için fiyat ve talep, maliyede gelir ve vergi, bir işletmede üretim ve kar, tıpta yaş

ve hastalığın iyileşmesi, kimyada bir asidin dozajı ve etkisi gibi durumlarda aralarındaki sebep-sonuç ilişkisini kolaylıkla bulmamıza yardımcı olur.

Regresyon analizi ilk olarak astronomi alanında kullanılmıştır. Legendre (1805) ve Gauss (1809), gezegenlerin yörüngelerini tespit etmek amacıyla En Küçük Kareler (EKK) olarak bilinen tekniği oluşturmuşlardır. Konu ile ilgili bilinen parametrelerden yola çıkarak bu parametreler için bir regresyon modeli geliştirmişlerdir [58]. 19. yüzyılda kalıtım üzerine çeşitli çalışmalar yapan İngiliz bilim adamı Galton (1822-1911), uzun boylu anne ve babaların çocuklarının boylarının ortalama olarak, anne ve babalarından daha kısa boylu olduklarını ve aynı zamanda kısa boylu anne ve babaların çocuklarının boylarının ortalama olarak, anne ve babalarından daha uzun boylu olduklarını gözlemlemiştir. Galton, boyları çok uzun ya da çok kısa olan anne ve babaların çocuklarının boy uzunluklarının grup ortalamasına doğru çekilmesine regresyon olayı olarak tanımlamışlardır. Regresyon olayı fikrini daha da geliştirerek birçok katkıda bulunan kişi İngiliz bilim adamı Karl Pearson (1857-1936) dur. Karl Pearson değişkenler arasındaki ilişki miktarını saptamada yararlı olan korelasyon fikir ve yöntemine katkıda bulunmuştur. Ayrıca Pearson eğri sistemini ve 1912'de Ki-kare testini bulmuştur. Karl Pearson modern istatistiğin kurucularından biri olarak kabul edilir [59]. Regresyon analizinde yapılan çalışmalar Neyman (1923) tarafından devam ettirilmiştir. Freedman (1999)'ın yaptığı inceleme sonucunda, Neyman'ın çalışmalarının Rubin (1974) ve Holland (1988) tarafından devam ettirildikleri söylenmiştir. Bu konudaki yeni gelişmeler Pearl (1995) ve Angrist (1996)'in çalışmalarında mevcuttur. Regresyon analizinin önemli çalışmaları Liu (1960), Lucas (1976), Manski (1995), Abbott (1997), Goldtorpe (1998) tarafından yapılmıştır [58].

Eğri uydurma, herhangi bir veri grubu üzerinde daha net yorum yapabilmek, sistemi görselleştirme yolu ile veri grubunu anlamlı kılmak ve bu sistemin tahmin değerlerinin gerçek değerlerden minimum ne kadar saptığını gösteren uygun fonksiyonu bulmak olarak ifade edilebilir. Bu uygun fonksiyon ile sistemin ne düzeyde temsil edildiği sorusuna cevap bulunabilir [60].

Regresyon analizinde bir olayın değerlendirilmesinde hangi olayların etkisi olduğu araştırılır. Bu olaylar bir veya birden fazla olabileceği gibi dolaylı veya direkt etkileniyor da olabilirler. Regresyon analizini etkileyen olaylara değişkenler adı verilir. Değişken, belirli bir zaman dilimi dikkate alındığında, o zaman dilimindeki bir kütleyi meydana getiren belli birimdeki olayları içeren örneklerden oluşur, bu örnekler sayılabilir veya

ölçülebilir özellikte olmalıdır. Regresyon analizinde, herhangi bir bağımlı değişkenin bir veya birden fazla bağımsız değişkenle aralarındaki ilişki matematiksel bir fonksiyon biçiminde ifade edilir ve bu fonksiyon regresyon denklemi adını alır. Regresyon denklemi sayesinde bağımsız değişkenlerin farklı değerlerine karşılık bağımlı değişkenin alacağı değerler tahmin edilir. Regresyon analiz türlerine bakılacak olursa, bağımsız değişken sayısına göre basit regresyon analizi ve çoklu regresyon analizi şeklinde karşımıza çıkarken fonksiyon tipine göre ise lineer regresyon analizi ve nonlinear regresyon analizi şeklinde karşımıza çıkmaktadır [61].

Eğri uydurma problemleri çözümünde regresyon ve interpolasyon tekniklerinin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Regresyon analizi, iki ya da daha fazla değişken (bağımlı ve bağımsız değişkenler) arasındaki ilişkiyi ölçmeye ve bu ilişkiyi analiz etmeye yarayan bir metot olarak ifade edilebilir. Regresyon, veriler arasında açıkça bir hata olduğu zaman kullanılır. Sonuçta, veriler regresyon tekniği yoluyla birbirine en yakın olacak şekilde belirli bir hata oranı ile bağlanmaktadır. İnterpolasyon ise, veri noktaları arasında boş kalan alanlarda tahmin yapılmasını sağlayan bir metottur. Bu kavram, bilinmeyen ara değerlerin hesaplanmasından etmemizde bize kolaylıklar sağlamaktadır [62]. Örneğin; bir fonksiyonun x değerlerinin bazı değerleri verilmiş olsun; fakat bu değerleri değil de bu değerler arasında yer alan bir x değeri hesaplanmak istendiğinde interpolasyon bu değerlerin bulunmasına imkân sağlamaktadır [60].

Eğri uydurma, elde edilen verilerin yorumlanmasına ve analiz edilmesine yardımcı olmada önemli rol oynadığı söylenebilir. Bu çalışma kapsamında, gerçek hayatta deneysel yolla elde edilmiş herhangi bir veri grubu üzerinde daha net, gözlemlenebilir ve veriler hakkında araştırmacıya hızlı yorum yapmasını sağlayacak bir sistem tasarımı hedeflenmektedir. Bu sistemin oluşumunda kullanılacak metot ise En Küçük Kareler Yöntemi (EKKY)'dir. EKKY artıkların² hata karelerinin toplamını minimize etmeye çalışır. Böylece bu model sayesinde tahmin edilen değerler ile gerçek veriler arasındaki hatayı en aza indiren ve en uygun model katsayı değerleri bulunacaktır.

7.3.1. En Küçük Kareler Yöntemi

EKKY, hesaplama kolaylığı etkinliğinden dolayı parametre tahmin yöntemi olarak sık kullanılan bir yöntemdir. Bu nedenle en küçük kareler metodu sınıflandırma, eğri

² Bir f fonksiyonunda $x = x_i$ değeri için $y = y_i$ değerini alıyorsa $y_i - x_i$ farkının her bir değerine artık denir.

uydurma, kontrol, sistem tanımlama, tahmin, düzgünleştirme (smoothing) gibi gerçek problemlerde yaygın olarak kullanılır [60]. EKKY’de bağımlı değişken değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki farkın, yani hatanın karelerinin toplamı en küçük olması amaçlanır. EKKY ile model tahmini yapmak ve yöntemi daha anlaşılır hale getirmek için birçok regresyon model türleri vardır. Bunlar;

- Doğrusal Regresyon Modeli
- Üslü Fonksiyonlar Regresyon Modeli
- Üstel (e^x) Fonksiyonlar Regresyon Modeli
- Polinom Regresyon Modeli

Bu çalışmada Polinom Regresyon Modeli ile tahmin yöntemi kullanılacağından diğer yöntemler üzerinde durulmayacaktır.

7.3.1.1. *Polinom Regresyon Modeli*

Bazen, veriler arasında doğrusal olmayan bir ilişki olabilir. Böyle bir ilişkiyi açıklamaya çalışmanın yolu, bir polinom regresyon modeli ile gerçekleştirmek mümkündür. Bu model sadece birinci dereceden polinomlar için değil aynı zamanda k dereceden polinomlar için de kullanılması mümkündür. Fakat polinom fonksiyonu uydurmanın zayıf yanı ise k dereceden bir eğri uydurma yöntemi kullanılacaksa, k+1 tane doğrusal denklem takımı çözme zorunluluğunun olmasıdır. Ayrıca dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise, kullanılacak polinomun derecesi her zaman için verilen noktaların sayısından bir eksik olmalıdır, yani n adet nokta varsa, uydurulacak eğrinin derecesi (n-1) adet olur. Mevcut bir $\{(x_i, y_i)\}_{i=1}^N$ veri kümesi için k dereceden bir polinom Denklem (7.1)’deki gibi ifade edilir.

$$P_k(x) = a_0 + a_1 \cdot x + a_2 \cdot x^2 + \dots + a_k x^k \quad (7.1)$$

EKKY’nin tanımından yola çıkarsak, hataların minimum olabilmesi için hataların karelerin türevleri alınır ve sifıra eşitlenirse aşağıdaki denklem takımları kolaylıkla bulunabilir. Burada temel amaç, hatayı en küçük yapan $a_0, a_1, a_2, \dots, a_m$ katsayı parametrelerini bulmaktır. Burada hataların kareleri toplamı olan ifadenin minimum olması için Denklem (7.2)’de yer alan her bir katsayının türevi sifıra eşit olmalıdır.

$$S_r = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_i - a_2 x_i^2 - \dots - a_m x_i^m)^2 \quad (7.2)$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_0} = 0 \rightarrow a_0 n + a_1 \sum x_i + a_2 \sum x_i^2 + \dots + a_m \sum x_i^m = \sum y_i$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_1} = 0 \rightarrow a_0 \sum x_i + a_1 \sum x_i^2 + a_2 \sum x_i^3 + \dots + a_m \sum x_i^{m+1} = \sum x_i y_i$$

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_2} = 0 \rightarrow a_0 \sum x_i^2 + a_1 \sum x_i^3 + a_2 \sum x_i^4 + \dots + a_m \sum x_i^{m+2} = \sum x_i^2 y_i$$

.....

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_m} = 0 \rightarrow a_0 \sum x_i^m + a_1 \sum x_i^{m+1} + a_2 \sum x_i^{m+2} + \dots + a_m \sum x_i^{2m} = \sum x_i^m y_i$$

şeklinde (m+1) adet denklem elde edilir. Tüm bu denklemler matris formunda yazılırsa aşağıdaki ifade elde edilmiş olur.

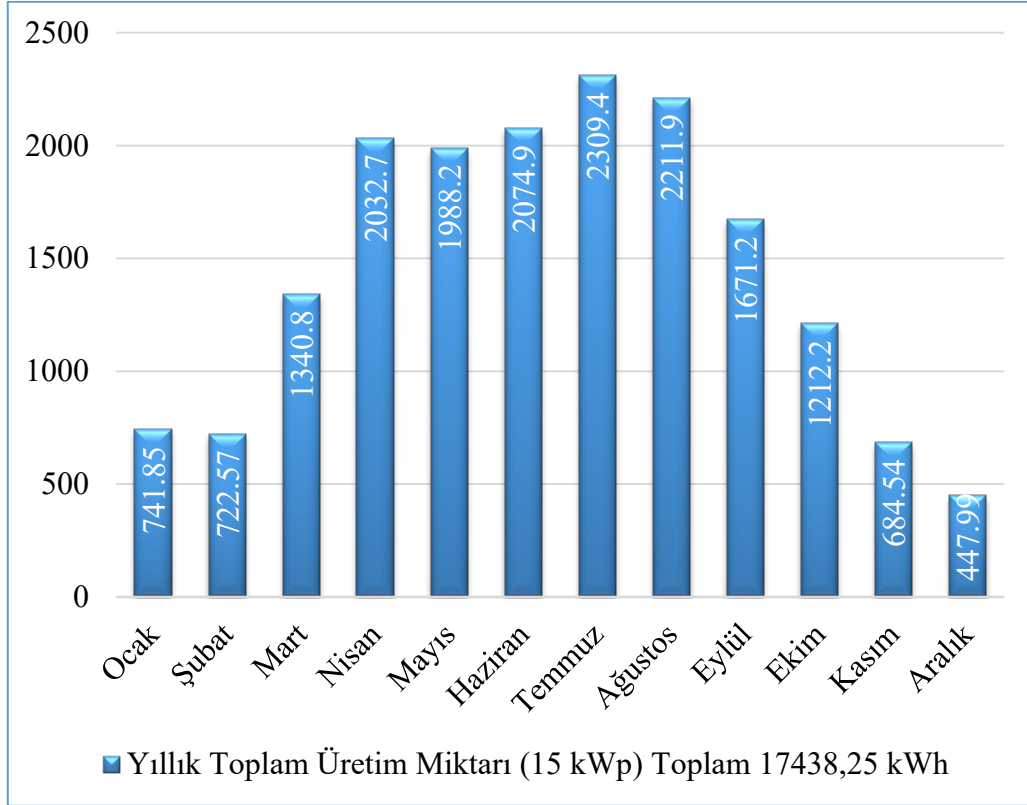
$$\begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 & \dots & \sum x_i^m \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \dots & \sum x_i^{m+1} \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 & \dots & \sum x_i^{m+2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum x_i^m & \sum x_i^{m+1} & \sum x_i^{m+2} & \dots & \sum x_i^{2m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 y_i \\ \dots \\ \sum x_i^m y_i \end{bmatrix}$$

Yukarıdaki denklem iki bilinmeyen için yazılırsa bu iki değişkenli eğri uydurma yöntemiyle benzer olduğu görülecektir. Eğer dört bilinmeyen için yazılırsa bu durumda da 3. dereceden bir eğri için işlem yapılmış olacaktır. Bir denklemde n tane bilinmeyen varsa (n-1) dereceden bir eğri için işlem gerçekleştirilecektir. Polinom regresyonun doğrusal regresyon yönteminden farkı, eğrinin derecesinin değişmesidir, aksi takdirde yöntem aynıdır.

