

**T.C.
HASAN KALYONCU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİR GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN ÜRETİM İLE
SİMÜLASYON DEĞERLERİNİN
KARŞILAŞTIRILMASI VE KAYIP ANALİZİ:
BEŞTEPE ENERJİ ÖRNEĞİ**

**ÇEVRE BİLİMLERİ VE ENERJİ YÖNETİMİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

HAKAN ÖZTÜRK

OCAK 2021

OCAK 2021

Yüksek Lisans- Çevre Bilimleri ve Enerji Yönetimi

HAKAN ÖZTÜRK

**Bir Güneş Enerji Santralının Üretim İle Simülasyon Değerlerinin
Karşılaştırılması ve Kayıp Analizi: Beştepe Enerji Örneği**

**Hasan Kalyoncu Üniversitesi
Çevre Bilimleri ve Enerji Yönetimi
Yüksek Lisans Tezi**

**Danışman
Dr. Öğretim Üyesi Adem YURTSEVER**

**Hakan ÖZTÜRK
Ocak 2021**



© 2021 [Hakan Öztürk]

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE YÜKSEK LİSANS/DOKTORA
KABUL VE ONAY FORMU



İlgili tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek ilgili tezde yer aldığını beyan ederim.

Hakan ÖZTÜRK

ÖZET

Bir Güneş Enerji Santralının Üretim İle Simülasyon Değerlerinin Karşılaştırılması ve Kayıp Analizi: Beştepe Enerji Örneği

ÖZTÜRK, Hakan

Yüksek Lisans Tezi, Çevre Bilimleri ve Enerji Yönetimi
Tez Danışmanı: Dr. Öğretim Üyesi Adem Yurtsever
Ocak, 2021, 87 sayfa

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde güneş enerjisinin önemi büyük olup sağladığı potansiyelle birlikte yaşamın birçok alanında kullanılmaktadır. Güneş enerjisi santralleri kurulum aşamasında fizibilite çalışmalarında çeşitli simülasyon programları kullanılmakta ve bu simülasyonlar sonucunda elde edilen değerlerin kurulum sonrası gerçekleşen elektrik üretim değerleri ile bağdaşması yatırımcı açısından önem arz etmektedir. Simülasyon programlarının sunmuş oldukları yatırım öncesi fizibilite çalışmaları kar/maliyet analizlerinin yanı sıra verimlilik açısından en uygun olabilecek yatırım alanının da belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu anlamda, simülasyon programların sunmuş olduğu teknik/ekonomik analizlerin tutarlılığı çevre dostu olan güneş enerjisi santrallerinin çoğalmasına önemli olumlu bir katkı sağlamaktadır.

Bu çalışmanın amacı, güneş enerji santrallerin fizibilite aşamasında hesaplanan amortisman (geri ödeme hızı) sürecinin kurulum sonrası gerçekleşen üretim ve mali verilerin arasındaki farklılıkları tespit etmektir. Bu bağlamda, bu tez fizibilite çalışmasında sorumlu olan tedarikçi firmalar tarafından düzenlenen fizibilite çalışmalarının tutarlılığını test etmeyi hedeflemektedir. Bu amaca yönelik, Beştepe Enerji Tesisleri Mühendislik Müşavirlik Danışmanlık ve Ticaret Limited Şirketi'den elde edilen arşiv verileri incelenmiştir. Bu çalışmada Aksaray ili, Merkez ilçesi Gençosman mevkiinde kurulmuş olan 1125 kWp / 1000 kW'lık güneş enerji santralının simülasyonu PVSYST 7.1 yazılım modeli ile gerçekleştirilmiştir. Kilowatt saat değerine dikkate alarak kurulum sonrası sistemin reel üretim değerleri alınarak simülasyon verileri ile kıyaslanmıştır. Elde edilen bulgular, PVSYST simülasyon programının reel üretim değerlerine oldukça yakın değerler ürettiğini göstermektedir. Oluşan kayıpların ise yüksek sıcaklık ve tercih edilen panel özelliklerinden kaynaklandığı anlaşılmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, PVSYST programı, fotovoltaik sistemler, fizibilite, Beştepe Enerji.

ABSTRACT

Comparison of Production and Simulation Values of a Solar Power Plant and Loss Analysis: Case of Beştepe Energy Company

ÖZTÜRK, Hakan

Master's Thesis / Department of Environmental Sciences and Energy Management

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Adem YURTSEVER

January 2021, 87 pages

Among the sources of renewable energy, solar energy is a source of energy with great potential. Various simulation programs are used in feasibility studies during the installation phase of solar power plants and it is important for the investor to match the values obtained as a result of these simulations with the electricity production values realized after the installation. This is why the pre-investment feasibility studies presented by simulation programs play an important role in determining the most suitable investment area. But also in terms of efficiency and benefit / cost analysis in building such a plant. In this sense, the coherence of the techno-economic analysis offered by the simulation programs makes a significant positive contribution to the proliferation of solar power plants which are respectful of the environment.

The purpose of this study is to determine the differences between production data and financial data after the implementation of the amortization process (reimbursement rate) calculated in the feasibility phase of solar power plants. In this context, this thesis aims to test the consistency of the feasibility studies organized by the supplier companies in charge of producing the feasibility report. To this end, the archival data obtained from the Beştepe Energy company and the feasibility reports submitted by the supplier companies before the investment were examined. In this study, the simulation of a solar power plant of 1125 kWp / 1000 kW established in the province of Aksaray, in the district of Merkez in Gençosman was carried out with the help of the software PVSYST 7.1. The actual production values of the system after installation were taken into account and compared to the simulator data.

The results obtained show that the PVSYST simulation program produces values very close to the actual production values. It seems that the losses are caused firstly by high temperature and secondly by the choice of properties of solar panel used.

Keywords: Solar energy, Pvsyst program, photovoltaic system, feasibility, Beştepe Energy Company.

Ece Emma kızıma....

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen ve tecrübelerini benimle içtenlikle paylaşan tez danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Adem Yurtsever hocama teşekkürü borç bilirim.

Beştepe Enerji Tesisleri Mühendislik Müşavirlik Danışmanlık ve Ticaret Limited Şirketi'nin değerli yetkilileri Sn. Saim Kağıtçı ve Sn. İbrahim Bahadır Şenbabaoğlu'na şeffaflıkları ve yardımları için şükranlarımı sunarım.

Çalışmamın başından itibaren yanımda olan, bana manevi desteğini hiç esirgemeyen ve beni motive eden sevgili eşim Dr. Öğretim Üyesi Lamiha Öztürk'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
SEMBOLLER / KISALTMALAR LİSTESİ	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Problem.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı.....	1
1.3. Kapsam.....	2
1.4. Yöntem.....	2
2. ENERJİ KAYNAKLARI VE DÜNYA'DAKİ DURUM	3
2.1. Yenilenemez Enerji Kaynakları	4
2.1.1. Petrol.....	4
2.1.2. Doğalgaz.....	7
2.1.3. Kömür.....	9
2.1.4. Nükleer Enerji.....	10
2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	12
2.2.1. Hidrolik Enerjisi.....	12
2.2.2. Rüzgâr Enerjisi.....	12
2.1.3. Jeotermal Enerjisi.....	13
2.2.4. Biyokütle Enerjisi.....	14
2.2.5. Hidrojen Enerjisi.....	14
2.2.6. Dalga Enerjisi.....	15
2.3. Güneş Enerjisi.....	16
2.3.1. Güneş Enerjisi ve Tarihsel Gelişimi	17
2.3.2. Güneş Enerjisi: Temel Kavramlar ve Sistemler	20

2.3.3. Dünya’da Güneş Enerjisi Kullanımı.....	21
2.3.4. Türkiye’de Güneş Enerjisi Kullanımı.....	26
3. YASAL ÇERÇEVE.....	32
3.1. Mevzuat	32
3.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması	33
3.3. Uluslararası Sözleşmeler	34
4. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER	37
4.1. Fotovoltaik sistemlerin çalışma prensipleri	38
4.2. Fotovoltaik Modüller	40
4.2.1. Monokristal Güneş Hücreleri.....	41
4.2.2. Polikristal Güneş Hücreleri.....	41
4.2.3. İnce Film Güneş Hücreleri.....	42
4.2.4. Saydam Güneş Panelleri	42
4.2.5. Esnek Güneş Panelleri	42
4.2.6. Akülü Güneş Panelleri	42
4.2.7. İnvörtörler.....	43
4.2.8. Şarj Kontrol Cihazları	43
5.KAYNAK ÖZETLERİ.....	44
6.MATERYAL VE METOT	48
6.1. Çalışma Alanı	48
6.2. Beştepe Enerji Tesisleri Mühendislik Müşavirlik Danışmanlık ve Ticaret Limited Şirketin Güneş Enerjisi Santrali	49
6.3. Simülasyon Programları	50
6.3.1. HOMER.....	50
6.3.2. BLUESOL	51
6.3.3. SAM.....	51
6.3.4. PVGİS.....	52
6.3.5. PVSOL.....	52
6.3.6. PVSYST	52
7. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	54
7.1. Kurulu Sistem Gerçek Üretim Değerleri	54
7.2. PVSYST Simülasyon Sonucunda Elde Edilen Tahmini Üretim Değerleri	55
7.3. Oluşabilecek Kayıpların Analizi	58
7.3.1. Dış Ortamdan Kaynaklı Kayıplar	64

7.3.2. Dizi Kayıpları	65
7.3.3. İntertör, AC Kablolama ve Transformatör Kayıpları	66
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR.....	72
EK-1.....	85
ÖZGEÇMİŞ.....	86



TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Ükelere Göre Petrol Rezervi (2019) (Milyon Varil)	6
Tablo 2.2. Ükelere Göre Doğalgaz Rezervi (2019) (m ³)	8
Tablo 2.3. Dünya Genelinde Güneş Enerjisi Potansiyeli En Yüksek Bölgeler	22
Tablo 2.4. Dünya Geneli Üretim Kapasitesine Göre Güneş Enerji Santralleri.....	24
Tablo 4.1. Fotovoltaik Sistemlerin Çalışmasını Etkileyen Faktörler.....	38
Tablo 4.2. PV Hücrelerin Sınıflandırılması	40
Tablo 6.1. PV Panel Özellikleri	49
Tablo 7.1. Bilanço ve Genel Sonuçlar	57
Tablo 7.2. Dizi Kayıpları	58
Tablo 7.3. IAM Kayıp Faktörü	60
Tablo 7.4. Üretim Değerleri Kıyaslaması	68

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Nükleer Santrale Sahip Ülkeler (2019)	11
Şekil 6.1. Aksaray ili Işınım Haritası	48
Şekil 7.1. Kurulu olan GES'te Gerçekleşen Gerçek Üretim Değerleri	55
Şekil 7.2. Normalize Üretim.....	56
Şekil 7.3. Performans Oranı	57
Şekil 7.4. AC Kablolama ve Transformatör Kayıpları.....	60
Şekil 7.5. Güneş Işını Geliş Açıları	61
Şekil 7.6. 21 Haziran Gölgeleme Durumları	63
Şekil 7.7. 21 Aralık Gölgeleme Durumları.....	63
Şekil 7.8. Üretim - Kayıp Analizi.....	64
Şekil 7.9. Üretim - Kayıp Analizi.....	65
Şekil 7.10. Üretim - Kayıp Analizi.....	67