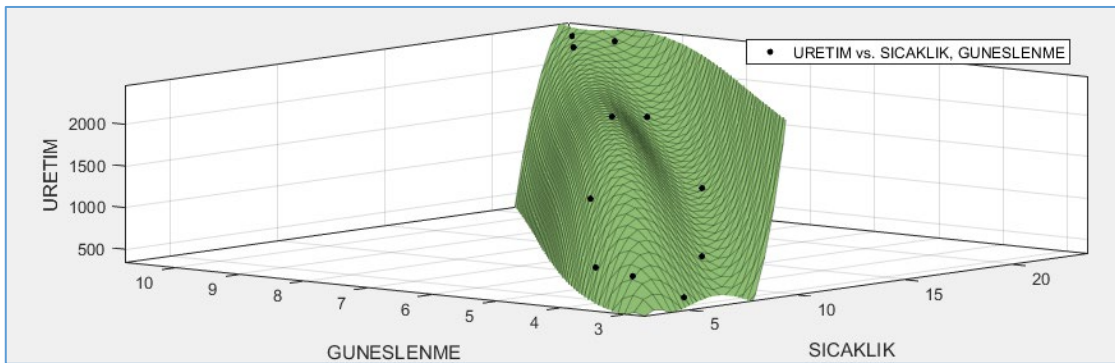
7.3.2. Polinom Regresyon Modeliyle Elektrik Üretim Tahmini

Tahmin yöntemi kullanılırken mevcut PV santralden elde edilen elektrik üretim verileri ile PVsyts programından tahmin edilen elektrik üretim verilerinin sıcaklık ortalaması-güneşlenme süresi, sıcaklık ortalaması-ışınım süresi ve güneşlenme süresi-ışınım süresi

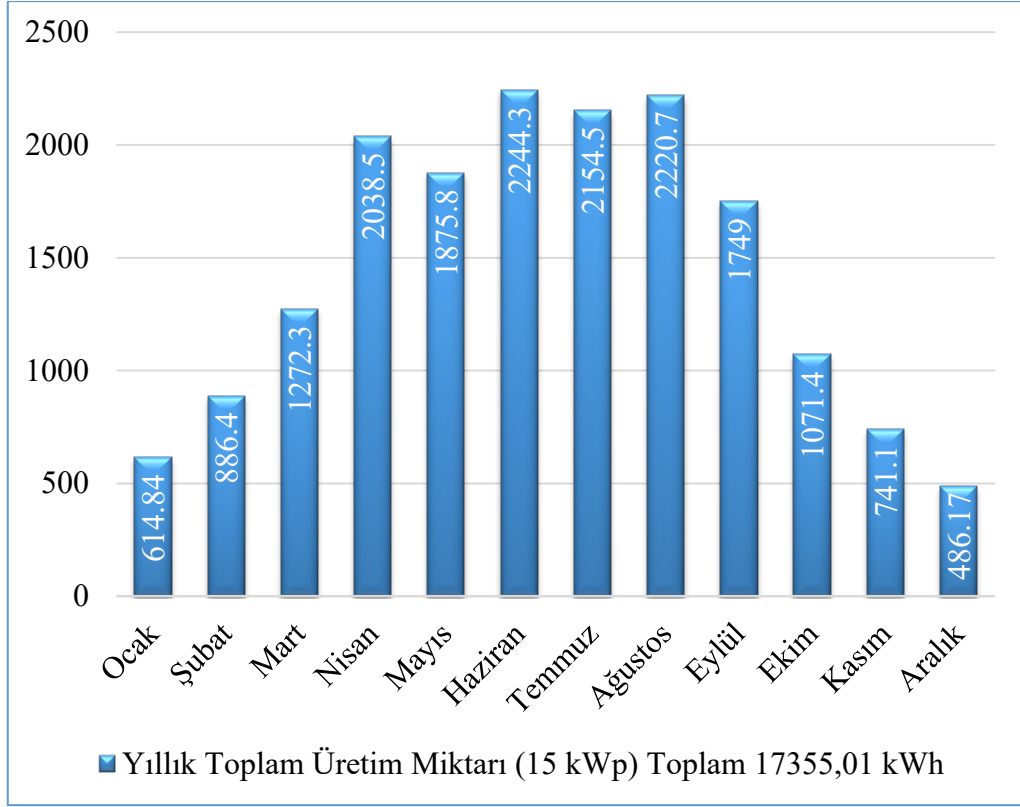
şeklinde her seferinde iki farklı değişkene bağlı olarak sonuç elde edilmeye çalışılmıştır. Değişkenlere bağlı olarak elde edilen modellemeler ve üretim miktarları aşağıda gösterilmiştir.



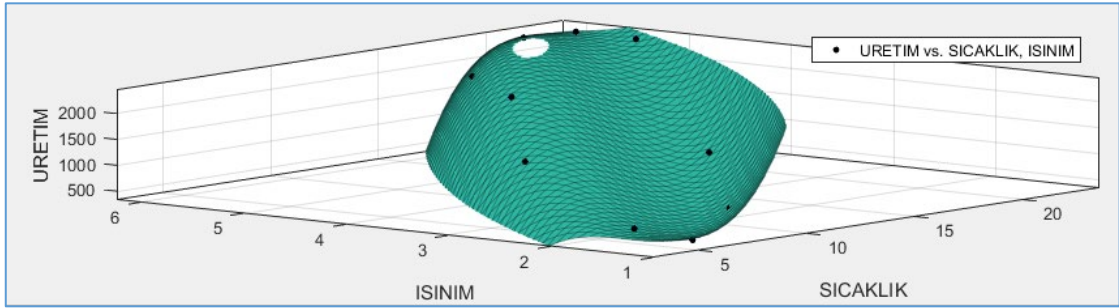
Şekil 7.6. PV santraline ait elektrik üretim miktarı dikkate alınarak sıcaklık ve güneşlenme değerlerine bağlı olarak polinom regresyon modeliyle tahmin edilen elektrik üretim miktarları.



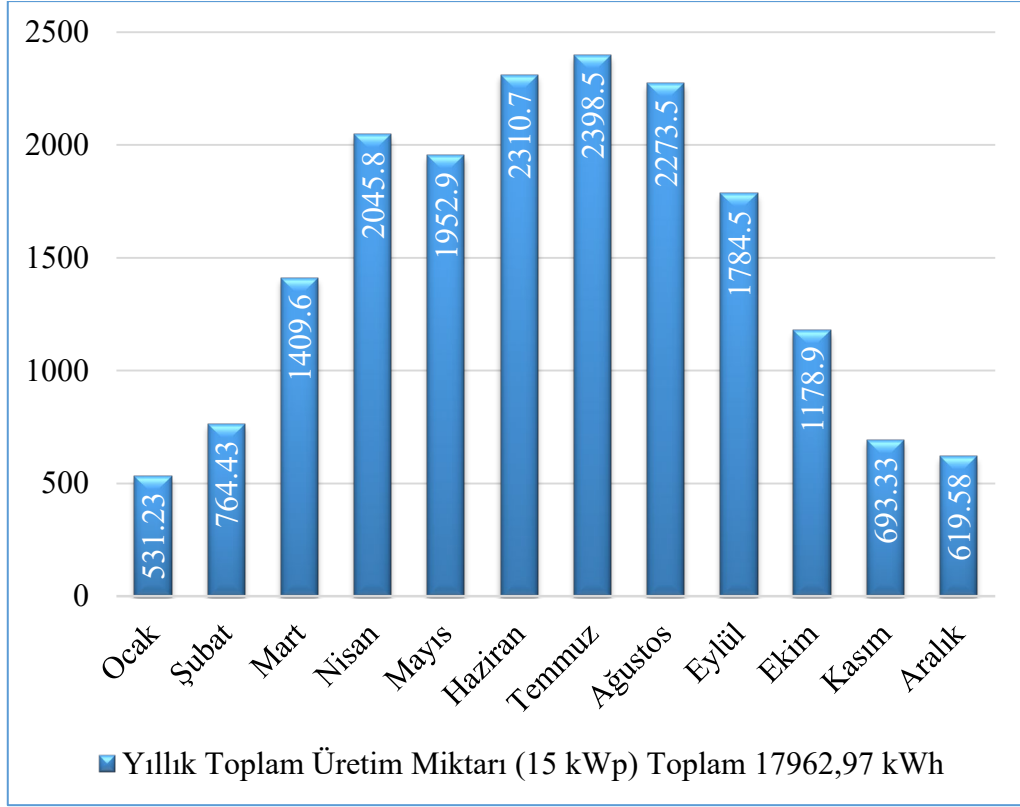
Şekil 7.7. PV santraline ait elektrik üretim miktarı dikkate alınarak sıcaklık ve güneşlenme değerlerine bağlı olarak polinom regresyon modeliyle elde edilen elektrik üretim miktarlarına ait modelleme.



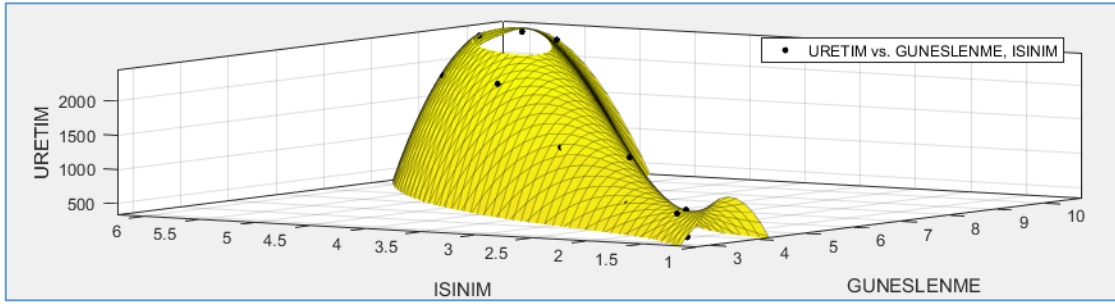
Şekil 7.8. PV santraline ait elektrik üretim miktarı dikkate alınarak sıcaklık ve ışınım değerlerine bağlı olarak polinom regresyon modeliyle tahmin edilen elektrik üretim miktarları.



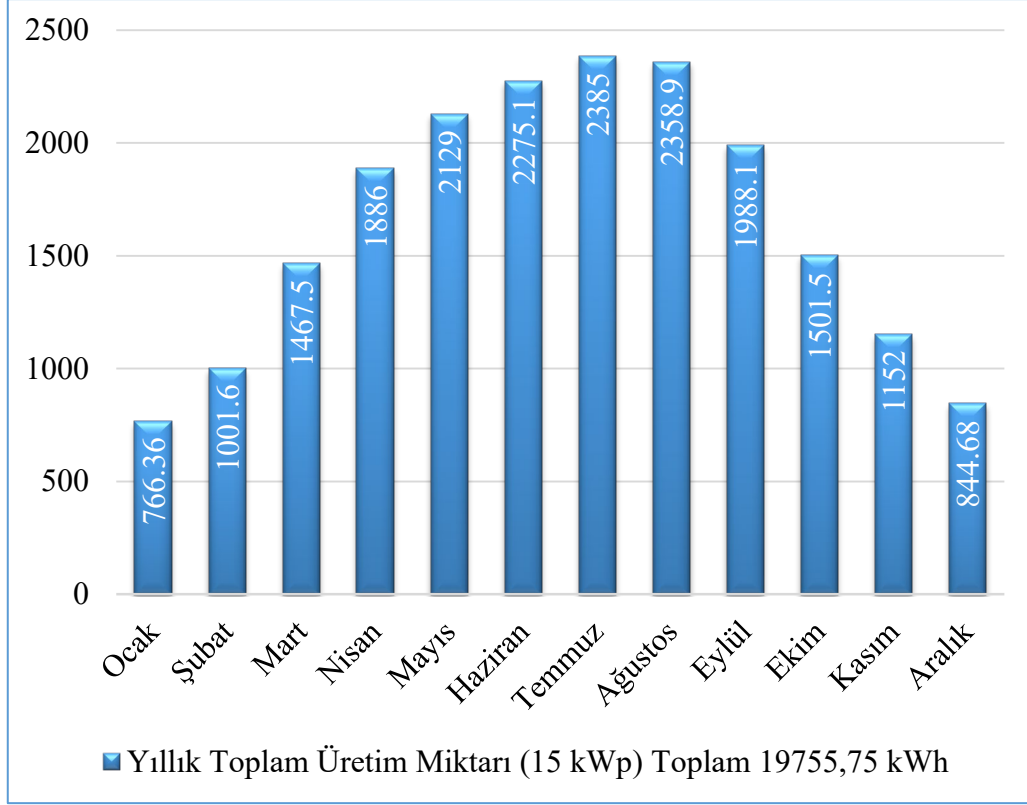
Şekil 7.9. PV santraline ait elektrik üretim miktarı dikkate alınarak sıcaklık ve ışınım değerlerine bağlı olarak polinom regresyon modeliyle elde edilen elektrik üretim miktarlarına ait modelleme.



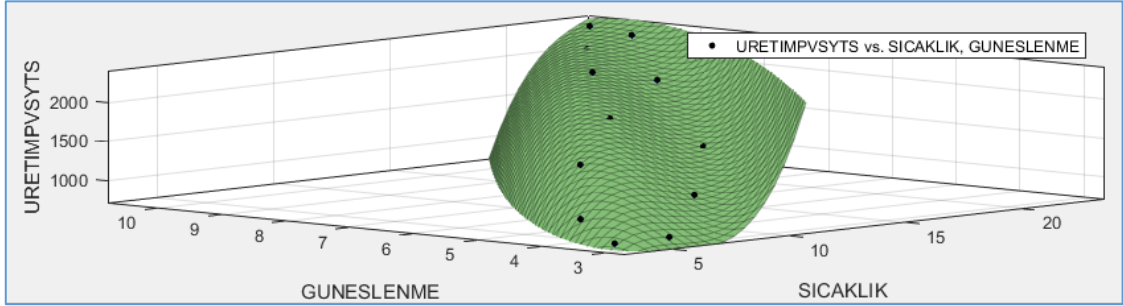
Şekil 7.10. PV santraline ait elektrik üretim miktarı dikkate alınarak güneşlenme ve ışınım değerlerine bağlı olarak polinom regresyon modeliyle tahmin edilen elektrik üretim miktarları.



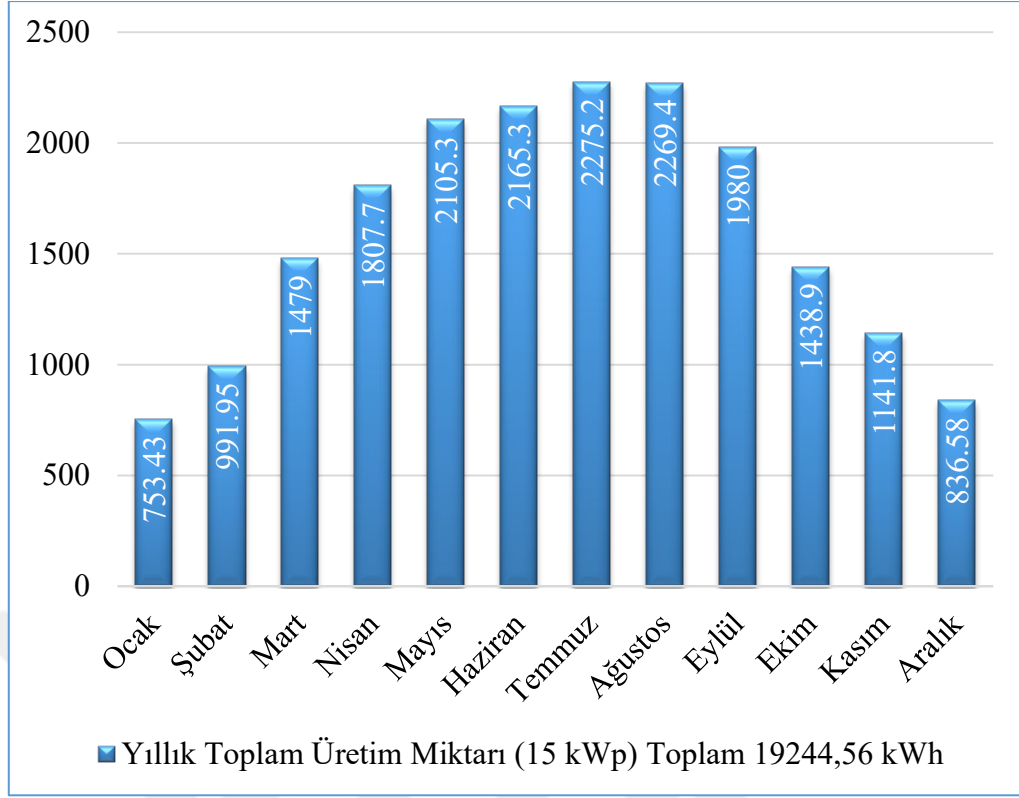
Şekil 7.11. PV santraline ait elektrik üretim miktarı dikkate alınarak güneşlenme ve ışınım değerlerine bağlı olarak polinom regresyon modeliyle elde edilen elektrik üretim miktarlarına ait modelleme.



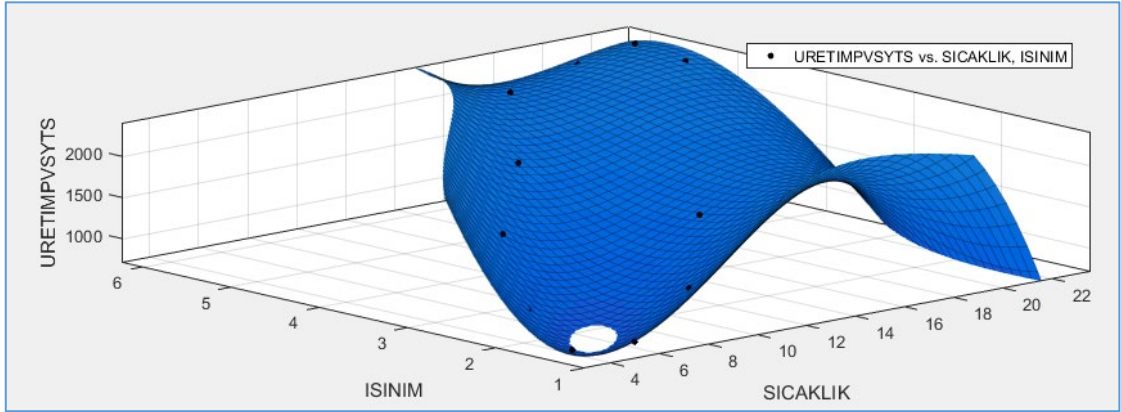
Şekil 7.12. PVsyst programına göre tahmin edilen elektrik üretim miktarı dikkate alınarak sıcaklık ve güneşlenme değerlerine bağlı olarak polinom regresyon modeliyle tahmin edilen elektrik üretim miktarları.



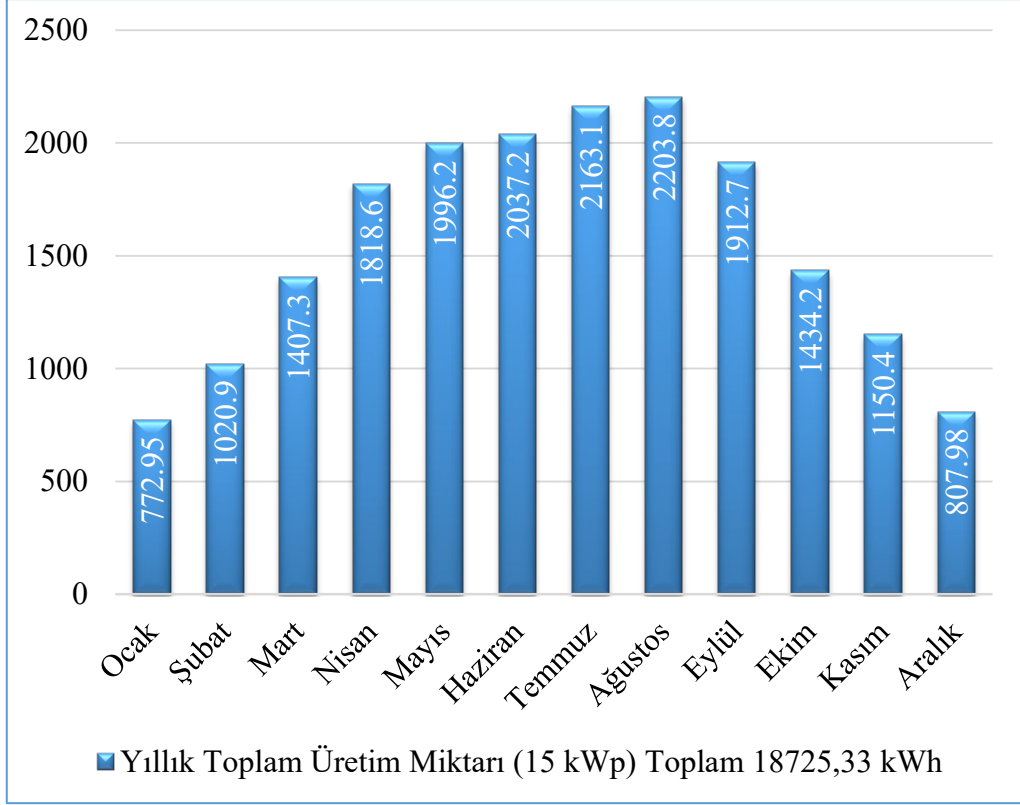
Şekil 7.13. PVsyst programına göre tahmin edilen elektrik üretim miktarı dikkate alınarak sıcaklık ve güneşlenme değerlerine bağlı olarak polinom regresyon modeliyle tahmin edilen elektrik üretim miktarlarına ait modelleme.