SEMBOLLER / KISALTMALAR LİSTESİ

PVsyst	Fotovoltaik Sistem
PV	Fotovoltaik
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System
TPOA	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
LPG	Likit Petrol Gazı
IEA	International Energy Agency
OPEC	Organization of Petroleum Exporting Countries
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
HES	Hidroelektrik Santrali
GES	Güneş Enerji Santrali
RES	Rüzgar Enerji Santrali
AB	Avrupa Birliği
H ₂	Hidrojen
W	Watt
m ²	Metrekare
M.Ö.	Milattan Önce
MW	Megavat
GW	Gigawatt
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
IRENA	International Renewable Energy Agency
kWh	Kilowattsaat
MWh	Megavattsaat
m ³	Metreküp
ODTÜ	Ortadoğu Teknik Üniversitesi
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırmalar Kurumu
MBEAE	Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırmalar Enstitüsü

TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TL	Türk Lirası
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YEK	Yenilenebilir Enerji Kanunu
YEKDEM	Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması
LÜY	Lisanssız Elektrik Üretimi Yönetmeliği
EKB	Enerji Kimlik Belgesi
TSO	Ticaret ve Sanayi Odası
MPPT	Maximum Power Point Tracker
DC	Doğru Akım
AC	Alternatif Akım
KD	Kuzeydoğu
GB	Güneybatı
HOMER	Hybrid Optimization Model for Electric Renewables
SAM	Solar Advisor Model
USA	United State of America
kWp	kilowattpeak
K	Kelvin
LID	Light induced Degradation
OG	Orta Gerilim
AG	Alçak Gerilim

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1. Problem

Güneş enerji santrallerin kurumu aşamasında fotovoltaik güneş panelleri, maliyetin önemli bir kısmını kapsamaktadır (Gezer, 2019). Bu anlamda fizibilite çalışmaları fotovoltaik (PV) güneş panellerinin oluşturacağı yatırım maliyeti üzerinde durmaktadır. Fizibilite çalışmalarında kullanılan simülasyon programının kurulum sonrası gerçekleşen elektrik üretim değerleri ile bağdaşmaması önemli sorun olmaktadır. Ayrıca üretim değerlerinin yanı sıra maliyet analizi ve geri ödeme hızı da yatırımcılar tarafından dikkate alınmaktadır. Kar/maliyet analizlerinin ise olumsuz sonuçlanması, söz konusu yatırım projesinin ekonomik anlamda uygulanabilirliğini göstermektedir. Bu anlamda, simülasyon programların sunmuş olduğu teknik/ekonomik analizlerin tutarlılığı çevre dostu olan güneş enerjisi santrallerinin çoğalmasına önemli olumlu bir katkı sağlamaktadır.

Güneş enerjisi santrallerin kurulum öncesi simülasyon programları kapsamında gerçekleştirilen teknik/ekonomik analizlerin Beştepe Enerji şirketinin kurulum sonrası santralinde gerçekleşen reel elektrik üretim değerleri ile mali sonuçların kıyaslanması bu çalışmanın problemini oluşturulmaktadır.

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, Güneş Enerji Santrallerin fizibilite aşamasında hazırlanan simülasyon çalışması ile kurulum sonrası gerçekleşen üretim değerlerinin karşılaştırılması ve bu bağlamda meydana gelen üretim farklarının hangi kayıplardan dolayı ortaya çıktığını saptamaktır ve meydana gelen kayıpların analizini yapmaktır. Bu amaca yönelik, Beştepe Enerji Tesisleri Mühendislik Müşavirlik Danışmanlık ve Ticaret Limited Şirketi'den elde edilen arşiv verileri ve yatırım öncesi hazırlanan simülasyon raporları incelenecektir.

1.3. Kapsam

Bu çalışmanın ilk aşamasında Ankara illinde merkezi bulunan ve İç Anadolu bölgesinde (Aksaray ili Merkez ilçesi Gençosman mevki) yatırım gerçekleştiren Beştepe Enerji'nin tedarikçi firmaların kendilerine sunmuş olduğu fizibilite raporları incelenecektir. Fizibilite raporlarında üretim/amortisman ve bölge ışınlım verileri dikkate alınacaktır. İkinci aşamasında ise üretici firmamızın kurulum sonrası fizibilite çalışmasında dikkate alınan veriler kıyaslanacaktır. Ayrıca reel amortisman süreleri ile öngörülen amortisman süreleri karşılaştırılacaktır. Son olarak ise çalışmaya dahil olmayı kabul eden katılımcı firma için bir performans analizi gerçekleştirilecektir. Güneş enerji santrallerinin fizibilite aşamasında hesaplanan amortisman sürecinin kurulum sonrası gerçekleşen üretim verilerinin ve amortismanlarının karşılaştırması amacı ile hazırlanan bu tez, fizibilite raporların gerçekleşen üretim değerlerine ve amortisman sürelerine örtüşmesi ve böylece hata payının minimum seviyeye ulaşması için hangi verilerin üzerinde durulması gerekliliğini, yatırım ve üretim aşamasında kullanılan malzemelerin incelenmesini fizibilite çalışması esnasında kullanılan programların değerlendirilmesi ve gerçekçi bir fizibilite raporun oluşması için eksikliklerin ve/veya önerilerin sunulmasını kapsamaktadır.

1.4. Yöntem

Güneş enerji santrallerinin fizibilite aşamasında hesaplanan amortisman sürecinin kurulum sonrası gerçekleşen üretim verilerin ve amortismanların karşılaştırılmasını gerçekleştirmek için PVSYST programı kullanılacaktır. Bu bağlamda, PVSYST programı ile performans analiz tekniği ile üretim değerlerinin şebekelerin satın alacağı değerlerle hesaplanıp sistemin amortisman süresi tespit edilecektir. Kilovat saat değerine dikkate alarak kurulum sonrası sistemin reel üretim değerleri alınarak simülasyon verileri ile kıyaslanacaktır. PVSYST programının geniş veri tabanına sahip olması, PVGIS'nin iklim veri tabanını kullanması, özellikle fotovoltaik sistemlerin analizlerini oluşabilecek kayıpları dikkate alarak hesaplaması ve akademik çalışmalarda güneş enerjisi santrallerinin performans analizlerinde yaygın olarak kullanılması bu yazılım modeline yoğunlaşmamıza neden olmuştur.

BÖLÜM 2

ENERJİ KAYNAKLARI VE DÜNYA'DAKİ DURUM

Enerji üretimlerinin incelenmesi, sınırlı enerji kaynaklarından optimum düzeyde faydalanılabilmesini sağlaması açısından önem arz etmektedir. Aynı şekilde bu kapsamdaki incelemeler ile toplam enerji maliyetlerinin azaltılabilmesine yönelik tedbirler belirlenebilmekte ve uygulanabilmektedir (Heidenreich vd., 2017). Enerji kaynakları, enerji üretiminde kullanılmalarına ve dönüştürülmelerine göre sınıflandırılabilir. Enerji kaynaklarının enerji üretiminde dönüştürülmesi, “Birincil Enerji Kaynakları” ve “İkincil Enerji Kaynakları” kapsamında değerlendirilmektedir. Birincil Enerji Kaynakları, doğada mevcut bulunan ve dönüştürülmeden kullanılarak enerji üretilen enerji kaynaklarını ifade etmektedir. İkincil Enerji Kaynakları ise, Birincil Enerji Kaynakları'nın işlenmesi ve dönüştürülmesi ile elde edilen kaynakları içermektedir. Bu bağlamda İkincil Enerji Kaynakları; Birincil Enerji Kaynakları'nın yer, zaman, verimlilik ya da etkilerinin artırılması ile enerji kullanım yelpazesinin genişletilmesini ifade etmektedir (Öztürk vd. 2007).

Enerji kaynakları, enerji üretiminde kullanılmalarına göre de “Yenilenemeyen Enerji Kaynakları” ve “Yenilenebilir Enerji Kaynakları” olarak sınıflandırılabilir. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları; tüketilmeleri ile rezervleri azalan, kendilerini yenileyemeyen ve stok değişken enerji kaynakları olarak ifade edilmektedir. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları da kendi içerisinde, “Fosil Kaynaklı Enerji Kaynakları” ve “Çekirdek Kaynaklı Enerji Kaynakları” olarak sınıflandırılabilir. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ise; işlenmeye ihtiyaç duyulmadan temin edilebilen, kendilerini yenileyebilen, doğada kullanılmaya hazır halde bulunan ve akış değişken enerji kaynakları olarak değerlendirilmektedir (Hepbaşlı vd. 2001).

Enerji kaynakları, sektörel kullanımlarına göre de “Ticari Enerji Kaynakları” ve “Ticari Olmayan Enerji Kaynakları” bağlamında değerlendirilebilmektedir. Ticari Enerji Kaynakları, ulusal ve uluslararası piyasası bulunan ve modern endüstriyel ekonomilerin ihtiyaçlarını karşılayan petrol, doğalgaz, nükleer enerji ve su gücü gibi enerji formlarını ifade etmektedir. Ticari Olmayan Enerji Kaynakları ise; ekonomik yapı içerisinde konumlandırılmış olan ve modern endüstriyel uygulamalar kullanılmayan geleneksel sektörler tarafından tercih edilen odun, hayvan atıkları ve tarımsal atıklar gibi enerji formlarını kapsamaktadır (Bilginöglü, 1991).

2.1. Yenilenemez Enerji Kaynakları

Yenilenemez enerji kaynakları; kıt olmaları, dünyanın her yerinde eşit oranda bulunmamaları ve dönüştürülmeleri sürecinde çevre kirliliğine neden olmaları gibi üç temel karakteristik özellik göstermektedir. Bununla birlikte yenilenemez enerji kaynakları; tüketildikçe rezervleri azalan, kendilerini yenileyemeyen ve stok değişken enerji kaynaklarıdır.

2.1.1. Petrol

Günlük hayatımızın vazgeçilmez enerji kaynaklarından biri olan petrol, yerküre içerisindeki organik materyallerin başkalaşımı ile oluşmaktadır. Bu temelde gözenekli kayalar içerisinde depolanmış olan sıvı durumdaki hidrokarbonlar “ham petrol” olarak adlandırılmaktadır. Sıvı durumdaki bu hidrokarbonlar, henüz hammadde olduklarından ve işlenmediklerinden, elde edilen petrol “ham” olarak nitelendirilmektedir. Ham petrol, rafinerilerde bileşenlerine ayrıştırılmakta ya da damıtılmakta ve ara madde ve akaryakıt ürünleri elde edilmektedir (TPAO, 2020).

Petrol endüstriyel bir ürün olarak ilk kez, aydınlatma amacıyla gazyağı üretilmesi ile kullanılmaya başlanmıştır. 19. yüzyılın ikinci yarısı itibariyle Kanadalı bilim adamı Abraham Gesner, kendiliğinden yeryüzüne sızmaya başlayan petrolden gazyağı üretmiş ve bu şekilde aydınlatma ihtiyacının çok daha ucuz ve sürekli bir şekilde karşılanmasını sağlamıştır. Petrol endüstrisinin doğuşunun da temeli olarak kabul edilen ve 1880 – 1885 dönemi, petrol endüstrisi tarihinde “Aydınlatma Amaçlı Gazyağı Üretimi Dönemi” olarak nitelendirilmektedir. Bu gelişme doğrultusunda 1900 yılına dek gerek endüstriyel üretimde ve gerekse de evlerde bitkisel yağların yerini tamamen gazyağı almaya başlanmıştır (Murray, 1993).

1900 yılından itibaren de makineleşmenin artması ve otomobillerin yaygınlaşması doğrultusunda, yine bir petrol türevi olan benzin üretimi gündeme gelmiştir. 1900'lü yıllar aynı zamanda, petrolün ne denli önemli olduğunun anlaşıldığı ve bu doğrultuda petrol bölgelerinin paylaşılması mücadelesinin başladığı dönem olarak kabul edilmektedir (Kocaoğlu, 1996).

Petrolün endüstriyel olarak işlenerek farklı alanlarda kullanılabileceğinin anlaşılması ile sadece yeryüzünden sızan petrolün kullanılmasıyla yetinilmemiş ve petrol arama ve rafineri işletme çalışmaları bilinçli olarak yürütülmeye başlanmıştır. Bu doğrultuda da dünyanın birçok bölgesinde, petrol aramaya ve rafinerilerin imtiyazını elde etmeye yönelik çalışmalar artırılmıştır (Uluğbay, 2003).

Petrol arama çalışmaları ve petrol türevlerinin kullanılmasına yönelik oranların artması, sera gazı salınım oranlarının da artmasına neden olmaktadır. Bu temelde petrolün sera gazı salınımlarına etkisine yönelik gelecek öngörüler, dünya genelindeki petrol rezerv ömrü göz önünde bulundurularak yapılmaktadır. Petrol rezerv ömrü; mevcut teknolojilerle ve ekonomik sürece dâhil edilebilmeye yönelik olarak üretilebilecek petrol rezervlerinin (R), mevcut petrol üretim oranına (Ü) bölünmesiyle elde edilen değeri (R/Ü) ifade etmektedir. Bu bağlamda petrol rezerv ömrü; yeni rezerv keşiflerine yönelik çalışmalar yapılması, bu çalışmaları desteklemeye yönelik yeni üretim teknolojilerinin geliştirilmesi ve bu sürecin de enerji talebini direkt olarak etkilemesi dolayısıyla, sera gazı salınımlarını direkt ya da dolaylı olarak etkilemektedir (Cooper, 2008).

Petrol rezerv ömrü aynı zamanda, enerji fiyatlarındaki artışı etkilemekte ve daha ekonomik petrol rezervlerine ulaşılabilmesine yönelik yatırımların ve faaliyetlerin artmasını sağlamaktadır. Bu temelde petrol, “tükenebilir ya da yenilenemez enerji kaynağı” olarak değerlendirilmektedir ve konvansiyonel enerji kaynakları içerisinde değerlendirilmesi bağlamında kullanım süresinin sınırlı olduğu belirtilmektedir (Cooper, 2003).

2019 yılı itibariyle yapılan öngörüler doğrultusunda, dünya genelindeki petrol rezervlerinin ömrü ortalama 50 yıl olarak ifade edilmektedir. 2019 yılı itibariyle de; elde edilen ham petrolün rafinerilerde arıtılması ve işlenmesi ile ortalama %43 benzin, %18 fueloil ve motorin, %11 LPG (sıvılaştırılmış petrol gazı ve propan ya da propan – bütan karışımı), %9 jet yakıtı, %5 asfalt ve %14 diğer ürünler kapsamında petrol

türevleri üretilmiştir (TPAO, 2020).

“Ülkelere Göre Petrol Rezervi (2019) (Milyon Varil)” Tablo 2.1.’de yer almaktadır.

Tablo 2.1. Ülkelere Göre Petrol Rezervi (2019) (Milyon Varil) – 1 (Ülkelere Göre Petrol Rezervi, 2020)

SIRA	ÜLKE	2015 REZERVİ	2019 REZERVİ	PAY (%)
1	Venezuela	298.350	302.250	17,50
2	Suudi Arabistan	265.789	266.208	15,42
3	Kanada	172.481	170.540	9,88
4	İran	157.800	157.200	9,10
5	Irak	144.211	148.766	8,62
6	Kuveyt	104.000	101.500	5,88
7	Birleşik Arap Emirlikleri	97.800	97.800	5,66
8	Rusya	80.000	80.000	4,63
9	Libya	48.363	48.363	2,80
10	Nijerya	37.070	37.453	2,17
11	ABD	39.933	35.213	2,04
12	Kazakistan	30.000	30.000	1,74
13	Çin Halk Cumhuriyeti	24.649	25.627	1,48
14	Katar	25.244	25.244	1,46
15	Brezilya	15.314	12.634	0,73
16	Cezayir	12.200	12.200	0,71
17	Angola	9.011	9.523	0,55
18	Ekvador	8.832	8.273	0,48
19	Azerbaycan	7.000	7.000	0,41
20	Meksika	9.812	6.630	0,38
21	Norveç	5.497	6.376	0,37
22	Umman	5.151	5.373	0,31
23	Sudan	5.000	5.000	0,29
24	Hindistan	5.643	4.495	0,26
25	Mısır	4.400	4.400	0,25
43	Diğer Ülkeler	17	-	5,33
	Dünya Toplamı	1.659.532	1.726.685	100

Dünya geneli verilerine göre; 2018 yılı itibariyle söz konusu olan tüketime karşın, 2019 yılı itibariyle ulaşılan petrol rezervlerinin oranı bir önceki yıla göre artış göstermiştir. “Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency – IEA)” verilerine göre; 2015 yılı sonu itibariyle toplam petrol rezervi 1 trilyon 659 milyar varil ya da 263,8 milyar ton seviyesinde iken, 2019 yılı itibariyle toplam üretilebilir petrol rezervi 1 trilyon 726 milyar varil olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte 2012 yılına dek dünyanın en fazla petrol rezervine sahip ülkesi Suudi Arabistan iken, 2012 yılı itibariyle Venezuela’da keşfedilen yeni petrol kaynakları ile dünyanın petrol açısından en zengin kaynaklara sahip ülkesi Venezuela olmuştur (IEA, 2020).

2.1.2. Doğalgaz

Doğalgaz; içerisinde yüksek oranda Metan (CH_4) ve daha düşük oranlarda da Etan (C_2H_6), Bütan (C_4H_{10}) ve Propan (C_3H_8) gibi elementler barındıran ve kokusuz ve renksiz olması bakımından havada daha hafif ve uçucu olma niteliği taşıyan yenilenemez bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Doğalgaz zehirli bir gaz olmamasına karşın, doğalgaz kaçağı durumunda havadaki gaz oranının artması zehirlenmeye neden olabilmektedir. Bununla birlikte doğalgazın hava içerisinde belirli bir yüzdeye ulaşması ve yanıcı bir kaynakla temas olması durumunda patlayıcı özelliği ortaya çıkmaktadır (Anderson ve Broderick, 2017).

Doğalgaz; organik maddelerin, yeryüzünün alt tabakalarında milyonlarca yıl süren doğal dönüşüm doğrultusunda basınç ve ısı etkisiyle değişikliğe uğraması ile mevcut niteliğine kavuşan bir enerji çeşididir. Bununla birlikte doğalgaz; kaynağından ilk çıkarıldığı gibi kullanılabilirdiğinden ve petrol gibi işlenerek kullanılması ihtiyacı bulunmadığından, petrol gibi sera gazı salınımları üzerinde olumsuz etkileri bulunmayan bir fosil yakıt olarak değerlendirilmektedir (Safaei vd.2015).

Doğalgaz; petrole benzer bir fosil enerji kaynağı olarak değerlendirilmesine karşın, kül ve cüruf bırakmadan yanma özelliğine sahip olması ve yanma sonucunda havanın kirlenmesine neden olan Kükürt dioksit (SO_2) ve CO_2 gazlarının ortaya çıkmasına neden olmadığı için çevre için en sağlıklı enerji kaynağı olarak nitelendirilmektedir. Bununla birlikte doğalgaz haricindeki diğer tüm katı ve sıvı yakıtlar insan ve çevre sağlığı üzerinde farklı oranlarda olumsuz etkiler bırakmaktayken, doğalgazın atmosfer üzerinde zararlı hiçbir etkisinin bulunmadığı belirtilmektedir (Omara vd. 2016).

Söz konusu edilen bu özelliklerine karşın doğalgaz; büyük oranda dış ülkelerden ithal edilmesi gerekliliği ve elde edilmesinde kaynak çeşitliliği sağlanamaması gibi nedenlerden dolayı, enerji arz güvenliği bağlamında risk içeren bir enerji kaynağı olarak nitelendirilmektedir. Bununla birlikte kullanıldığı ülkelerde sanayi işletmelerinde ve konutlarda yüksek oranda tercih edilmesi, yüksek enerji kullanım verimliliğine sahip olması, depolama maliyetinin olmaması, işletme ve bakım maliyetlerinin çok düşük düzeyde gerçekleşmesi ve alternatiflerine göre çok daha düşük fiyatlarla arz edilmesi dolayısıyla, dünya genelinde doğalgaza yönelik talep artmaktadır (Lamb vd., 2015).

Doğalgaz, yanmaya bağlı olarak ortaya çıkan ve hava kirliliğine neden olan Kükürt (S^0) ve SO_2 içeren gazların dışarıya yayılmasına neden olmadığından çevre dostu bir enerji kaynağı olarak görülmektedir. Bu özelliği dolayısıyla da doğalgaz, günümüz itibariyle dünya genelinde vazgeçilmez addedilmektedir. Bu nedenle de dünya genelinde nüfusun artması ve ekonomilerin hızla büyümesi doğrultusunda ülkelerin refah seviyelerinin yükselmesiyle birlikte enerji tüketim miktarları da arttığından, özellikle de sanayileşmiş ülkelerde petrol ve kömür gibi çevreyi kirleten ve sera etkisi özelliği yüksek olan yakıtlara alternatif olarak doğalgaz önem kazanmaya başlamıştır (Jackson vd., 2014).

“Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü (Organization of Petroleum Exporting Countries – OPEC)” tarafından yapılan belirlemelere göre “Ülkelere Göre Doğalgaz Rezervi (2019) (Milyar m^3)” Tablo 2.2.’de yer almaktadır.

Tablo 2.2. Ülkelere Göre Doğalgaz Rezervi (2019) (Milyar m^3) (OPEC, 2020)

SIRA	ÜLKE	2015 REZERVİ	2019 REZERVİ	PAY (%)
1	Rusya	49.541	49.541	24,53
2	İran	34.020	33.500	16,59
3	Katar	24.531	24.299	12,03
4	ABD	11.011	11.011	5,45
5	Türkmenistan	9.904	9.904	4,90
6	Suudi Arabistan	8.489	8.588	4,25
7	Birleşik Arap Emirlikleri	6.091	6.091	3,02
8	Venezuela	5.617	5.702	2,82
9	Nijerya	5.324	5.284	2,62
10	Cezayir	4.504	4.504	2,23
11	Avusturalya	3.703	3.703	1,83
12	Çin Halk Cumhuriyeti	3.275	3.439	1,70
13	Irak	3.158	3.158	1,56
14	Endonezya	2.839	2.775	1,37
15	Malezya	2.690	2.690	1,33
16	Norveç	2.547	2.445	1,21
17	Mısır	2.168	2.168	1,07
18	Kanada	2.028	2.042	1,01
19	Kazakistan	1.918	1.918	0,95
20	Kuveyt	1.784	1.784	0,88
21	Özbekistan	1.608	1.608	0,80
22	Libya	1.505	1.505	0,75
23	Hindistan	1.427	1.484	0,73
24	Azerbaycan	1.291	1.291	0,64
25	Hollanda	1.044	981	0,49
38	TÜRKİYE	19,4	19,0	0,01
39	Diğer Ülkeler	5.479	5.465	2,71
	DÜNYA TOPLAMI	202.611	201.967	100

OPEC verilerine göre; 2019 yılında doğalgaz rezervi oranı, 2015 yılına göre binde 3

oranında gerilemiştir. Zira dünya genelinde kanıtlanmış doğalgaz rezervine yönelik yeni keşiflere karşın, doğalgaz tüketim oranları keşif oranlarından çok daha yüksek düzeyde gerçekleşmektedir. Bu bağlamda 2015 yılı itibariyle 202,6 trilyon m³ olan toplam doğalgaz rezerv oranı, söz konusu edilen gerilemeyle birlikte 2019 yılı itibariyle 201,9 trilyon m³ düzeyinde gerçekleşmiş ve gerileme göstermiştir. Dünya genelindeki toplam enerji tüketim oranları incelendiğinde de görülmektedir ki, enerji ihtiyacının dörtte bir oranında karşılandığı enerji kaynağı doğalgazdır (OPEC, 2020).