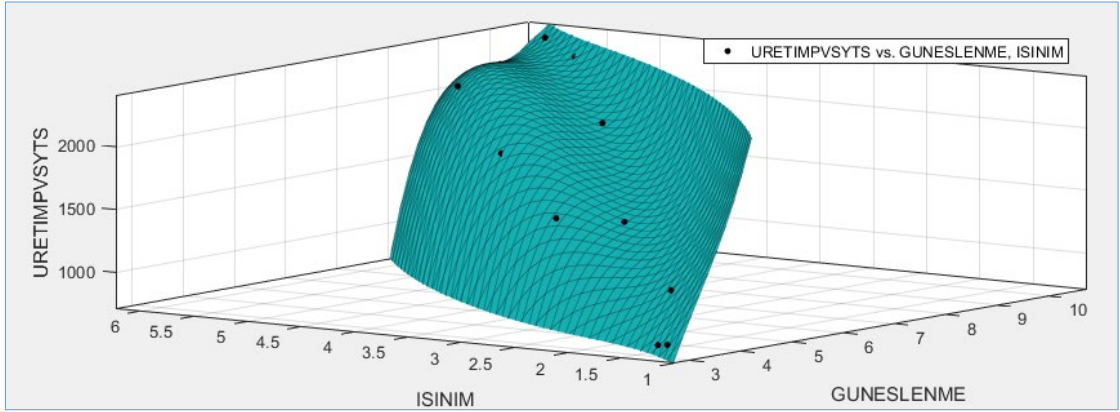
Şekil 7.14. PVsyts programına göre tahmin edilen elektrik üretim miktarı dikkate alınarak sıcaklık ve ışınım değerlerine bağlı olarak polinom regresyon modeliyle tahmin edilen elektrik üretim miktarları.



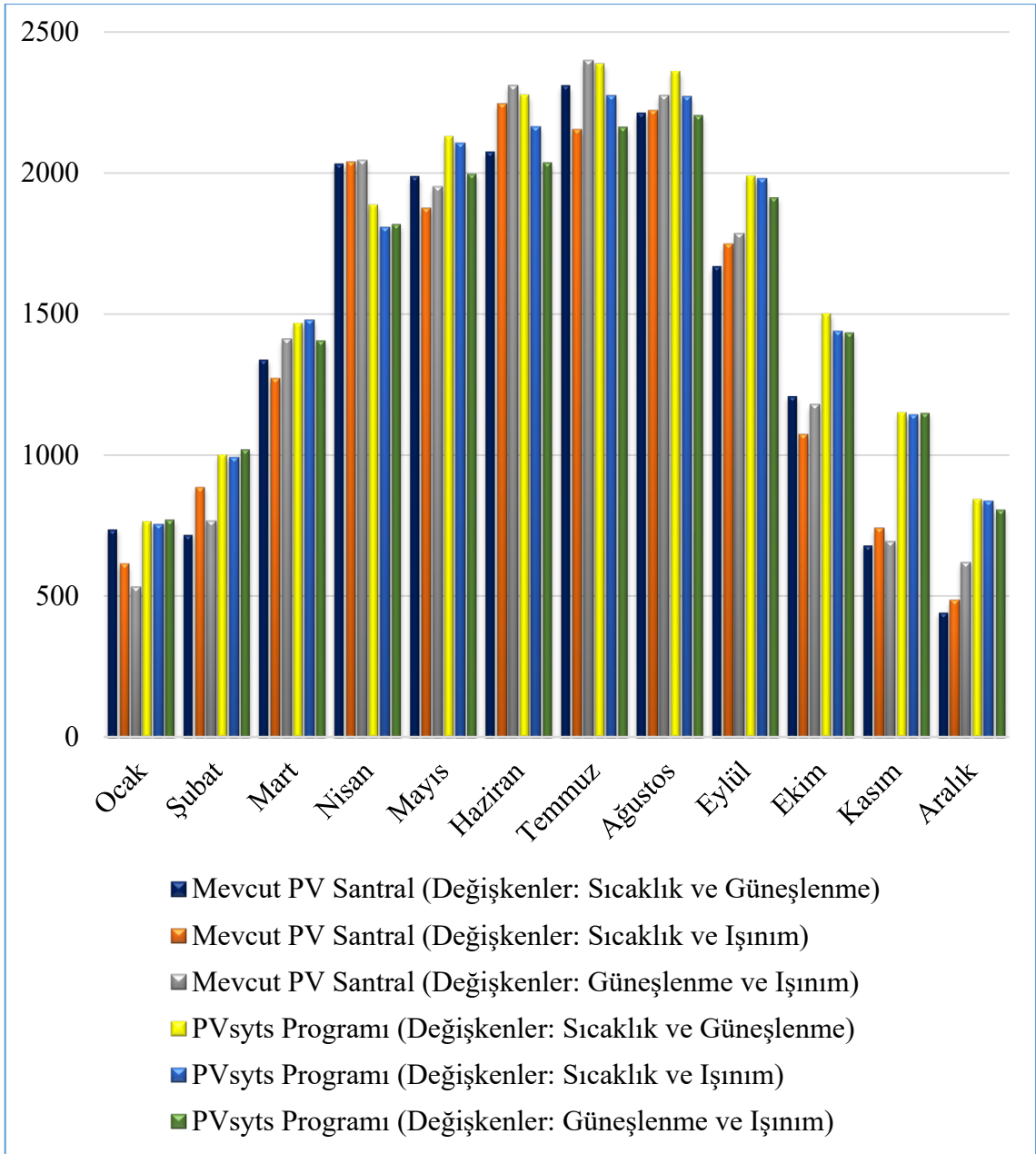
Şekil 7.15. PVsyts programına göre tahmin edilen elektrik üretim miktarı dikkate alınarak sıcaklık ve ışınım değerlerine bağlı olarak polinom regresyon modeliyle tahmin edilen elektrik üretim miktarlarına ait modelleme.



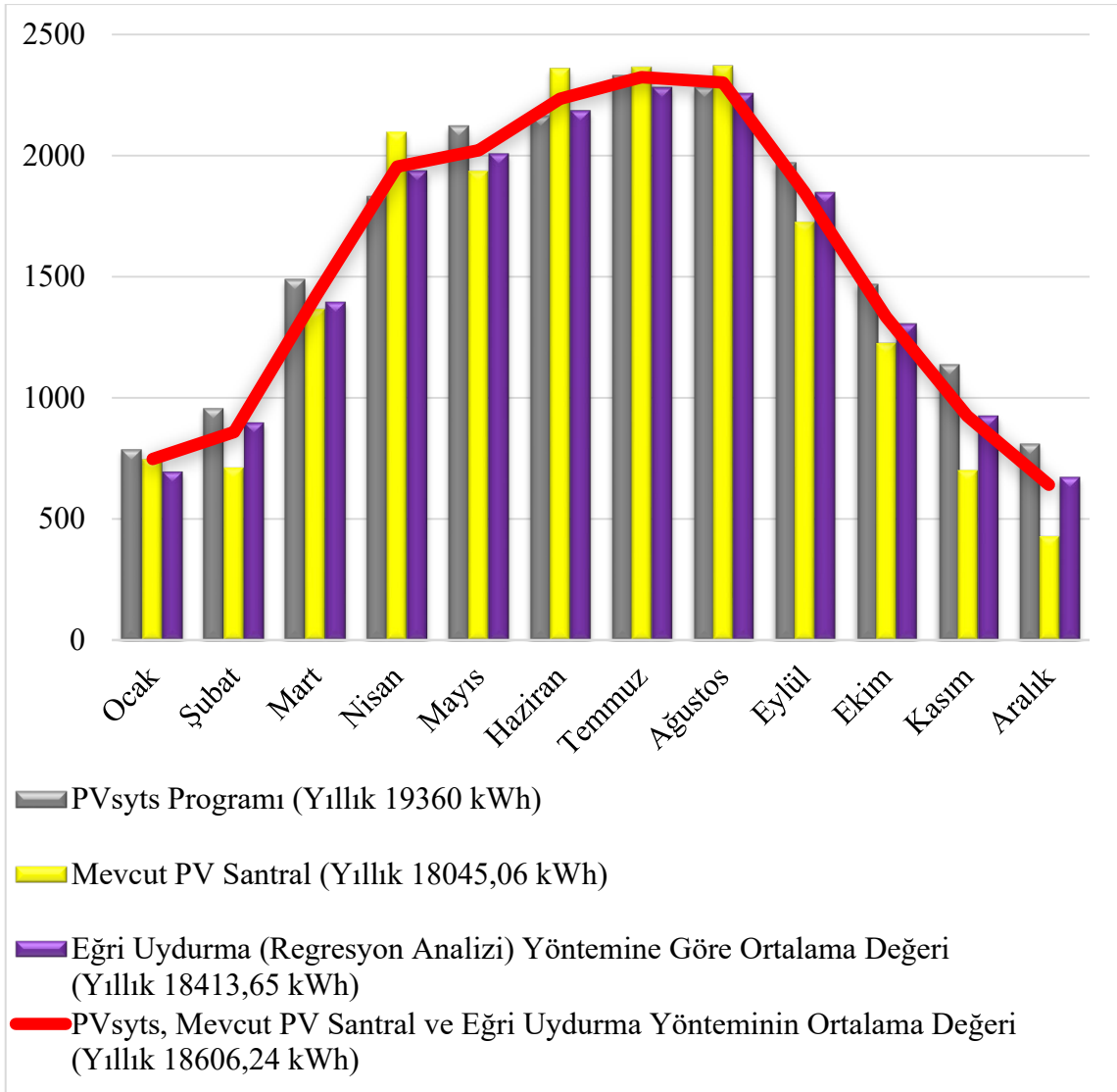
Şekil 7.16. PVsyt's programına göre tahmin edilen elektrik üretim miktarı dikkate alınarak güneşlenme ve ışıınım değerlerine bağılı olarak polinom regresyon modeliyle tahmin edilen elektrik üretim miktarları.



Şekil 7.17. PVsyt's programına göre tahmin edilen elektrik üretim miktarı dikkate alınarak güneşlenme ve ışıınım değerlerine bağılı olarak polinom regresyon modeliyle tahmin edilen elektrik üretim miktarlarına ait modelleme.



Şekil 7.18. Eğri uydurma (regresyon analizi) modeline göre elde edilen değerlerin karşılaştırılması.



Şekil 7.19. PVsyt programı, mevcut bir PV santral ve eğri uydurma yönteminden elde edilen verilerin karşılaştırılması.

Karşılaştırma yapılan 3 sistem incelendiğinde enerji üretimi açısından birbirine yakın değerler elde edildiği görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında, fayda maliyet analizi yapılırken üç farklı yöntemle elde edilen elektrik üretim değerleri temel alınacaktır. Bu üç farklı değerlerin ortalaması hesaplanmış ve çıkan bu değer yani 18606,24 kWh yıllık elektrik üretim miktarı olduğu kabul edilmiştir.

8. PV SİSTEMİNE AİT FİNANSMAN VE GELİR HESABI

Bu bölümde finansal analiz yapılırken proje gelirleri ve yatırım giderleri hesaplanarak ekonomik analiz oluşturulacaktır. 15 kWp güçteki bir güneş enerjisi santralının fayda maliyet analizi hesaplanırken 3 farklı yöntemle elde edilen yıllık bazda elektrik enerji üretim verisi yani 18606,24 kWh değeri dikkate alınacaktır.

8.1. MALİYET ANALİZİNDE ESAS ALINAN KUR

Bu proje kapsamında yapılan tüm analizler Amerikan Doları (\$) ve Avro (€) bazında yapılarak Türk Lirası cinsine çevrilmiştir ve 19 Haziran 2019 tarihli Amerikan Dolar kurunun 5,85 TL/Dolar, 6,55 TL/Avro olduğu kabul edilmiştir [63].

Geçmiş yıllarda Türkiye’de gerçekleşen enflasyon ve devalüasyon hareketlerine göre, kriz dönemleri dışında fiyatların Dolar bazında neredeyse stabil kaldığı gözlenmektedir. Böyle bir durumun oluşma sebebi, Türkiye’deki üretimin hammadde, yarı mamul, kullanılan ekipman ve teçhizatın büyük bir kısmının ithal ediliyor olmasının bir sonucudur. Özetle söylemek gerekirse, devalüasyondan sonra Türk Lirası cinsinden mal, ekipman ve teçhizat alan üreticinin bunları daha pahalıya aldığı, alım fiyatlarındaki bu artış oranını doğal bir şekilde tüketiciye yansıttığı ve dolayısıyla bunun da enflasyonun artmasıyla sonuçlandığıdır. 15 kWp güçteki bir tesisin projelendirme, yapım ve kabul aşaması için 75 takvim günlük bir sürenin yeterli olacağı, bu süre boyunca enflasyon ve devalüasyon oranlarının hemen hemen eşit artacağı, dolayısıyla malzeme ve işçilik fiyatlarında herhangi bir dalgalanmanın olmayacağı kabul edilmiştir ve tüm finansal analizler bir önceki paragrafta bahsedilen döviz kurlarının Türk Lirası karşılığı olan değer üzerinden yapılmıştır.