2.1.3. Kömür

Kömür, dünya genelinde geniş rezervlere ve yaygın tüketim alanına sahip olması dolayısıyla hem insan yaşamında hem de enerji kaynakları içerisinde oldukça önemli yere sahip bir fosil yakıt olarak değerlendirilmektedir. Yanabilen sedimanter ya da çökelme sonucu oluşan organik bir kaya olma niteliğine sahip olan kömür; diğer kaya tabakaları arasında bir damar olarak ve milyonlarca yıl ısı, basınç ve mikrobiyolojik etkiler sonucunda oluşmaktadır (Acar, 2007).

Nebatların bataklık alanlarda birikmesi sonucunda ortaya çıkan kömür tabakaları, çeşitli çökeltilerin birikmesi ve yeryüzü hareketleri ile derinliklere gömülebilmektedir. Bu süreç artan ısı ve basınç doğrultusunda fiziksel ve kimyasal değişikliğe uğramakta ve kömürün oluşmasını sağlamaktadır. Söz konusu edilen bu süreç, 500 milyon ile 15 milyon yıl arası bir dönemi kapsamaktadır. Kömür; oluşum süresinde farklı organik olgunluklara sahip olması bağlamında linyit, alt bitümlü kömür, bitümlü kömür ve antrasit olarak sınıflandırılabilir. En yüksek karbon bileşimi %90 ile antrasit ve en düşük karbon bileşimi %50 ile linyit kömürü için söz konusu edilmektedir (Mitchell, 2009).

2018 verilerine göre, Dünya genelinde kömür rezervlerinin %31,3 oranındaki 323,6 milyar tonu Avrupa – Asya ülkelerinde, %41 oranındaki 424,4 milyar tonu Asya – Pasifik ülkelerinde, %25 oranındaki 258,7 milyar tonu Kuzey Amerika ülkelerinde, %1,4 oranındaki 14,4 milyar tonu Afrika – Doğu Akdeniz ülkelerinde ve %1,4 oranındaki 14 milyar tonu Orta ve Güney Amerika ülkelerinde bulunmaktadır (Statista Research Department, 2020).

Kömürden elektrik üretimi sürecinde ise, termik santrallerden yararlanılmaktadır. Termik santraller, ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren yapılardır ve santrallerde

suyun ısıtılması sonucunda ortaya buhar çıkmaktadır. Buhar gücü türbinleri döndürmekte ve bu harekette elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Bununla birlikte termik santraller; üretim esnasında Azot Oksit (NO), SO₂ ile birçok küçük yapılı partikülün açığa çıkmasına neden olmaktadır. Bu maddeler, zararlı olmaları dolayısıyla salındıkları çevrede insan sağlığı için tehdit oluşturmakta ve özellikle de sinir sistemi üzerinde olumsuz etkilerde bulunmaktadır (Uğur vd. 2004).

Termik santrallerin neden olduğu gazlar; sadece insanları değil, aynı zamanda hayvanları, çevrede bulunan tarlalarda yer alan tarım ürünlerini, su kaynaklarını ve ormanları da olumsuz etkilemektedir (Karatepe – Yavuz vd., 1998). Bununla birlikte termik santrallerin bacalarından yayılan zararlı gazlar asit yağmurlarının oluşmasına neden olabilmekte ve asit yağmurları ile de çevre bölgelerdeki toprakların yapısı bozulmakta ve verimliliği düşmektedir (Kantarci, 2003). Termik santrallerde sıcak su ile soğuk su değişimi yapılarak; yeraltı sularından ya da akarsulardan alınan soğuk su, sıcak su olarak doğaya aktarılmaktadır. Bu durum çevredeki canlıların zarar görmesine neden olmakta ve yeraltı kaynaklarının ya da akarsuların kirlenmesi bağlamında da bitkileri tahrip etmektedir (Tolunay, 2003).

2.1.4. Nükleer Enerji

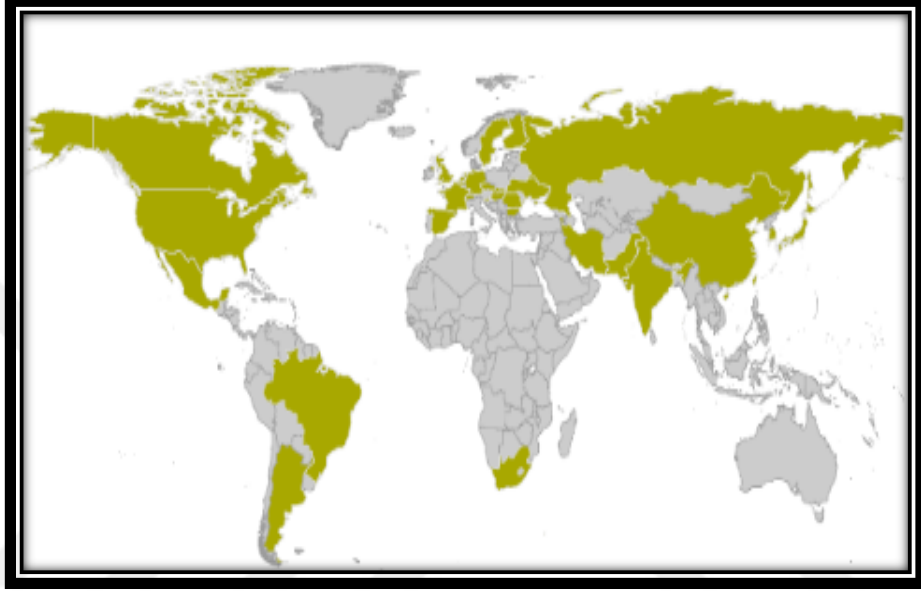
Nükleer enerji, atomların parçalanması ya da birleştirilmesi ile oluşan tepkime sonucunda ortaya çıkan ürün ya da enerji olarak tanımlanabilmektedir. Ağır atom çekirdeklerinin nötron bombardıman ile parçalanması olayı “filyon”, hafif atom çekirdeklerinin birleştirilmesi olayı “füzyon” olarak ve filyon ve füzyon tepkimeleri sonucunda ortaya çıkan enerji ise, “çekirdek enerjisi” ya da “nükleer enerji” olarak adlandırılmaktadır (Külebi, 2007).

Her madde atomlardan oluşmaktadır. Her atom da, etrafında bir elektronun bulutunun kapladığı çekirdek içermektedir. Çekirdek, her zaman için (+) yüklü protonlar ile yüksüz nötronlar anlamında iki ayrı türden temel tanecik bulundurmaktadır. Nükleer reaktörün yakıtı olan Uranyum – 235 (U – 235) atomlarının çekirdeğinde, 92 proton ve 143 nötron bulunmaktadır. Çekirdekte bulunan bu 235 taneciğin bir arada tutulmasını sağlayan bağ enerjisinin bir bölümünün açığa çıkması ile de nükleer enerji elde edilmektedir (Özemre vd. , 2000).

Nükleer enerji; sera etkisine ve fosil yakıtların ve özellikle de kömürün yakılması ile

açığa çıkan sera gazı salınımına neden olmamaktadır. Bu bağlamda da nükleer enerji, küresel ısınmaya ve iklim değişikliğine neden olan CO₂ emisyonunun azaltılabilmesi açısından önemli bir alternatif enerji olarak değerlendirilmektedir (TAEK, 2019).

“Nükleer Santrale Sahip Ülkeler (2019)” ile ilgili belirlemeler, Şekil 2.1’de yer almaktadır.



Şekil 2.1. Nükleer Santrale Sahip Ülkeler (2019) (Nükleer Enerji, 2020)

“Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (UAEA – International Atomic Energy Agency – IAEA)” 2019 verilerine göre; dünyada 31 ülkede 450 nükleer reaktör işletilmektedir. 2018 yılı itibariyle de, dünya genelinde elektrik üretiminin yaklaşık %11’i 2477 TWh ile nükleer santrallerden elde edilmiştir. 18 ülkede de, 59 nükleer reaktör inşaatı devam ettirilmektedir. Amerika Birleşik Devletleri’nde (ABD), 99 nükleer reaktör faaliyetlerini devam ettirmektedir. 2019 yılı itibariyle ABD’nin elektrik üretiminin %20’si, bu nükleer santrallerden karşılanmıştır. ABD’de, 2 nükleer reaktör inşaatı da devam ettirilmektedir. Rusya’da ise, 37 nükleer reaktör faaliyette bulunmaktadır. Rusya’nın elektrik ihtiyacının %17’si bu nükleer santrallerden karşılanmıştır ve 6 nükleer reaktörün inşaatına da devam edilmektedir (IAEA, 2020; TAEK, 2019). Ülkemizde Rusya Federasyonu Hükümeti ile Akkuyu Nükleer Santrali tesisine ilişkin anlaşması imzalanmış ve inşaatı devam eden nükleer santral bulunmaktadır. Akkuyu Nükleer Santrali inşası tamamlandıktan sonra 4800 MW toplam gücüne sahip bir santral devreye girecektir ve bahsi geçen nükleer santralin ilk ünitesinin 2023 yılında

işletmeye alınması planlanmaktadır.

2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları; tüketilmelerine karşın rezervleri azalmayan, kendilerini yenileyebilen ve akım değişken enerji kaynakları olarak tanımlanabilmektedir. Söz konusu edilen bu nitelikleri doğrultusunda yenilenebilir enerji kaynakları, dünyanın geleceği açısından oldukça önemli addedilmektedir.

2.2.1. Hidrolik Enerjisi

Güneş; hidrolik enerjinin ana kaynağıdır ve hidrolik enerji, güneşin hidrolojik çevriminin bir ögesi olarak ortaya çıkan su kütlesi doğrultusunda kullanılabilir. Bu nedenle de hidroelektrik santralleri (HES), su kaynakları üzerinde kurulmak zorundadırlar. Hareket halindeki suyun sahip olduğu enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren HES, kanal ya da borular içerisine aktarılan suyun türbinler aracılığıyla jeneratörlere aktarılması prensibi ile çalışmaktadır (Turhan, Özmen – Çağatay ve Keçeci, 2015).

Günümüzde vazgeçilmez bir enerji kaynağı olarak nitelendirilen hidrolik enerjisinden HES kapsamında ilk kez, ABD’de Niagara Şelalesi üzerine kurulan “Niagara Enerji Santrali” ile yararlanılmaya başlanmıştır. Bununla birlikte bugün itibarıyla sadece HES kapsamında değil, küçük hidroelektrik santralleri aracılığıyla da yenilenebilir enerji üretilebilmektedir. 1 megavat’tan daha düşük kurulu güce sahip olan hidroelektrik santralleri “küçük hidroelektrik santrali (KHES)” olarak adlandırılmaktadır (Kurdoğlu ve Özalp, 2010).

2.2.2. Rüzgâr Enerjisi

Rüzgâr; karaların, denizlerin ve atmosferin farklı özgül ısılarına sahip olmaları, sıcaklık dağılımının coğrafik ve çevresel koşullara bağlı olarak değişiklik göstermesi ve buna bağlı olarak da basınç farklılıkları ortaya çıkması ile oluşmaktadır. Bu bağlamda, havanın yüksek basınç alanlarından alçak basınç alanlarına hareket etmesine “rüzgâr” denilmektedir (Özkan ve Karagöz, 2015).

Rüzgâr enerjisi; hareket halindeki havanın sahip olduğu kinetik enerjinin, çeşitli sistemler aracılığıyla mekanik enerjiye dönüştürülmesi ile elde edilmektedir. Diğer tüm yenilenebilir enerji kaynakları gibi çevreyi kirletmeyen temiz enerji kaynağı olma

özelliğine sahip bulunan rüzgâr enerjisinden, aynı zamanda ekonomik olması dolayısıyla da sıklıkla yararlanılmaktadır. Bununla birlikte diğer enerjilere kolaylıkla çevrilebilmesi de, rüzgâr enerjisinin tercih edilmesinin önemli nedenleri arasında değerlendirilmektedir (Terciyanlı vd., 2014).

Rüzgâr enerjisi, temiz enerji teknolojileri ile elde edilmesi dolayısıyla çevreye olumlu etkilerde bulunmaktadır. Buna karşın rüzgâr enerjisi, süreklilik arz etmemesi dolayısıyla her zaman elde edilemeyebilmektedir. Rüzgâr enerjisinden yararlanılabilmesi için inşa edilen rüzgâr türbinleri ya da birden fazla rüzgâr türbininin bir arada faaliyette bulunduğu rüzgâr enerji sistemleri (RES); dünyanın kendi eksenini etrafında dönmesi prensibi, yüzey sürtünmelerinin etkisi, rüzgârın yönünü değiştirebilecek nitelikteki atmosfer olayları, yerel ısı yayılım değerleri ve arazinin topografik yapısı gibi özellikler göz önünde bulundurularak faaliyette bulunmaktadır. Bu nedenle de rüzgâr enerjisinden; mevcut rüzgârın zamana ve bölgeye endeksli özellikleri, dünyanın homojen olmayan ısı farklılıkları ve yerel coğrafi farklılıklar gözetilerek yararlanılabilmektedir (Kaplan, 2015).

2.2.3. Jeotermal Enerji

03.06.2007 Tarih ve 5686 Sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Mineralli Sular Kanunu Madde – 3 kapsamında “jeotermal kaynak”; “jeolojik oluşuma bağlı olarak yer kabuğu ısısının etkisiyle sıcaklığı devamlı olarak bölgesel atmosferik yıllık ortalama sıcaklığın üzerinde olan, etrafındaki sulara nazaran daha fazla miktarda erimiş madde ve gaz içerebilen, doğal olarak oluşan ya da oluşturulan su, buhar ve gazlar ile yeraltına insan düzenlemeleri aracılığıyla gönderilerek yer kabuğu veya kızgın kuru kayaların ısısı ile ısıtılarak su, buhar ve gazların olduğu yerler” olarak ifade edilmektedir.

03.06.2007 Tarih ve 5686 Sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Mineralli Sular Kanunu Madde – 3 kapsamında söz konusu edilen bu belirlemeler doğrultusunda “jeotermal enerji” ifadesi; yer kabuğunun derinliklerinde sıcak kaya ya da akışkanların ısısının, zayıf katmanları geçmek doğrultusunda yeryüzüne ulaşması ile elde edilen enerjiye yönelik kullanılmaktadır.

Jeotermal enerji, jeotermal kaynaklardan direkt ya da dolaylı olarak elde edilmektedir. Bu bağlamda yağmur, kar ve deniz suları ve magmatik suların yeraltında oluşturdukları jeotermal rezervuarlar, jeotermal akışkanların yapay yöntemlerle

kullanılmasının ardından tamamen ya da kısmen üretildikleri jeolojik formasyonlara geri gönderilmesi olarak ifade edilen “reenjeksiyon” yöntemiyle kullanılabilir hale getirilmektedir. Bu süreçte jeotermal rezervuarların “besleme – üretim” değerlerine müdahale edilmediği takdirde, jeotermal enerji yenilenebilir olma özelliğini devam ettirmektedir ve kısa süreli atmosfer olaylarından etkilenmemektedir (Duan ve Sun, 2003).

2.2.4. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle, fosil olmayan organik madde kütlesini ifade etmektedir. Organik madde kütlesi; Karbon (C) ile birlikte Hidrojen (H), Oksijen (O), Azot (N) ve daha az oranlarda da alkali, alkali toprak ve ağır metaller içeren atomlar barındırmaktadır. Biyokütle enerjisinin kaynakları; karbonhidrat bileşikleri olarak değerlendirilen, yenilebilen ve karada ve/veya suda yetişen bitkisel ya da hayvansal temelli doğal maddeler ile besin endüstrisi, orman ürünleri ve kentsel atıklar kapsamında yer alan tüm organik maddelerdir (Oberberger ve Thek, 2004).

Biyokütle enerjisi, sürekli enerji sağlayan ve tükenmez bir enerji olması açısından önemli addedilmektedir. Zira biyokütle enerjisi, her yerde yetiştirilebilen ya da her yerden temin edilebilen ürünlerden elde edilebilmektedir. Bu yönüyle de biyokütle enerjisinin kaynağını oluşturan ürünlerin; özellikle de kalkınmada öncelikli kırsal alanlarda yetiştirilmesinin teşvik edilmesi, sosyal ve ekonomik açıdan desteklenebilmeleri açısından da önemli görülmektedir (Topal ve Arslan – Topal, 2008).

Birçok Avrupa Birliği (AB) ülkesinde, normal dizel yakıtla belirli oranda karıştırılarak biyodizel kullanımı zorunlu hale getirilmiştir. Bu sayede de AB ülkelerinde, fosil yakıtların kullanılması dolayısıyla söz konusu olan çevresel zararların azaltılabilmesi amaçlanmaktadır. AB ülkelerinde normal dizel yakıtla biyodizel karıştırılması oranı %2 düzeyinde gerçekleştirilebilmişken, bu oranın 2030 yılına dek tüm AB ülkelerinde %30'a çıkarılması hedeflenmektedir (Uğurlu, 2006).

2.2.5. Hidrojen Enerjisi

Hidrojen (H₂) 1500'lü yıllar itibariyle keşfedilmesine karşın, 1700'lü yıllar itibariyle yanabilme özelliğine sahip olduğu keşfedilebilmiştir. Evrendeki en basit yapı ve en fazla bulunan element olarak değerlendirilen H₂; renksiz, kokusuz, tamamen zehirsiz

ve havadan 14,4 kat daha hafif olma niteliklerine sahiptir. Güneşin ve diğer tüm yıldızların termonükleer tepkimeye dâhil ettikleri ısının kaynağı da olduğundan, H₂ evrendeki en temel enerji kaynağı olarak görülmektedir (Zhao vd. 2019).

H₂ gazı, tipik olarak yaklaşık -253 °C'de sıvılaştırılarak depolanmaktadır ve bilinen tüm yakıtlar içerisinde birim kütle başına en yüksek enerji elde edilmesini sağlayan bir içerik arz etmektedir. Bununla birlikte H₂, doğada serbest halde bulunmamakta ve ancak bileşiklerden elde edilebilmektedir. H₂'nin en çok bilinen bileşiği H₂O'dur. H₂'nin kullanılabilmesi için bileşiklerinden ayrıştırılması gerekmektedir, ancak bu işlem oldukça maliyetlidir. Bu bağlamda H₂'nin bileşiklerinden ayrıştırılması ile elde edilen yakıtların, diğer yakıtlardan yaklaşık üç kat daha maliyetli olduğu belirtilmektedir (Touili vd. 2018).

H₂; içten yanmalı motorlarda direkt olarak kullanılabilmesinin yanında, katalitik yüzeylerde alevsiz yanma için de uygun bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte H₂, yakıt pili teknolojisi ile de depolama işlemlerinin ardından kullanılabilirlik alanı genişletilmeye çalışılan bir enerji kaynağıdır (Roseno, vd., 2019).

2.2.6. Dalga Enerjisi

Dalga enerjisi, direkt olarak dalga yüzeyinden ya da yüzey altında bulunan dalga basınçlarından elde edilen bir enerji türünü ifade etmektedir. Rüzgâr; denizlerde ve okyanuslarda sürekli dalga meydana getirdiğinden, dalga enerjisi de süreklilik göstermektedir. Dalgaların yüzey hareketleri ya da dalga basınçları, dalga enerjisi makineleri ile enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Dalga enerjisi makineleri aracılığıyla, dalgaların yüzey hareketleri türbinlere aktarılmakta ve bu şekilde enerji elde edilmektedir (Terzi ve Alkan, 2006).

Dalga enerjisi özde bir güneş enerjisi türevidir denilebilir. Zira dalgaların meydana gelmesini sağlayan rüzgâr da, neticesinde atmosferdeki basınç farklılıkları doğrultusunda ortaya çıkmaktadır. Bu kapsamda ortaya çıkan dalga yüzey hareketleri, "dalga enerjisi dönüştürme sistemleri" ile elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir. Dalga enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmesine yönelik çalışmalar, özellikle 1973 yılı itibariyle petrol fiyatlarının dünya genelinde aşırı artış göstermesi ile gündeme gelmiş ve bu tarihten itibaren de Avrupa ülkelerinde konu ile ilgili proje çalışmaları

başlatılmıştır (Özger, 2007).

2.3. Güneş Enerjisi

Güneş; fosil ve hidrolik enerjinin de ana kaynağı olan ve dünyanın ısınmasını sağlayan en temel yenilenebilir enerji kaynağı olma niteliğine sahiptir. Güneş enerjisi; hidrojenin helyuma dönüşmesi esnasında ortaya çıkan enerjinin, ışıma şeklinde uzaya yayılmasını ifade etmektedir. Güneşin milyonlarca yıldır olduğu gibi ışımasını sürdürmesi söz konusu olacağından, dünya için hiç tükenmeyen bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte güneş, mevcut tüm enerji kaynaklarının direkt ya da dolaylı temeli olması bakımından da önemli addedilmektedir (Goetzberger vd.2002).

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde bulunan hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklindeki füzyon süreci doğrultusunda açığa çıkan ışıma enerjisini kapsamaktadır. Güneş enerjisinin şiddeti atmosfer dışında 1370 W/m^2 iken, atmosfer tarafından tutulması dolayısıyla dünyaya ulaşan enerji şiddeti $0 - 1100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında farklılık göstermektedir. Dolayısıyla da dünyaya ulaşan güneş ışınları dahi, mevcut enerji tüketiminin çok daha fazlasını ifade etmektedir (Oluklulu, 2001).

Güneş enerjisinden yararlanılabilmesine yönelik çalışmaların, özellikle 1970'li yıllardan sonra hız kazanmaya başladığı görülmektedir. Teknolojik gelişmelerle güneş enerjisi sistemlerinin hem daha kapsamlı hem de daha az maliyetli üretilmeye başlanmasıyla birlikte de, güneş enerjisi kullanımı çok daha yaygınlaşmıştır (Sayın, 2006).