8.2. PROJE BAZLI GELİRLER

Bahse konu güneş enerjisi santralının gelirlerini iki başlık altında toplayabiliriz.

- Elektrik enerjisi satışından elde edilen gelirler
- Karbon emisyonundan elde edilen gelirler

8.2.1. Elektrik Enerjisi Satışından Elde Edilen Gelirler

Bu tez çalışmasına başlandığı anda elektrik satış gelirleri hesaplanırken Çizelge 8.1’de belirtilen Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun (YEK) Ekli I Sayılı Cetveline göre; fotovoltaik güneş enerjisine dayalı üretim tesislerinde üretilen enerjinin ilk 10 yılı 13,3 dolar cent/kWh birim fiyatla satın alınacağı ifade edilmekteydi [64].

Çizelge 8.1. YEK Kanununda belirtilen teşvik miktarları.

I Sayılı Cetvel (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanunun hükmüdür.)	
Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi	Uygulanacak Fiyatlar (ABD Doları cent/kWh)
a. Hidroelektrik üretim tesisi	7,3
b. Rüzgâr enerjisine dayalı üretim tesisi	7,3
c. Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	10,5
d. Biyokütle dayalı üretim tesisi (çöp gazı dahil)	13,3
e. Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	13,3

Ancak 9 Mayıs 2019 tarih ve 1044 sayılı Cumhurbaşkanı Kararı ile Ek Madde-1 birinci fıkrasının (b) bendi “Üretimi ile tüketimi aynı ölçüm noktasında olmak üzere, tarımsal sulama aboneleri ile içme suyu tesisleri ve atık su arıtma tesislerinin ihtiyaçları için ve kamu kurum ve kuruluşları tarafından kurulan çatı, cephe ve arazi uygulamalı yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik üretim tesislerinde üretilen ihtiyaç fazlası elektrik enerjisi için Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından ilan edilen kendi abone grubuna ait perakende tek zamanlı enerji bedeli, tesisin işletmeye giriş tarihinden itibaren on yıl süre ile uygulanır.” şeklinde değiştirilmiştir [57]. Bahse konuya ilişkin Elektrik Piyasasında Lisansız Elektrik Üretim Yönetmeliği de 12.05.2019 tarih ve 30772 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanarak yürürlüğü girmiştir. EPDK’nın 01.04.2019 tarihinden geçerli perakende tek zamanlı enerji bedeli alçak gerilim abonelerinde ticarethane grubu için 39,8861 kuruş olup elektrik tarifesi

Çizelge 8.2’de gösterilmektedir. Benzer şekilde EPDK’nın 01.04.2019 tarihinden geçerli olmak üzere lisanssız üreticiler için uyguladığı dağıtım bedeli ise 14,6879 kuruş olup Çizelge 8.3’te gösterilmektedir. EPDK’nın 20.12.2018 tarih ve 8252-12 ve 8252-13 numaralı Kararları ile 0-250 kW (dahil) güçler aralığındaki güneş enerjisi santralleri için

2019 yılında lisanssız elektrik üretim başvuru bedeli ve lisanssız elektrik üretimine yönelik görevli tedarik şirketi sistem işletim bedeli için herhangi bir ücret talebinde bulunmamaktadır [65]. Özetle söylemek gerekirse 09.05.2019 tarihinden önce güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisinin alım fiyatı 13,3 dolar cent/kWh iken 09.05.2019 tarihinden sonra güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisinin alım fiyatı yaklaşık 39,8861 kuruş olmuştur. Bu tez çalışması sürecince güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisi alım fiyatlarında meydana gelen değişikliklerden dolayı her iki fiyata göre de fayda maliyet analizi yapılacaktır.

Çizelge 8.2. EPDK'nın 01.04.2019 tarihinden itibaren geçerli elektrik tarifesi.

1/4/2019		Faaliyet Bazlı Tüketici Tarifeleri (kr/kWh)					Güç Bedeli Hariç Toplam Tarifeler (kr/kWh)			
İletim Sistemi Kullanıcıları	Görevli Tedarik Şirketinden Enerji Alan İletim Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puant Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece
	Tüketici	36,4509	36,9598	61,2935	17,3202	0,0000	36,4509	36,9598	61,2935	17,3202
Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Dağıtım Sistemi Kullanıcıları	Perakende Tek Zamanlı Enerji Bedeli	Perakende Gündüz Enerji Bedeli	Perakende Puant Enerji Bedeli	Perakende Gece Enerji Bedeli	Dağıtım Bedeli	Tek Zamanlı	Gündüz	Puant	Gece
	Orta Gerilim Çift Terimli						Orta Gerilim Çift Terimli			
	Sanayi	36,5219	37,0309	61,3646	17,3913	7,5554	44,0773	44,5863	68,9200	24,9467
	Ticarethane	39,5712	40,0335	66,5145	18,9636	11,7750	51,3462	51,8085	78,2895	30,7386
	Mesken	27,0730	27,6229	47,6479	11,6091	11,6631	38,7361	39,2860	59,3110	23,2722
	Tarımsal Sulama	35,8846	36,3018	60,1161	17,2718	9,6976	45,5822	45,9994	69,8137	26,9694
	Aydınlatma	36,1762				11,3014	47,4776			
	Tek Terimli						Tek Terimli			
	Sanayi	36,4492	36,9583	61,2921	17,3186	8,3456	44,7948	45,3039	69,6377	25,6642
	Ticarethane	39,6676	40,1299	66,6110	19,0600	14,6879	54,3555	54,8178	81,2989	33,7479
	Mesken	26,6873	27,2371	47,2621	11,2233	14,4009	41,0882	41,6380	61,6630	25,6242
	Tarımsal Sulama	35,9392	36,3564	60,1707	17,3263	12,0745	48,0137	48,4309	72,2452	29,4008
	Aydınlatma	36,2635				14,0976	50,3611			
	Alçak Gerilim Tek Terimli						Alçak Gerilim Tek Terimli			
	Sanayi	36,8249	37,3338	61,6676	17,6942	12,9124	49,7373	50,2462	74,5800	30,6066
	Ticarethane	39,8861	40,3484	66,8294	19,2785	17,4991	57,3852	57,8475	84,3285	36,7776
	Mesken	26,3304	26,8803	46,9052	10,8664	17,1147	43,4451	43,9950	64,0199	27,9811
	Şehit Aileleri ve Muharip Malul Gaziler	9,2471				11,6077	20,8548			
	Tarımsal Sulama	36,1183	37,2109	60,3498	17,5054	14,3786	50,4969	51,5895	74,7284	31,8840
	Aydınlatma	36,4703				16,7603	53,2306			
Genel Aydınlatma	26,0659				16,7603	42,8262				

Çizelge 8.3. EPDK'nın 01.04.2019 tarihinden itibaren geçerli lisansız elektrik üreticiler için dağıtım bedeli.



8.2.2. Karbon Emisyonundan Elde Edilen Gelirler

Mevcut durumda Türkiye’de karbon vergisi adı altında bir vergi sistemi olmayıp aynı zamanda herhangi bir uluslararası emisyon ticaret sistemine dahil değildir. Karbon fiyatlandırma politikaları hazırlık aşamasındadır. Mevcut durum göz önünde bulundurularak karbon satış gelirleri hesaplanırken gönüllü piyasada satış yapılacağı düşünülmüş ve hazırlanmıştır. Öncelikle Türkiye için geçerli olan Karbon Emisyon Faktörü (CEF) ile yıllık bazda üretilen elektrik enerjisi miktarı çarpılarak yıllık üretilen toplam karbon kredisi miktarı ($tCO_2/yıl$) bulunur. Daha sonra bu değer, Karbon Kredisi Fiyatı (VER) ile çarpılarak karbon satış gelirleri elde edilir.

Yıllık üretilen elektrik enerjisi miktarı 18606,24 kWh olduğu Bölüm 7’de hesaplanmıştı. Güneş enerjisinden 1 kWh elektrik enerjisi üretimi için 0,392 kg CO_2 havaya salındığı hesaba katıldığında [66], her yıl yaklaşık 7,293 ton karbon gazı salınımına engel olunacaktır [67]. Avrupa CO_2 emisyon fiyatlarına baktığımızda ise ton başına yaklaşık 25 Avro civarında olduğu bu rakamın 2030 yıllarında 30 Avro seviyelerine çıkacağı

öngörülmektedir [68]. Dolayısıyla CO₂ emisyonundan yaklaşık 1433,00 TL³ kadar bir gelir elde edilebilecektir.

8.3. TESİS YATIRIM MALİYETLERİ

GES ile ilgili olarak yatırım bedelini oluşturması gereken ana unsurlar aşağıdaki gibi listelenmiştir.

- Proje Yönetimi ve Mühendislik Hizmetleri
- Makine ve Teçhizatlar
- Sahanın Hazırlanması ve İnşaat İşleri
- Arazi Bedeli
- Kurulum ve İşletmeye Alma
- Trafo ve Enerji Besleme Kablosu
- Lisans Bedeli
- Öngörülemeyen Giderler
- Finansman Giderleri
- Tesis Yatırım Dönemi Ait Genel Giderler

8.3.1. Proje Yönetimi ve Mühendislik Hizmetleri

Mühendislik hizmetleri, projenin başından sonuna kadar ki tüm mühendislik hizmetlerini kapsamakta olup bu sektörde yer alan firmalarla yaptığımız görüşmeler neticesinde bu hizmetlerin tümü ortalama 1.000 \$ civarında olacağı sonucuna varılmıştır.

8.3.2. Makine ve Teçhizatlar

Güneş enerjisi santralinde kullanılabilecek makine ve teçhizatlar; güneş paneli, invertör, montaj yapıları, AC/DC kablolama, topraklama sistemi, şalt malzemeleri ve bunun gibi sistem bileşenleridir.

Üretici ve PV tesis kurulumu yapan firmalardan yapılan araştırmalar neticesinde elde edilen güncel makine ve teçhizat fiyatları temel alınmış olup 15 kWp güçteki güneş

³ 19/06/2019 tarihli T.C. Merkez Bankası verilerine göre 1 Avro = 6,55 TL'dir.

enerjisi santrali için invertör birim fiyatı 3.000 \$, panel birim fiyatı 100 \$, kablo birim fiyatı 2 \$ olarak tespit edilmiştir.

8.3.3. Sahanın Hazırlanması ve İnşaat İşleri

Güneş enerjisi santralının kurulması için belirlenen sahaya makine ve teçhizat ulaşmasından itibaren başlayan ve santralin kurulumunun sonlanmasına kadar sürecek bir zaman dilimini kapsar. Sahanın engebeli bir arazi olmadığı ve dolayısıyla sahanın hazırlanması için afaki denebilecek herhangi bir maliyet kalemi ön görülmemiş, basit bir tel örgü ile sahanın etrafının çevrilmesi ve profil ayaklara beton dökülmesi gibi inşaat çalışmaları olarak belirlenmiştir. Firmalarla yapılan görüşmeler neticesinde bu hizmetlerin toplamda 300 \$ olacağı ifade edilmiştir.

8.3.4. Arazi Bedeli

Bu proje kapsamında sahanın satın alınmadığı düşünülmüştür. İçme suyu kaynaklarının tamamı köylere ait arazilerde bulunmasından dolayı herhangi bir yatırım bedeli düşünülmemiştir.

8.3.5. Kurulum ve İşletmeye Alma

Güneş enerjisi santraline ait elektrik ve mekanik sistem kurulumu yapılması, bu sistemlerin devreye alınması, PV tesisi ilgili dağıtım şirketine kayıt ettirilerek kabul işlemlerinin yapılması ile her türlü test ve işlemi kapsamaktadır. Firmalarla yapılan görüşmeler neticesinde bu hizmetlerin toplamda 1.200 \$ olacağı ifade edilmiştir.