Güneş enerjisinden günümüzde, elektrik üretiminden çok ısıtma amacıyla yararlanılmaktadır. Diğer yenilenebilir enerji kaynakları gibi güneş enerjisi de, çevresel zararlarının olmaması ve kaynağının tükenmemesi dolayısıyla enerji üretiminde sıklıkla tercih edilmektedir. Buna yönelik olarak da, teknolojik gelişmeler doğrultusunda yeni güneş enerjisi sistemleri üretilmektedir. Güneş pilleri de bu sistemlerden biridir. Güneş pilleri farklı birçok maddeden yararlanılarak üretilbildiği gibi; en fazla tercih edilen yarı iletken maddeler kristal silisyum, amorf silisyum, kadmiyum tellürid, bakır indiyum diselenid ve galyum arsenittir (Sanchez ve Izard, 2015).

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde güneş enerjisinin önemi büyük olup

sağladığı potansiyelle birlikte yaşamın birçok alanında kullanılmaktadır. Isıl güneş teknolojileri ve güneş pilleri üzerinden sağlanan güneş enerjisi güneş enerjili araçlar, yapılar ve çevre elemanları üzerinden elektrik üretiminde, seralarda, tarımda, içme suyu dezenfektanında yiyecek pişirmede, ısıtma-soğutma ve havalandırma sistemlerinde ve daha birçok alanda kullanılmaktadır. Bu nedenle Türkiye ve dünyada ekonomik ve temiz enerji üretiminde kullanımı birçok faydayı beraberinde getirmektedir (Ceylan, 2016).

2.3.1. Güneş Enerjisi ve Tarihsel Gelişimi

Güneş enerjisinin kullanılması doğrultusunda gerçekleştirilen ilk uygulama, Arşimet tarafından M.Ö. 215 yılında Syracuse'yı kuşatan gemilere güneş ışınımının odaklanması kapsamında söz konusu edilmiştir (Altuntop ve Erdemir, 2013). Bununla birlikte İlk Çağ'dan itibaren kullanılan güneş enerjisinin günümüzdeki anlamı ile ilk kullanılması, 18. yüzyıl itibariyle gerçekleştirilmiştir. Bu dönem itibariyle güneş enerjisinden yararlanılabilmesinin temelinde ise, Galile'nin mercekleme konusundaki çalışmaları yer almaktadır (Akova, 2008).

İlk güneş kolektörü, 1767 yılında İsviçreli bilim adamı Horace de Saussure tarafından yapılmıştır. Horace de Saussure tarafından geliştirilen güneş kolektörü, 1830'lu yıllar itibariyle Sir John Herschel tarafından Güney Afrika seferinde yemek pişirmek amacıyla kullanılmıştır. 1816 yılı itibariyle de, İskoç bilim adamı Robert Stirling tarafından geliştirilen ve güneş enerjisi ile çalışan bir makine için patent başvurusunda bulunulmuştur. Güneş enerjisi ile çalışan ve Robert Stirling tarafından geliştirilen bu makine, kendisinden sonra "Çanak / Stirling Sistemi" adı verilen ve güneşin ısı enerjisinin elektrik üretiminde kullanılmasını sağlayan teknolojilerde kullanılmaya başlanmıştır (Akova, 2003).

1839 yılında da Fransız fizikçi Alexandre Edmund Becquerel tarafından gerçekleştirilen çalışmalar kapsamında, iki metal plaka arasındaki elektrik akımı şiddeti gözlemlenmiş ve ışığın şiddetini ölçebilen cihaz icat edilmesi doğrultusunda "fotovoltaik (fotoelektrik) etki" keşfedilmiştir. Fotovoltaik (fotoelektrik) etki, ışığın (fotonların) elektriğe (gerilime) dönüştürülmesi doğrultusunda elde edilen etki olarak tanımlanabilmektedir. Fotovoltaik etkinin kullanılması ile Alexandre Edmund Becquerel tarafından geliştirilen cihazın güneş ışığını soğurması, güneş enerjisinin elektronları atomlardan koparıp cihaz içerisinde aktarması ve bu kapsamda da elektrik

üretilebilmesi sağlanabilmiştir (DEK – TMK, 2009).

1860 yılında Fransız bilim adamı Auguste Mouchout tarafından, suyun güneş enerjisi ile kaynatılması ile buhar elde edilmesini sağlayan bir buhar tribünü geliştirilmiştir. Auguste Mouchout, güneş enerjisi ile çalışan buhar tribününün patentini almasının ardından çalışmalarını devam ettirmiş ve 1865 yılı itibariyle de, çanak şeklinde bir reflektör kullanarak buhar tribününün çalışma sistemini geliştirmiştir (Akova, 2003).

1868 yılında Fransız mühendis Charles Tellier tarafından, ilk yoğunlaştırmasız ve yansıtmasız güneş makinesi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Charles Tellier tarafından bu kapsamda gerçekleştirilen çalışmalar, daha sonrasında Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) de devam ettirilmiş ve güneş enerjisi kullanılmasıyla çalışan güneş makineleri ticari amaçla üretilmeye başlanmıştır. Bu doğrultuda 1892 yılında ABD'li Aubrey Eneas tarafından yapılan güneş makinesi deneyleri kapsamında geliştirilen güneş makinelerinin pazarlanabilmesine yönelik olarak, güneş enerjisi ile çalışan ürünlerin pazarlanmasını sağlayan ilk şirket olma niteliğine sahip olan “The Solar Motor Corporation” 1900 yılı itibariyle kurulmuştur (Akova, 2008).

1873 yılı itibariyle İngiliz bilim adamı Willoughby Smith tarafından selenyumun fotoiletken olduğu keşfedilmiş ve 1877 yılı itibariyle de İngiliz bilim adamları William Grylls Adams ve Richard Evans Day tarafından selenyumdaki fotovoltajik etki gözlemlenmiştir. 1884 yılında da Amerikalı bilim adamı Charles Fritts tarafından, selenyumun çok ince bir altın tabakası ile kaplanması doğrultusunda ilk güneş pili yapılmıştır. Güneş pillerine yönelik çalışmaların devam ettirilmesi doğrultusunda; 1888, 1894 ve 1897 yıllarında farklı bilim adamları tarafından geliştirilen güneş pilleri için Amerikan Patent Dairesi'nden patentler alınmıştır (DEK – TMK, 2009).

Söz konusu edilen bu çalışmalar doğrultusunda; yoğunlaştırılan güneş ışınlarının, 18. yüzyıl itibariyle kimyasal tepkimelerde ve güneş ocaklarında kullanıldığı ve 19. yüzyıl itibariyle de, güneş enerjisi ile çalışan buhar makinelerinin kullanılmasının yaygınlaştığı ve güneş enerjisi ile çalışan baskı makinelerinin kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Aynı şekilde 19. yüzyıl itibariyle, su dağıtımına yönelik sistemler de güneş enerjisi ile çalıştırılmaya başlanmıştır (DEK – TMK, 2009).

Söz konusu edilen bu dönem itibariyle, fotovoltajik güneş enerjisi konusundaki çalışmaların da devam ettirildiği görülmektedir. 1905 yılında Albert Einstein

tarafından yazılan ve kendisine 1921 Nobel Fizik Ödülü'nü kazandıran “Fotoelektrik Etki” makalesi, konu ile ilgili önemli kilometre taşlarından biri olarak kabul edilmektedir. Albert Einstein tarafından yazılan makalenin ardından, fotovoltaiik güneş enerjisi konusundaki deneysel çalışmaların ve patent çalışmalarının hız kazanması söz konusudur. Bu kapsamda 1946 yılında Russell Ohl tarafından gerçekleştirilen çalışmalar da, 1954 yılında Gerald Pearson, Calvin Fuller ve Daryl Chapin tarafından gerçekleştirilen çalışmalara zemin hazırlamış ve bu çalışmalara endeksli olarak da ilk silikon güneş pili geliştirilmiştir. Gerald Pearson, Calvin Fuller ve Daryl Chapin tarafından geliştirilen silikon güneş pillerinden önce güneş pillerinin maliyeti 286 ABD Doları/Vat civarındayken, silikon güneş pilleri ile yaklaşık %6 oranında maliyet avantajı elde edilmiştir (DEK – TMK, 2009).

1920’li yıllardan itibaren düz levha kolektörlerin kullanılmasıyla geliştirilen güneş enerjili ısıtma sistemleri, ABD’nin Kaliforniya ve Florida gibi güneşli gün sayısının fazla olduğu eyaletlerinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu dönemden itibaren ise; kömür ve petrol kullanımının yaygınlaşması ile birlikte, 1950’li yıllara dek güneş enerjisi ile ilgili çalışmaların bir duraklama dönemine girdiği görülmektedir. 1950’li yıllar ise, güneş enerjisi sistemlerinin kullanımında patlama yaşanan bir dönem olarak ifade edilmektedir. Bu dönem itibariyle, Miami’de 50 bin ve Japonya’da da 30 bin güneş enerjisi ile çalışan su ısıtıcısı satışı gerçekleşmiştir. Yine aynı dönemde Fransa’da Pireneler’de kurulan 1 MW gücündeki “Mont – Louis Güneş Fırını”, güneş enerjisi kullanımına yönelik o döneme dek ortaya konulan en gelişmiş teknoloji olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte 1960’lı yıllar itibariyle güneş enerjisi sistemlerinin, yine petrol ve kömür kullanımı ile rekabet edemediği görülmektedir (Akova, 2008).

1970’li yıllar itibariyle dünya genelinde yaşanan petrol krizi ve dünya genelinde uygulanan petrol ambargosu doğrultusunda, temiz ve yenilenebilir enerji kullanımının yaygınlaşması konusundaki çalışmalar ön plana çıkmaya başlamıştır. Özellikle de bu dönem itibariyle dikkat çekmeye başlayan küresel ısınma ve sera gazı emisyonlarının azaltılması çalışmaları ile güneş enerjisi kullanımının yaygınlaşmasına dikkat çekilmiştir. Buna yönelik çalışmalar doğrultusunda da, 1984 yılında Los Angeles’ta “Luz Corporation” tarafından ilk endüstriyel tip güneş enerjisi sistemi geliştirilmiştir. Endüstriyel tip güneş enerjisi sisteminde yer alan parabolik aynalı sistem ile 354 MW gücünde enerji üretimi sağlanmış ve elde edilen bu enerji de, birçok endüstri

işletmesinin enerji ihtiyacının karşılanmasını olanaklı kılmıştır. 1990'lı yıllar itibariyle de, Kaliforniya'da 10 MW ve Ürdün'de 30 MW gücüne sahip iki güneş kulesi sistemi kurulmuştur (DEK – TMK, 2009).

2000'li yıllar itibariyle hız kazanan güneş enerjisi kullanımına yönelik çalışmalar ve yatırımlar da, özellikle fotovoltaik endüstriyel üretimlerin artması ile birlikte günümüzde çok daha fazla önem kazanmıştır.

2.3.2. Güneş Enerjisi: Temel Kavram ve Sistemler

Temiz enerji kaynağı olarak nitelendirilen güneş enerjisi, kaynağını güneşteki iki atom çekirdeğinin birleşmesi ile daha ağır bir atom çekirdeğinin oluşmasını sağlayan füzyon tepkimelerinden almaktadır (Karakoç vd, 2012). Bu tepkimeler doğrultusunda ortaya çıkan güneş enerjisi; “Pasif Isı Sistemi”, “Termal Güneş Sistemi”, “Elektrik Üretimi Sağlayan Güneş Enerjisi Pili” ve “Odaklanmış Güneş Enerjisi Sistemi” kapsamında kullanılabilir hale getirilmektedir (ETKB, 2020).

“Pasif Isı Sistemi”; güneş enerjisinden ısıtma sistemlerinde yararlanılabilmesine yönelik olarak, bina mimarisinde güneşe göre konumlandırma ve/veya bina pencerelerinin güneşe göre tasarlanması uygulamalarını kapsamakta ve Tromb duvarı inşa edilmesi gibi uygulamaları içermektedir. “Termal Güneş Sistemi”, güneş enerjisinin su ısıtma sistemlerinde kullanılmasını ifade etmektedir. “Elektrik Üretimi Sağlayan Güneş Enerjisi Pili”, fotovoltaik piller kullanılarak güneş enerjisinden yararlanılmasını ifade etmektedir. “Odaklanmış Güneş Enerjisi Sistemi” ise, odaklanmış ya da yoğunlaştırıcı güneş enerjisi santrallerinin (CSP) kullanılmasını kapsamaktadır (ETKB, 2020).

Söz konusu edilen bu kapsamda güneş enerjisi kullanımı ile ilgili temel sistemler; yöntem, malzeme ve teknoloji kullanımına göre farklılık göstermekle birlikte, “Fotovoltaik (PV) Güneş Teknolojisi” ve “Isıl Güneş Teknolojileri” doğrultusunda incelenebilmektedir.

Fotovoltaik (PV) Güneş Teknolojisi, enerji üretimi sürecinde güneş ışığının piller aracılığıyla depolanması ve ihtiyaç durumunda da kullanılması kapsamında uygulanan teknolojileri ifade etmektedir. Bu temelde Fotovoltaik (PV) Güneş Teknolojisi; güneş pillerinin yüzeylerine düşen güneş ışığının, direkt elektrik enerjisine dönüştürülmesini sağlayan yarı iletken maddelere endekli çalışan güneş enerjisi sistemleridir (Akova,

2008).

Isıl Güneş Teknolojileri ise; güneş enerjisinden ısı elde edilmesini olanaklı kılan teknolojileri içermekte ve bu teknolojilere endeksli olarak, güneş enerjisinden elde edilen ısı direkt olarak ya da elektrik üretimi sağlanarak kullanılabilir. Isıl Güneş Teknolojileri, “Güneş Kolektörleri” ve “Yoğunlaştırıcı Sistemler” kapsamında uygulanmaktadır. Güneş Teknolojileri, “Düzlemsel Güneş Kolektörleri” ve “Parabolik Oluk Kolektörleri” kapsamında kullanılmaktadır. Düzlemsel Güneş Kolektörleri; Vakum – Tüp Güneş Kolektörleri, Güneş Havuzları, Güneş Bacaları, Su Arıtma Sistemleri, Güneş Mimarisi, Ürün Kurutma Sistemleri, Güneş Ocakları Düşük Sıcaklık Sistemleri ve Sera Sistemleri kapsamında sistemleri içermektedir. Parabolik Oluk Kolektörleri ise, Parabolik Çanak Sistemler kapsamında kullanılmaktadır. Yoğunlaştırıcı Sistemler de, güneş enerjisinin belirli bir merkezde yoğunlaştırılması ile kullanılabilir hale getirilmesini olanaklı kılan sistemler olarak ifade edilmektedir (ETKB, 2020).

Güneş Teknolojileri kapsamında yer alan “Düzlemsel Güneş Kolektörleri” ve “Parabolik Oluk Kolektörleri”, güneş ışınlarının absorpsiyonu aracılığıyla ısı enerjisiye dönüştürülmesi ve bir akışkana transfer edilmesi için tasarlanmış kolektörler olarak tanımlanabilmektedir. Bu temelde de Düzlemsel Güneş Kolektörleri ve Parabolik Oluk Kolektörleri; güneş ışınlarının, faydalı ısı enerjisi olarak ikincil bir devreye aktarılması kapsamında çalışmaktadır (Karakoç vd, 2012).

2.3.3. Dünya’da Güneş Enerjisi Kullanımı

Dünya’ya ulaşan güneş enerjisinin küçük bir bölümünün dahi dünya enerji tüketiminin çok üzerinde olması, güneş enerjisinin yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde önemli bir yere sahip olmasını sağlamaktadır. Özellikle günümüz itibarıyla de güneş enerjisinden yararlanılmasını olanaklı kılan teknolojilerin ve sistemlerin gelişme göstermesi ile güneş enerjisi kullanım maliyetlerinin düşmesi ve temiz enerji kaynağı olması da güneş enerjisinin önemini artırmaktadır.

Dünya’nın 450 Kuzey ve 450 Güney enlemleri arasında kalan bölgeler, güneş enerjisinden çok daha maliyetle yararlanılmasını sağlayan bölgeler olarak değerlendirilmektedir. Söz konusu edilen bu bölgelerde de, özellikle düzlemsel güneş kolektörleri kullanılmasıyla elde edilen ısı ile sıcak su ihtiyacının karşılanmasına

yönelik hareket edildiği görülmektedir. Bunun haricinde de dünya genelinde olduğu gibi bu bölgelerde de güneş enerjisinden; güneş havuzları, güneş ocakları, güneş bacaları, güneş pilleri, parabolik çanak ve parabolik oluk sistemleri ile elektrik enerjisi üretimine yönelik olarak yararlanılmaktadır (Akova, 2003).

Dünya genelinde güneş enerjisi teknolojilerine ve sistemlerine yönelik en fazla yatırımlar; gelişmiş ülkeler kapsamında değerlendirilen ABD ve Avrupa ülkeleri haricinde, Afrika ve Güney Amerika ülkeleri ile Avustralya gibi güneşlenme potansiyeli çok daha yüksek olan ülkelerde gerçekleştirilmektedir (IRENA, 2020).

“Dünya Genelinde Güneş Enerjisi Potansiyeli En Yüksek Bölgeler” ile ilgili belirlenmeler, Tablo 2.3’te yer almaktadır.

Tablo 2.3. Dünya Genelinde Güneş Enerjisi Potansiyeli En Yüksek Bölgeler
(IRENA, 2020)

BÖLGE	ALAN (km²)	YILLIK ENERJİ (Joule)
Sahra	2.000.000	1,71 x 10 ²²
Arabistan Çölü	500.000	4,19 x 10 ²²
Qingai	1.400.000	1,17 x 10 ²²
Avustralya	2.400.000	1,87 x 10 ²²
Güney Amerika	1.800.000	1,40 x 10 ²²
Brezilya	600.000	4,77 x 10 ²¹
ABD ve Meksika	1.600.000	1,25 x 10 ²²
Güneybatı Asya	1.200.000	1,00 x 10 ²²

Dünya genelinde kullanılan toplam yenilenebilir enerji kapasitesi, 2019 yılı sonu itibariyle bir önceki yıla göre yaklaşık %8,5 düzeyinde artış göstermiş ve 480 GW’a ulaşmıştır. Belirtilen bu rakama hidroelektrik santrallerinden elde edilen enerji miktarı dâhil edilmemekle birlikte, söz konusu edilen 480 GW toplam yenilenebilir enerji kapasitesinin 293 GW’sinin ise rüzgâr enerjisinden elde edildiği belirtilmektedir. Rüzgâr enerjisinden sonra dünya genelinde en fazla kullanılan toplam yenilenebilir enerji kapasitesinin ise, biyokütle enerjisi olduğu ifade edilmektedir. Dünya genelinde kullanılan toplam güneş enerjisi kapasitesinin ise, 2019 yılı sonu itibariyle 100 GW olduğu görülmektedir (IRENA, 2020).

Güneş enerjisinden yararlanılmasına yönelik olarak fotovoltaik güç sistemlerinin ise; en fazla Almanya, İspanya, İtalya, ABD, Fransa ve Çin tarafından kullanıldığı görülmektedir. Bu doğrultuda da dünya genelinde fotovoltaik güç sistemlerine yönelik yatırımların, 2019 yılı kapsamında ve 2020 yılı ilk 11 ayında artırıldığı belirtilmektedir. 2019 yılında konu kapsamındaki en fazla yatırımın; Almanya, ABD; Fransa, İtalya ile düşük güneşlenme potansiyeline sahip Kuzey Avrupa ülkeleri tarafından gerçekleştirildiği ifade edilmektedir. 2020 yılı sonu itibariyle de, dünya genelinde konu kapsamındaki yatırımların 230 Milyar ABD Doları'nı geçmesi beklenmektedir (IRENA, 2020).

2019 yılı sonu itibariyle fotovoltaik kurulu güç kapasitesi bakımından, 70.043 GW ile Avrupa ülkeleri ilk sırada yer almaktadır. Avrupa ülkelerini ise; 12.397 GW fotovoltaik kurulu güç kapasitesi ile Asya Pasifik ülkeleri, 8.717 GW fotovoltaik kurulu güç kapasitesi ile ABD ve 8.300 GW fotovoltaik kurulu güç kapasitesi Çin izlemektedir. Orta Doğu ülkeleri ile Afrika ülkelerinin ise; yüksek güneşlenme potansiyeline sahip olmalarına karşın, toplam 601 GW fotovoltaik kurulu güç kapasitesine sahip olmak bakımından bu potansiyelden yeterli düzeyde yararlanamadıkları görülmektedir (IRENA, 2020).

Dünya genelinde en fazla fotovoltaik pil üretimi gerçekleştiren ülke ise, Çin olarak ifade edilmektedir. Çin ise Almanya, ABD ve Tayvan izlemektedir. Güneş enerjisinden yararlanılabilmesine yönelik güneş hücresi üretimi gerçekleştiren dünya genelindeki 15 büyük firmadan 10'unun da, Asya ülkelerinde bulunduğu görülmektedir. Bu doğrultuda Asya ülkeleri; gerek uygun fiyat avantajı sağlayabilmeleri ve gerekse de değişen pazar koşullarına gereği gibi uyum gösterebilmeleri açısından, sektörde büyük paya sahiptirler. Bu kapsamdaki en büyük üretim, %6,7 pay ile Çin'de konumlandırılan "Yingli Green Energy" tarafından gerçekleştirilmektedir. Yine Çin'e endeksli olarak gerçekleştirilen diğer üretimler de; %4,7 pay ile "Trina Solar", yine %4,7 pay ile "Suntech Power", %2,8 pay ile "JA Solar", %2,6 pay ile "Jinko Solar", %2,5 pay ile "Hareon Solar", yine %2,5 pay ile "Hanwha – Solar", %2,1 pay ile "Rene Solar" ve %2 pay ile "Tianwei New Energy" kapsamında ifade edilen firmalara aittir (IRENA, 2020). Yüzde 5,3 pay ile "Firts Solar (ABD)", %2,6 pay ile "SunPower (ABD)", %4,6 pay ile "Canadian Solar (Kanada)", %3 pay ile "Sharp (Japonya)", %2,1 pay ile "Kyocera (Japonya)" ve %2 pay ile "REC (Norveç)" gibi firmalar da, dünya geneline yönelik konu ile ilgili ihtiyacın

karşılanması konusunda çalışmalar yapan diğer firmalar kapsamında ifade edilmektedir (IRENA, 2020). Birçoğu Avrupa ülkelerinde kurulmuş olan güneş enerji santrallerinde de, güneş enerjisinden yararlanılması doğrultusunda elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Güneş enerjisinden yararlanmak doğrultusunda elektrik üretiminde bulunan ve 20 MW ve üzerinde elektrik üretimi gerçekleştirmeleri dolayısıyla “Büyük Güneş Enerji Santralleri” olarak nitelendirilen santraller ile ilgili belirlenimler Tablo 2.4’te yer almaktadır.