8.3.6. Trafo veya Enerji Besleme Kablosu

Düzce'deki köylerde içme suyu kaynakları dağıtım şebekesinin bulunduğu noktaya yakın durumdadır. Bu sebeple trafo ve enerji nakil hattı maliyeti göz önüne alınmayıp direkt olarak alçak gerilim şebekesine bağlantı yapılacaktır. 15 kWp güçteki güneş enerjisi santrali için 4x4 mm² NYY tipte yeraltı besleme kablosu çekilecek ve mesafe olarak 100 metre olduğu kabul edilirse ve toplam maliyeti 170 \$ olacağı öngörülmektedir.

8.3.7. Lisans Bedeli

2019 yılı üretim lisans bedelleri EPDK'nın 20.12.2018 tarih ve 8275 numaralı Kararı ile belirlenmiştir. Bilindiği üzere, Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği'nin 43 üncü maddesine esasen yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim tesisi kurmak üzere

lisans almak için başvuruda bulunan tüzel kişilerden lisans alma bedelinin % 10'u tahsil edilmektedir [69]. Dolayısıyla lisans alma işlemi yapılacak ise 1.700 TL ödenmesi gerekecektir.

Çizelge 8.4. Elektrik Piyasasında 2019 yılında uygulanacak olan lisans bedelleri.

Kurulu güç değeri, "P (MW)"		
$0 < P \leq 10$ MW	8.700	(Sekizbinyediyüz)TL
$10 < P \leq 25$ MW	17.000	(Onyedibin)TL
$25 < P \leq 50$ MW	25.600	(Yirmibeşbinaltıyüz)TL
$50 < P \leq 100$ MW	42.700	(Kırkikibinyediyüz)TL
$100 < P \leq 250$ MW	85.400	(Seksenbeşbindörtüyüz)TL
$250 < P \leq 500$ MW	170.700	(Yüzyetmişbinyediyüz)TL
$500 < P \leq 1000$ MW	256.000	(İkiyüzellialtıbin)TL
$P > 1000$ MW	427.000	(Dörtüyzyirmiyedibin)TL

9 Mayıs 2019 tarih ve 1044 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararı ile yeni dönemde lisansız elektrik üretim üst sınırı mesken abonelerinde 10 kW (10 kW dahil), diğer tesislerde ise 5 MW güce kadar çıkartılmıştır.

Köylerde içme suyu tesisleri için yapılacak tesislerde lisans alma mecburiyeti olmayıp lisanssız elektrik üretiminden faydalanılacağından herhangi bir lisans talebinde bulunulmayacaktır.

8.3.8. Öngörülemeyen Giderler

Proje sırasında öngörülmeleyen çeşitli giderleri ve uygulama aşamasında ortaya çıkabilecek olası problemleri karşılayabilmek için toplam yatırım maliyetinin % 1,5 oranında beklenmeyen gider kalemi oluşturulmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Yatırım maliyetinin bu orana gelen karşılığı 1.670,52 TL olarak hesaplanmıştır.

8.3.9. Finansman Giderleri

Finansman giderleri, işletme faaliyetlerini yürütebilmek için kısa ve uzun vadeli borçlanmalar sebebiyle oluşan faiz, komisyon, kur farkları gibi borçlanma giderleri olarak tanımlanabilir. Gerçek manada bir borçlanma olmayıp, teminat mektupları için ödenmiş komisyonlar ve diğer gider kalemleri finansman gideri olarak kabul edilebilir. Farklı bir ifadeyle finansman gideri, işletmelerin öz sermayelerindeki yetersizlikten kaynaklanan

yani işletmenin tamamını ilgili kılan genel nitelikteki bir gider olarak kabul edilebilir. Köylerde yapılacak bu tarz yatırımlar için kredi kullanılabileceği gibi Valilikler, İl Özel İdareleri, Yatırım İzleme ve Koordinasyon Merkezleri ve Kalkınma Ajansları gibi kamusal imkânlardan da faydalanılabilir. Bu çalışma kapsamında yapılacak olan fayda maliyet analizinde herhangi bir kredi kullanımının olmadığı kabul edilmektedir.

8.3.10. Tesis Yatırım Dönemine Ait Genel Giderler

Tesis yatırım dönemine ait genel giderler, tesis devreye alınana kadar yüklenici firmanın ihtiyacı olacak işletme gider kalemlerinden meydana gelmektedir. Bu kapsamda, proje aşamasında çalıştırılması planlanan personel ve sigorta gideri yatırım dönemi genel gideri olarak hesaba katılmıştır. Bu gider kalemi alınan tekliflere dahil edildiğinden ayrıca bir fiyat tespit edilmemiştir.

8.3.11. Toplam Yatırım Bedeli

Bölüm 8.3.1 ile 8.3.10 arasında detaylı olarak açıklanan yatırım maliyetleri Çizelge 8.5'te özetlenmiştir.

Çizelge 8.5. Toplam yatırım maliyeti.

İmalatın Cinsi	Miktarı	Birim Fiyatı (\$)	Yaklaşık Maliyet (\$)
Proje Yönetimi ve Mühendislik Giderleri	1 Adet	1.000	1.000
İnvertör Cihazı- Fronius Symo 15kW - 3M WLAN	1 Adet	3.000	3.000
PV panel-Polikristal SPE 270 Schmid-Pekintaş	56 Adet	100	5.600
PV Kablo	100 metre	2	200
Çelik Konstrüksiyon	Muhtelif	3745	3745
Besleme Kablosu	100 metre	1,7	170
Nakliye	Muhtelif	100	100
Montaj/Devreye Alma	Muhtelif	1.200	1.200
Sahanın Hazırlanması ve İnşaat İşleri	Muhtelif	300	300
Öngörülemeyen Giderler	Muhtelif	285	285
			15.600 \$
			≈ 91.260,00 TL
Toplam Yatırım Bedeli (KDV Dahil)			≈ 107.686,00 TL

Kullanılacak her bir panel 1,65 m² büyüklüğünde olup her bir panelin gücü 270 W'tır. 15 kWp'lik bir sistem için 56 adet panel ve 92,5 m²'lik bir panel alanı gerekmektedir. Toplam yatırım bedelinin üzerine KDV eklenerek toplam proje bedeli 107.686,00 TL olarak hesaplanmıştır.

8.4. FAALİYET GİDERLERİ

Faaliyet bazlı giderlerin oldukça düşük maliyette olması güneş enerjisi tesislerin en önemli avantajlarından biridir. 15 kWp güçteki bir güneş enerjisi tesisinde sürekli olarak bir personel görevlendirilmesine gerek olmadığından personel gider kalemi boş bırakılmıştır.

Panel bakımları ve yenileme giderleri güneş enerjisi tesislerinde oldukça düşük olmaktadır. Diğer taraftan bu giderlerin en önemli bileşeni invertör ve kablolardan kaynaklanan arızalar ve/veya yenileme giderleridir. Ayrıca çok az da olsa güneş panellerine zarar verilmesi gibi olaylarla da karşılaşılabilir. Ayrıca çok az da olsa güneş panellerine zarar verilmesi gibi olaylarla da karşılaşılabilir.

Güneş enerjisi santralinde kullanılan ekipmanların genelde 5 yıllık garanti sürelerinin olması sebebiyle ilk 5 yıl için herhangi bir yenileme gideri düşünülmemiştir. İlk 5 yıldan sonra ise bakım - yenileme gideri olarak makina teçhizat ve bağlantı yatırım bedelinin % 1'i oranında olacağı kabul edilmiştir.

Güneş panelleri üzerine düşen güneş ışınlarının maksimum düzeyde elektriğe dönüştürülebilmesi için mümkün olduğunca camla kaplı dış yüzeyinin temiz tutulması gerekmektedir. Diğer şekilde panellerin verimi düşecek ve beklenen değer altında bir üretim ile alınacaktır. Bu gibi durumlarla karşılaşmamak için mümkünse her hafta sonu veya iki haftada bir panel temizliği yapılması gerekmektedir. Uzmanlık gerektiren bir işlem olmaması ve panel sayısının az olmasından dolayı bu işlem için herhangi bir maliyet öngörülmemiştir.

8.5. FİNANSAL ANALİZ

Güneş enerjisi santralinde yıllık bakım onarım masrafı beş yıldan sonra makine ve teçhizat yatırım bedelinin %1'i, panel verimlilik kaybı olarak %1, tesis ömrü 25-30 yıl, beklenmeyen giderler %1.5, lisanssız elektrik üretim başvurusu ve sistem işletim bedelinin olmadığı dikkate alınmıştır. Amortisman giderleri, PV sistemde bulunan

makine ve ekipmanların bir yıl içerisinde uğrayacakları değer kaybını göstermektedir. Vergi Usul Kanununun Genel Tebliğinde yer alan Amortisman Tabi İktisadi Kıymetler Listesinde, güneş enerjisi santrallerinin (GES) faydalı ömrü 10 yıl, normal amortisman oranı yüzde 10 olarak düzenlenmiştir. Maliye Bakanlığı ile yapılan görüşmeler neticesinde, amortisman tabi olan tutar belirlenirken 10 yıldan sonra işletmenin hesaplarında santralin izlenmesini sağlayacak şekilde iz bedel⁴ ayrıldığı ve PV sistem makine ve ekipmanları ve iletim sistemi altyapı yatırımı için yapılan harcamaların tamamının amortisman tabi olan değerler olduğu bilgisi edinilmiştir [7]. PV santralin vergi öncesi kârından 10 yıl boyunca düşürülecek amortisman giderleri hesaplanır.

Çizelge 8.6. Yapılması düşünülen PV santraline ait muhtelif giderler.

Parametreler	Değerler
Hesaplanan Yatırım Maliyeti	107.686,00 TL
Yıllık PV Panel Verimlilik Kaybı	% 1
Bakım Onarım Bedeli (İlk 5 yıl hariç)	% 1
Beklenmeyen Giderler	% 1,5
Amortisman Süresi	10 Yıl
Amortisman Oranı	% 10
Lisanssız Elektrik Üretim Başvuru Ücreti	Yok
Sistem İşletim Ücreti	Yok
Tahmin Edilen Tesis Ömrü	25-30 Yıl

8.6. PV SİSTEMİNE AİT ÜRETİM VERİLERİ VE FAYDA MALİYET ANALİZİ

Geri ödeme süresi, proje gelirlerinden elde edilen toplamın, yatırım giderlerini geçtiği zamana verilen isim olarak nitelendirilebilir. Farklı bir deyişle projenin kâra geçtiği zaman olarak da tanımlamak mümkündür. Geri ödeme süresi yöntemi, yatırım projelerinde en çok kullanılan değerlendirme yöntemlerinden birisidir. Bu yöntem sayesinde yatırımcılar, yatırımlarının rasyonel olup olmadıkları hakkında kolaylıkla bilgi sahibi olabilirler. Geri ödeme süresi, kârlılık ölçüsü olmayıp yalnızca bir zaman

⁴ İz bedeli, ekonomik ömrünü tamamladığı halde fiilen kullanılmasına devam edilen iktisadi kıymetler ile gerçek değeri tespit edilemeyen veya edilmesi uygun görülmeyen, ancak hesaplarda izlenmesi gereken iktisadi kıymetlerin muhasebeleştirilmesinde kullanılan ve muhasebe kayıtlarında yer verilen en düşük tutarı ifade etmektedir [7].

kavramıdır. Kısacası fizibilite raporlarında geri ödeme süresi kısaldıkça, yatırımın daha az risk taşıdığı ve likiditesinin artacağı bilinmelidir.

Geri ödeme süresi formül olarak gösterilirse;

$$GÖSH=TYB / (YNG-YYG) \quad (8.1)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Burada,

GÖSH : Geri Ödeme Süresi, (Yıl)

TYB : Toplam Yatırım Bedeli (TL)

YNG : Yıllık Net Nakit Girişi (TL/Yıl)

YYG : Yıllık Gider (TL/Yıl) olarak belirtilmektedir.

02.01.2009 tarihindeki bir Amerikan Doları 1,53 TL iken 19.06.2019 tarihinde ise bir Amerikan Doları 5,85 TL'dir. Yani yaklaşık 10 yıllık süreçte yıllık bazda %16'lık bir artış gösterdiği görülmektedir. Benzer şekilde 02.01.2009 tarihindeki bir Avro 2,13 TL iken 19.06.2019 tarihinde ise bir Avro 6,55 TL'dir. Yani yaklaşık 10 yıllık süreçte yıllık bazda %13'lük bir artış gösterdiği görülmektedir. 01.01.2009 tarihinden itibaren uygulanacak tarifelerle ilgili 25.12.2008 tarih ve 1905 sayılı Kurul kararına göre olarak perakende tek zamanlı ticarethane grubuna ait elektrik enerjisi birim fiyatı 19.997 kuruş iken 01.04.2019 tarihinden itibaren uygulanacak tarifelerle ilgili 27.03.2019 tarih ve 8518 sayılı Kurul kararına göre perakende tek zamanlı ticarethane grubuna ait elektrik enerjisi birim fiyatı 39,8861 kuruştur. Yani yaklaşık 10 yıllık süreçte yıllık bazda %8'lik bir artış gösterdiği görülmektedir. Bu sebeple elektrik enerjisi fayda maliyet analizi yapılırken Amerikan Dolar kurundaki artış oranı yıllık %16, Avro kurundaki artış oranı yıllık %13, elektrik enerjisi birim fiyatındaki yıllık artış oranı %8, karbon satış fiyatındaki yıllık artış oranı %10, bakım onarım giderindeki yıllık artış oranı ise %15 olarak kabul edilmiştir.

09.05.2019 tarih ve 1044 sayılı Cumhurbaşkanı Kararı'ndan hem önce hem de sonra ilk 10 yıl için güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisinin birim fiyatı belirlenmiş iken 10 uncu yıldan sonra uygulanacak birim fiyat tarifesi hakkında herhangi bir detay yönetmeliklerde bulunmamaktadır. Bu sebeple ilk 10 yıldan sonra uygulanacak elektrik enerjisinin birim fiyatını tespit etmek için Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketinin 31.05.2018-31.05.2019 tarihleri arasındaki YEKDEM elektrik enerjisi pozitif dengesizlik fiyat ortalaması 0,25 TL/kWh [70] dikkate alınacak ve bu fiyata 2009-2019 yılları arasında uygulanan elektrik birim fiyatında meydana gelen yıllık ortalama %8'lik artış

oranı da ilave edilecektir. Böylelikle 11 inci ve 25 inci yıllar arasındaki birim fiyatlar bulunup üretim gelirleri hesaplanacaktır. Yapılan hesaplamalar Çizelge 8.7 ve Çizelge 8.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 8.7. 9 Mayıs 2019 tarih ve 1044 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararı öncesinde PV sisteminin fayda maliyet analizi.

Yıl	Yıllık PV Panel Verimlilik Kaybı	Enerji Üretimi kWh/Yıl	Yıllık Elektrik Üretim Geliri (TL)	Yıllık Karbon Satış Geliri (TL)	Yatırım Bedeli (TL)	Bakım Onarım Gideri (TL)	Beklenmeyen Gider TL (%1,5)	Makine ve Teçhizat Amortisman (%10)	Yatırımın Geri Dönüşü
1	100%	18606	14476	1473	-107686	Garanti Süresi	-1615,29	-5122	-98474
2	0,99	18420	16625	1764				-5122	-85207
3	0,98	18234	19090	2170				-5122	-69069
4	0,97	18048	21918	2670				-5122	-49602
5	0,96	17862	25163	3284				-5122	-26276
6	0,95	17676	28885	4040		-512		-5122	1015
7	0,94	17490	33154	4969		-589		-5122	33427
8	0,93	17304	38050	6111		-677		-5122	71788
9	0,92	17118	43663	7514		-779		-5122	117064
10	0,91	16931	50098	9238		-896		-5122	170384
11	0,9	16745	9038	11357		-1030			189748
12	0,89	16559	9653	13960		-1185			212176
13	0,88	16373	10308	17157		-1362			238278
14	0,87	16187	11006	21084		-1567			268801
15	0,86	16001	11750	25906		-1802			304654
16	0,85	15815	12542	31826		-2072			346951
17	0,84	15629	13386	39095		-2383			397049
18	0,83	15443	14285	48016		-2740			456610
19	0,82	15257	15242	58965		-3151			527666
20	0,81	15071	16260	72400		-3624			612702
21	0,8	14885	17344	88882		-4167			714761
22	0,79	14699	18498	109099		-4793			837566
23	0,78	14513	19725	133894		-5511			985673
24	0,77	14327	21030	164297		-6338			1164661
25	0,76	14141	22417	201568		-7289			1381357

Çizelge 8.7’den anlaşılacağı üzere 15 kWp kurulu güçteki güneş enerjisi santrali 9 Mayıs 2019 tarih ve 1044 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararı öncesinde geçerli olan güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisi alım fiyatına göre 5 yıl gibi bir sürede yatırımın geri dönüşü olacaktır.

Çizelge 8.8. 9 Mayıs 2019 tarih ve 1044 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararı sonrasında PV sisteminin fayda maliyet analizi.

Yıl	Yıllık PV Panel Verimlilik Kaybı	Enerji Üretimi kWh/Yıl	Yıllık Elektrik Üretim Geliri (TL)	Yıllık Karbon Satış Geliri (TL)	Yatırım Bedeli (TL)	Bakım Onarım Gideri (TL)	Beklenmeyen Gider TL (%1,5)	Makine ve Teçhizat Amortisman (%10)	Yatırımın Geri Dönüşü
1	100%	18606	7421	1473	-107686		-1670,52	-5122	-105529
2	0,99	18420	7935	1764		Garanti Süresi		-5122	-100952
3	0,98	18234	8483	2170				-5122	-95421
4	0,97	18048	9068	2670				-5122	-88805
5	0,96	17862	9693	3284				-5122	-80949
6	0,95	17676	10359	4040			-512		-5122
7	0,94	17490	11070	4969		-589		-5122	-61856
8	0,93	17304	11828	6111		-677		-5122	-49716
9	0,92	17118	12637	7514		-779		-5122	-35465
10	0,91	16931	13500	9238		-896		-5122	-18745
11	0,9	16745	9038	11357		-1030			620
12	0,89	16559	9653	13960		-1185			23048
13	0,88	16373	10308	17157		-1362			49150
14	0,87	16187	11006	21084		-1567			79673
15	0,86	16001	11750	25906		-1802			115526
16	0,85	15815	12542	31826		-2072			157823
17	0,84	15629	13386	39095		-2383			207921
18	0,83	15443	14285	48016		-2740			267482
19	0,82	15257	15242	58965		-3151			338537
20	0,81	15071	16260	72400		-3624			423574
21	0,8	14885	17344	88882		-4167			525633
22	0,79	14699	18498	109099		-4793			648437
23	0,78	14513	19725	133894		-5511			796545
24	0,77	14327	21030	164297		-6338			975532
25	0,76	14141	22417	201568		-7289			1192229

Mayıs 2019 tarih ve 1044 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararı sonrasında geçerli olan güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisi alım fiyatına göre 10 yıl gibi bir sürede yatırımın geri dönüşü olacaktır.



Şekil 8.1. Düzce-Çilimli ilçesi Söğütlü köyünde yapımı tamamlanan PV tesisi.

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Su, dünyanın en değerli metasıdır. Yeryüzündeki her canlı, hayatta kalmak için suya ihtiyaç duyar. Bu ihtiyacı karşılamak için güneşin olduğu ve suya gereksinim duyulan yerlerde güneş enerjili dalgıç pompa sistemleri ideal bir çözümdür. Bu sistemde enerjiyi bataryalarda depolamak yerine, suyu belli bir yükseklikte depolamak üretimin az olduğu zamanlarda su sıkıntısıyla karşılaşmamamızı sağlayacak, bataryaların kullanılmaması da sistem maliyetini yaklaşık 1/3'ü kadar azaltarak bakım giderlerinin çoğunu ortadan kaldıracaktır. Ayrıca bataryaların olmaması güneş enerjili dalgıç pompa sistemini epey basite indirgeyecek ve sadece üç bileşenden yani güneş paneli, kontrolör ve pompadan oluşacaktır. Güneş modülleri genellikle 25-30 yıl üretici firma garantisi altında olup kontrolör cihazları ve pompa ömrü ise genelde 5-10 yıl arasında değişmektedir. Pompa veya kontrolör cihazı arızalı olmadığı sürece normal olarak gereken tek bakım güneş modüllerinin 2-4 hafta aralıklarla temizlenmesi olacaktır. Bu görev de uzmanlık gerektirmeyen bir iş olması sebebiyle çok düşük fiyatlara yaptırılabilir [71].

Bu çalışma ile Düzce-Çilimli ilçesi Pırpır köyünde tipik bir su temini uygulaması için 15 kWp gücündeki fotovoltaik sistemin fayda maliyet analizi yapılarak Düzce'deki güneş potansiyeli üzerine dikkatleri çekmek, bölge halkını bu konuda bilinçlendirmek ve yatırımcılara yol göstermektir. Yapılan analizler neticesinde 9 Mayıs 2019 tarih ve 1044 sayılı Cumhurbaşkan Kararı öncesinde PV tesisin 5 yıl gibi bir sürede maliyetini amorti edeceği, karar sonrasında ise 10 yıl gibi bir sürede maliyetini amorti edeceği hesaplanmıştır. 25-30 yıl sistem ömrü hesaba katıldığında bu sürenin sonunda her iki durumda da ne kadar gelir getireceği elektrik enerjisi birim fiyatı, Amerikan Doları, Avro ve bakım giderlerindeki muhtemel artış oranları da dikkate alınarak hesaplanmıştır. Ayrıca bu PV tesisi sayesinde termik santralde yakılacak kömürden elde edilecek 1 kWh elektrik enerjisi üretimi için 0,915 kg CO₂ havaya salındığı hesaba katıldığında [66], her yıl yaklaşık 17 ton karbon gazı salınımına engel olunacağı, doğaya ve çevreye zarar vermeden elektrik enerjisi üretilebilecektir.

10. KAYNAKLAR

- [1] Dışişleri Bakanlığı. (2019, 6 Mayıs). *Türkiye'nin enerji profili ve stratejisi*. [Online]. Erişim: http://www.mfa.gov.tr/turkiye_nin-enerji-stratejisi.tr.mfa.
- [2] Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi. (2019, 7 Temmuz). *Kurulu güç raporu-Haziran 2019*. Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı. [Online]. Erişim: https://www.teias.gov.tr/sites/default/files/2019-07/kurulu_guc_haziran_2019..pdf.
- [3] M. Yılmaz, "Türkiye'nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi," *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, c. 4, sayı 2, ss. 33–54, 2012.
- [4] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. (2019, 14 Mayıs). *Türkiye'nin hidroelektrik potansiyeli*. [Online]. Erişim: http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/h_turkiye_potansiyel.aspx.
- [5] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2019, 14 Mayıs). *Rüzgâr*. [Online]. Erişim: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar>.
- [6] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. (2019, 8 Mayıs). *Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası*. [Online]. Erişim: <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/>.
- [7] S. Cebeci, "Türkiye'de güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyelinin değerlendirilmesi," Uzmanlık tezi, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Kalkınma Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2017.
- [8] Anonim. (2019, 14 Mayıs). *Jeotermal ve jeotermal enerji nedir?*. [Online]. Erişim: <http://www.hurriyet.com.tr/gundem/jeotermal-nedir-jeotermal-enerji-nedir-40968320>.
- [9] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2019, 14 Mayıs). *Jeotermal*. [Online]. Erişim: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Jeotermal>.
- [10] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. (2019, 14 Mayıs). *Türkiye'de jeotermal enerji*. [Online]. Erişim: http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/turkiyede_jeo.aspx.
- [11] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. (2019, 14 Mayıs). *Türkiye jeotermal enerji potansiyeli ve arama çalışmaları*. [Online]. Erişim: <http://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari>.
- [12] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2019, 14 Mayıs). *Biyokütle*. [Online]. Erişim: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Biyokutle>.
- [13] Anonim. (2019, 25 Mayıs). [Online]. Erişim: <https://docplayer.biz.tr/133859426-2018-yili-enerji-piyasasi-ozet-raporu.html>.
- [14] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. (2019, 14 Mayıs). *Türkiye biyokütle enerjisi potansiyel atlası*. [Online]. Erişim: <http://bepa.yegm.gov.tr/>.
- [15] E. T. Karagöl ve İ. Kavaz, "Dünyada ve Türkiye'de yenilenebilir enerji," *SETA-Siyaset Ekonomi ve Toplum Araştırmaları Vakfı*, sayı 197, ss. 1–32, 2017.
- [16] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2019, 13 Mayıs). *Elektrik*. [Online]. Erişim: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>.
- [17] A. Richter. (2019, May 15). *The top 10 geothermal countries 2018-based on installed generation capacity (MWe)*. [Online]. Available: <http://www.thinkgeoenergy.com/the-top-10-geothermal-countries-2018-based->

- on-installed-generation-capacity-mwe/.
- [18] Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2019, 8 Mayıs). *Resmi istatistikler*. [Online]. Erişim: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=DUZCE>.
- [19] Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2019, 16 Haziran). *İllere ait mevsim normalleri (1981-2010)*. [Online]. Erişim: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=DUZCE>.
- [20] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. (2019, 8 Mayıs). *Düzce güneş enerjisi potansiyel atlası*. [Online]. Erişim: <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/81.aspx>.
- [21] The World Bank Group. (2019, May 12). *Global solar atlas*. [Online]. Available: <https://globalsolaratlas.info/?c=48.965794,23.422852,5&s=51,10&e=1>.
- [22] M. H. Girgin, “Bir fotovoltaik güneş enerjisi santralının fizibilitesi, Karaman bölgesinde 5 MW’lık güneş enerjisi santrali için enerji üretim değerlendirmesi ve ekonomik analizi,” Yüksek lisans tezi, Enerji Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2011.
- [23] European Commission Joint Research Centre. (2019, May 17). *Photovoltaic geographical information system (PVGIS)*. [Online]. Available: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>.
- [24] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. (2019, 17 Mayıs). *Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası*. [Online]. Erişim: <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>.
- [25] Anonim. (2019, May 17). [Online]. Available: <https://meteonorm.com/>.
- [26] Anonim. (2019, May 20). [Online]. Available: https://power.larc.nasa.gov/documents/POWER_Data_v9_methodology.pdf.
- [27] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. (2019, 19 Mayıs). *Güneş enerjisi ve teknolojileri*. [Online]. Erişim: http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx.
- [28] Anonim. (2019, 9 Mayıs). [Online]. Erişim: <http://www.toplumdusmani.net/v2/cografya/3929-gunesten-gelen-isinlara-atmosferin-etkisi.html>.
- [29] A. Rohatgi, A. Upadhyaya, and V. Yelundur. (2019, June 15). *High efficiency mono-crystalline solar cells with simple manufacturable technology*. [Online]. Available: <https://smartechnology.gatech.edu/bitstream/handle/1853/25915/2CV.5.54.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [30] A. Erkul, “Monokristal, polikristal ve amorf silisyum güneş panelleri verimliliğinin incelenmesi ve aydınlatma sistemi uygulaması,” Yüksek lisans tezi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2010.
- [31] R. B. Bergmann, C. Berge, T. J. Rinke, J. Schmidt, and J. H. Werner, “Advances in monocrystalline silicon thin film solar cells by layer transfer,” *Solar Energy Materials & Solar Cells*, c. 74, sayı 1–4, ss. 213–218, 2002.
- [32] M. Karamanav, “Güneş enerjisi ve güneş pilleri,” Yüksek lisans tezi, Elektronik Bilgisayar Eğitimi Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, 2007.
- [33] T. Köroğlu, T. Teke, Ç. Bayındır ve M. Tümay, “Güneş paneli sistemlerinin tasarımı,” *Elektrik Mühendisliği Dergisi*, c. 409, sayı 439, ss. 98–104, 2010.
- [34] Z. Yumurtacı ve A. H. Dönmez, “Konutlarda enerji verimliliği,” *Mühendis ve Makine Dergisi*, c. 54, sayı 637, ss. 38–43, 2013.

- [35] M. Çubukçu ve M. Çolak, “Gökçeada’da şebekeden bağımsız bir fotovoltaik güç sistemi benzetimi ve karşılaştırmalı gerçek performans incelemesi,” *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 19, sayı 5, ss. 201–208, 2013.
- [36] Y. Oğuz, A. Karaman ve B. Uslu, “Afyonkarahisar’da kurulu olan monokristal , polikristal ve ince film güneş panellerinin verimliliğinin incelenmesi,” *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, sayı 149, ss. 47–58, 2015.
- [37] Anonim. (2019, 15 Mayıs). [Online]. Erişim: <https://www.enerjimgunesten.com/esnek-gunes-paneli-nedir.html>.
- [38] Y. Zhao, G. A. Meek, B. G. Levine, and R. R. Lunt, “Near-infrared harvesting transparent luminescent solar concentrators,” *Advanced Optical Materials*, c. 2, sayı 7, ss. 606–611, 2014.
- [39] H. C. Karakaya. (2019, 15 Mayıs). *Şeffaf güneş panelleri evinizdeki bütün pencereleri güç kaynağına dönüştürecek*. [Online]. Erişim: <https://www.elektrikport.com/universite/seffaf-gunes-panelleri-evinizdeki-butun-pencereleri-guc-kaynagina-donusturecek!/16740#ad-image-0>.
- [40] R. Hill and N. M. Pearsall, “*Photovoltaic modules, systems and applications*,” Clean Electricity from Photovoltaics, 1st. ed., vol. 1, pp.1-42, UK, 2001.
- [41] E. Leblebicioğlu. (2019, 15 Mayıs). *Şarj kontrol cihazı nedir ve nasıl seçilir?*. [Online]. Erişim: <https://muhendistan.com/sarj-kontrol-cihazı-nedir-nasil-secilir/>.
- [42] Anonim. (2019, 16 Mayıs). [Online]. Erişim: https://solarevi.com/index.php?route=blog/article&blog_post=86.
- [43] T. B. Greenslade. (2019, May 16). *Heliostat*. [Online]. Available: <http://physics.kenyon.edu/EarlyApparatus/Optics/Heliostat/Heliostat.html>.
- [44] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. (2019, 16 Mayıs). *Güneş enerjisi ve teknolojileri*. [Online]. Erişim: http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx.
- [45] Schmid-Pekintaş Enerji. (2019, 10 Mayıs). *Polikristal SPE 270 panel özellikleri*. [Online]. Erişim: <http://www.schmid-pekintas.com/poly.pdf>.
- [46] V. Lo Brano, A. Orioli, and G. Ciulla, “On the experimental validation of an improved and parameter model for silicon photovoltaic modules,” *Solar Energy Materials and Solar Cells*, sayı 105, ss. 27-39, 2012.
- [47] W. De Soto, S. A. Klein, and W. A. Beckman, “Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance,” *Solar Energy*, c. 80, sayı 1, ss. 78-88, 2006.
- [48] C. Qi and Z. Ming, “Photovoltaic module simulink model for a stand-alone PV system,” *Physics Procedia*, c. 24, part-A, ss. 94–100, 2012.
- [49] G. Şenoğlu. (2019, 10 Mayıs). *Dalgıç pompa nedir? Dalgıç pompalar nerelerde kullanılır?*. [Online]. Erişim: <https://pompa-vana.com/dalgic-pompa-nedir/>.
- [50] Anonim. (2019, 11 Mayıs). [Online]. Erişim: <https://liderlerenerji.com/solar-sulama-sistemleri>.
- [51] Düzce İl Özel İdaresi, Düzce’deki içme suyu sondaj kuyuları, *Ders Notları*, Düzce, 2019.
- [52] Türkiye İstatistik Kurumu. (2019, 11 Mayıs). *Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi-2018*. [Online]. Erişim: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr>.
- [53] Türkiye İstatistik Kurumu. (2019, 11 Mayıs). *Kişi başı çekilen günlük su miktarı (litre/kişi-gün)-2016*. [Online]. Erişim: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=121&locale=tr>.
- [54] T.C. Başbakanlık Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Etüt ve Proje Dairesi Başkanlığı, *Su Getirme Etüt ve Proje Bilgisi*, Ankara, Türkiye, 2000.

- [55] Anonim. (2019, May 18). [Online]. Available: <http://www.solmetric.com/buy210.html>.
- [56] Düzce İl Özel İdaresi, 15 kWp güçteki PV santralin elektrik üretimi, *Ders Notları*, Düzce, 2019.
- [57] S. Şahinler, “En küçük kareler yöntemi ile doğrusal regresyon modeli oluşturmanın temel prensipleri giriş materyal ve yöntem,” *Mustafa Kemal Üniveristesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, c. 5, sayı 1-2, ss. 57–73, 2000.
- [58] B. Ergül, “Robust regresyon ve uygulamaları,” Yüksek lisans tezi, İstatistik Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, 2006.
- [59] S. Eğri, “Regresyon analizi üzerine bir çalışma,” Yüksek lisans tezi, Matematik Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, Türkiye, 2016.
- [60] Y. Karadede, “Eğri uydurma problemlerine melez algoritma yaklaşımı,” Yüksek lisans tezi, Endüstri Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2014.
- [61] N. Orhunbilge, *Uygulamalı Regresyon ve Korelasyon Analizi*, 2. baskı, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Yayını, yayın no. 267, İstanbul, Türkiye, 2002.
- [62] S. Şentürk, “Applied genetic algorithms approach to curve fitting problems,” Yüksek lisans tezi, Bilgisayar Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [63] Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası. (2019, 19 Haziran). *Döviz kurları*. [Online]. Erişim: <https://www.tcmb.gov.tr/>.
- [64] Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımına ilişkin kanun, *T.C. Resmî Gazete*, Sayı: 5346, 10 Mayıs 2005.
- [65] Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2019, 22 Mayıs). *Lisanssız elektrik üretim yönetmeliği kapsamındaki bedeller*. [Online]. Erişim: <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-1853/luy-31-madde-kapsami-bedeller>.
- [66] Anonim. (2019, 12 Mayıs). [Online]. Erişim: <https://arge7.com/detay.asp?id=2648>.
- [67] S. Friggens. (2019, May 21). *How much CO2 pollution do solar panels save?*. [Online]. Available: https://www.ethex.org.uk/how-much-co2-pollution-do-solar-panels-save_479.html.
- [68] Anonim. (2019, May 21). [Online]. Available: <https://markets.businessinsider.com/commodities/co2-emissionsrechte>.
- [69] Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2019, 22 Mayıs). *Lisans Bedelleri 20.12.2018 tarih ve 8275 numaralı karar*. [Online]. Erişim: <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/21-9/lisans-bedelleri>.
- [70] Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi. (2019, 19 Haziran). *Yenilenebilir enerji kaynakları destekleme mekanizması (YEKDEM) raporları birim maliyeti*. [Online]. Erişim: <https://rapor.epias.com.tr/rapor/xhtml/yekdemBirimMaliyeti.xhtml>.
- [71] M. Abu-Aligah, “Design of photovoltaic water pumping system and compare it with diesel powered pump,” *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, c. 5, sayı 3, ss. 273–280, 2011.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ali YILDIZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 02.09.1982/DÜZCE
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : aliyildizytu@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Elektrik-Elektronik Müh.	Düzce Üniversitesi	2019
Lisans	Elektrik Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2005
Lise	Fen Bilimleri	Düzce Lisesi	1999

YAYINLAR

1. E. YILDIRIZ, A. YILDIZ, “Düzce çevresinde su temin uygulaması için şebeke bağlantılı 15 kWp güçteki PV sistemin fayda-maliyet analizi,” *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi*, Kocaeli, Türkiye, 2019, c. 2, ss. 1134-1341.