Tablo 2.4. Dünya Geneli Üretim Kapasitesine Göre Güneş Enerji Santralleri
(IRENA, 2020)

SANTRAL ADI	ÜLKE	ÜRETİM KAPASİTESİ (MW)	BİTİŞ TARİHİ
Gujarat Solar Park	Hindistan	600	2012
Agua Caliente	ABD	250	2012
Charanka Solar Park	Çin	214	2012
Golmud Solar Park	Çin	200	2011
Meuro Solar Park	Almanya	166	2012
Mesquite Solar – I	ABD	150	2012
Neuhardenberg Airport Solar Park	Almanya	145	2013
Campo Verde Solar Project	ABD	139	2012
Templin Solar Park	Almanya	128	2012
Centrale Solaire de Toul – Rosières	Fransa	115	2012
California Valley Solar Ranch	ABD	108	2012
Perovo Solar Park	Ukrayna	100	2011
Sarnia Photovoltaic Power Plant	Kanada	97	2010
Eberswalde / Finow / Schorfheide	Almanya	84,5	2012
Montalto di Castro Photovoltaic Power Station	İtalya	84,2	2010
Finsterwalde Solar Park in Germany	Almanya	80,7	2010
Ohotnikovo Solar Park	Ukrayna	80	2011
Solarpark Senftenberg” in Germany	Almanya	78	2011
Lieberose Photovoltaic Park	Almanya	71,8	2009
Rovigo Photovoltaic Power Plant	İtalya	70	2010
Olmedilla Photovoltaic Park	İspanya	60	2008
Strasskirchen Solar Photovoltaic Park	Almanya	54	2009
Puertollano Photovoltaic Park	İspanya	50	2008
Copper Mountain Solar Facility	ABD	48	2010
Parque Fotovoltaico Puertollano	İspanya	47,6	2008
Cellino San Marco PV Power Plant	İtalya	40	2007 – 2008
Gabardan PV Power Plant	Fransa	36,2	2010
Solarpark Reckahn I – II	Almanya	36	2010

FVE Veprek	Çek Cumhuriyeti	35	2010
Sant' Alberto PV Power Plant	İtalya	34,63	2010
Planta Solar La Magascona & La Magasquila	İspanya	34,5	İ2008
Solarpark Ernsthof Ost, Ernsthof West I – IV	Almanya	34,4	2010
Planta Solar Dulcinea	İspanya	31,8	2009
Cimarron Solar Facility	ABD	30	2010
Parque Solar “SPEX” Merida / Don Alvaro	İspanya	30	2010
FVE Sevetin	Çek Cumhuriyeti	29,9	2010
Planta Solar Fuente Álamo	İspanya	26	2008
Solarpark Helmeringen	Almanya	25,7	2008 – 2010
Solarpark Eiche	Almanya	25	2013
DeSoto Next Generation Solar Energy Center	ABD	25	2009
Solarpark Finow	Almanya	24,5	2010
Rideau Lakes PV Power Plant	Kanada	24	2010
Parc Solaire Les Mees	Fransa	24	2010
Sinan Power Plant	Güney Kore	24	2008
Arnprior PV Power Plant	Kanada	23,4	2009
Planta Fotovoltaica de Lucainena de las Torres	İspanya	23,2	2008
Parque Solar Hoya de Los Vincentes – Jumilla	İspanya	23,1	2008
Huerta Solar Almaraz	Almanya	22,068	2008
Solarpark Köthen	Almanya	22	2010
Solarpark Pocking I – II	Almanya	22	2006
Solarpark Mengkofen	Almanya	21,78	2009
Solarpark Rothenburg	Almanya	20	2009

Tablo 2.4 doğrultusunda; dünyadaki üretim kapasitesi açısından önde gelen güneş enerji santralleri arasında ilk üç sırada “Gujarat Solar Park (Hindistan)”, “Agua Caliente (ABD)” ve “Charanka Solar Park (Çin)” gibi güneş enerji santrallerinin yer aldığı görülmektedir. Söz konusu edilen bu güneş enerji santralinin en önemli özelliği ise; fosil yakıt kullanılmadan elektrik üretimi gerçekleştirilmesi dolayısıyla, tarımsal faaliyetlere zarar vermeyecek düzenlemelerle gerçekleştirilen bir çalışma sistemine sahip olmalarıdır (IRENA, 2020).

Güneş enerjisi kullanımına yönelik olarak küresel bir proje olarak yürütülen “Desertec Projesi” de, bu kapsamda önemli addedilmektedir. Desertec Projesi’nin bilimsel altyapısı, “Alman Havacılık ve Uzay Merkezi (DLR)” tarafından yürütülmektedir. 2003 yılında uygulamaya konulan Desertec Projesi; 2009 yılından itibaren Deutsche Bank, Siemens, ABB, RWE, Münich Re, MAN Solar Millenium ve HSN Nordbank gibi finans kuruluşları, mühendislik firmaları ve enerji grupları tarafından

desteklenmeye başlanmıştır (Topçu ve Yünsel, 2012).

Desertec Projesi kapsamında Kuzey Afrika ve Orta Doğu ülkelerinde 2003 – 2043 yılları arasını kapsayan 40 yıllık dönemde yaklaşık 50 Milyar ABD Doları yatırım yapılmasının planlandığı ve bu doğrultuda da yaklaşık 100 GW enerji üretilmesinin amaçlandığı belirtilmektedir. Buna yönelik olarak da enerji üretimi için kurulması planlanan solar panel alanlarının; Türkiye – Suudi Arabistan ve Fas kapsamındaki geniş bir yay doğrultusunda kurulması öngörülmektedir. Bununla birlikte söz konusu edilen yatırımların; teknik, ekonomik, sosyal ve politik nedenler dolayısıyla hâlihazırda değerlendirme aşamasında bekletildiği ifade edilmektedir (Topçu ve Yünsel, 2012).

Sonuç itibarıyla dünya genelinde güneş enerjisinden yaygın olarak, ülkelerin gelişmişlik düzeylerine ve sahip oldukları teknolojik olanaklara ve altyapı olanaklarına göre farklılık göstermekle birlikte; ısıtma ve soğutma sistemlerinde ve elektrik üretiminde yararlanıldığı görülmektedir.

2.3.4. Türkiye’de Güneş Enerjisi Kullanımı ve Mevcut Durum

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2019 verilerine göre; Türkiye’de 1.319,4 milyon ton taşkömürü, 11.752,2 milyon ton linyit, 44,1 milyon ton petrol ve 6,2 milyar m³ doğalgaz rezervi bulunmaktadır. 2019 yılı sonu itibarıyla Türkiye’deki elektrik santrallerinin toplam kapasitesinin de, 239.496,8 milyon kW/h olduğu belirtilmektedir. Söz konusu edilen bu kapasitenin %73’ü (174.871,7 milyon kW/h) termik santrallerden, %24,2’si (164.871,7 milyon kW/h) hidroelektrik santrallerinden, %2,4’ü (5.860,8 milyon kW/h) rüzgâr enerjisi santrallerinden ve %0,4’ü (899,3 milyon kW/h) jeotermal santrallerden sağlanmaktadır. Türkiye’de toplam üretilen enerjinin %27’sinin de (65.345,9 milyon kW/h) yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edildiği ifade edilmektedir (ETKB, 2020/a).

Nükleer enerji üretiminde kullanılan çekirdek kaynaklar arasında yer alan uranyum, Türkiye’de 9.129 ton rezerv ile dünya geneline göre oldukça düşük düzeydedir. Nükleer enerji üretiminde kullanılan çekirdek kaynaklar arasında yer alan toryum da, Türkiye’de 744 bin ton rezerv ile yine dünya geneline göre oldukça düşük düzeydedir (ETKB, 2020/a).

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2019 verilerine göre ayrıca; Türkiye’de

elektrik üretiminde %51 payın doğalgaza, %15 payın barajlı hidroelektrik santrallere ve %13 payın ithal kömüre ait olduğu belirtilmektedir. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı; 2020 yılı ilk 11 ayında birincil enerji arzındaki en büyük payın %29,8 ile petrolde olduğunu belirtmekte ve 2030 yılı itibariyle de kömürün, %29,1 ile birincil enerji arzındaki en büyük paya sahip olacağını ifade etmektedir. 2030 yılı itibariyle ayrıca, doğalgazın elektrik üretiminde yaklaşık %21,4 paya sahip olacağı öngörülmektedir (ETKB, 2020/a).

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü 1962-1980 yılları içerisinde Türkiye'deki güneşlenme verilerini değerlendirmiş, bu değerlendirme sonucunda ülkemizin yıllık ortalama güneş ışınımı 3,6 kWh/m² gün ve güneşlenme süresi 2640 saat olarak belirlenmiştir. Meteoroloji Enstitüsü ile yapılan işbirliği sonucunda 5 adet güneş gözlem istasyonu, 5 yıl süreyle çeşitli illere tesis edilmiş, yapılan çalışma ile il bazlı olarak güneş enerjisinden ne denli faydalanıldığına yönelik ölçümlere devam edilmiştir. EPDK'nın 2018 yılında hazırladığı raporda güneş enerjisi kurulu güç anlamında en fazla verimi İç Anadolu bölgesinden elde ederken, en düşük verim ise Karadeniz bölgesinden sağlanmaktadır. Bu bilgiler ışığında yapılan yatırımlar da bölgelere göre farklılık göstermeye başlamıştır. Türkiye'de yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat (günlük ortalama 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m².yıl (günlük ortalama 4,18 kWh/m².gün) olduğu göz önüne alındığında, bölgesel olarak en yüksek yatırımı İç Anadolu bölgesi almaktadır. Örneğin; Konya ilinde güneş radyasyon potansiyeli yıl içinde 1800-2000 kWh/m²'ye kadar çıkmaktadır. Bu oranın en yüksek olduğu ay ise Temmuz ayıdır. Bu nedenle bu ile yapılacak bir yatırım da verimlilik göz önüne alındığında oldukça önemlidir (YEGM, 2018).

Türkiye'nin en çok güneşlenme süresi Temmuz ve en az güneşlenme süresi de aralık ayına ilişkindir. Bölgeler kapsamında değerlendirildiğinde ise; en çok güneşlenme sürecinin Güneydoğu Anadolu Bölgesi ile Akdeniz Bölgesi'ne, en az güneşlenme süresinin de İç Anadolu Bölgesi ile Doğu Anadolu Bölgesi'ne ilişkin olduğu görülmektedir (ETKB, 2020/a).

Türkiye'de güneş enerjisinden alternatif enerji kaynağı olarak yararlanılmasına yönelik ilk çalışmaların, 1960'lı yıllar itibariyle gerçekleştirilmeye başladığı görülmektedir. 1970'li yıllar itibariyle de; dünya genelinde güneş enerjisi ile ilgili

olarak söz konusu olan gelişmelere bağlı olarak, güneş enerjisi ısı uygulamaları kapsamındaki çalışmalar üniversitelerde ve endüstri işletmelerinde başlatılmıştır. Güneş enerjisi ile ilgili ilk ulusal kongre de, 1975 yılı itibariyle İzmir’de gerçekleştirilmiştir. İlk pasif güneş enerjisi uygulaması da, Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) tarafından yine 1975 yılı itibariyle gerçekleştirilmiştir (Eryıldız ve Demirbilek, 2000).

1975 yılından itibaren hız kazanan güneş enerjisi konusundaki çalışmaların ise; genel olarak ODTÜ, İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), Yıldız Teknik Üniversitesi ve Ege Üniversitesi tarafından gerçekleştirildiği görülmektedir. Türkiye’deki tek “Güneş Enerjisi Enstitüsü” ise, 1978 yılı itibariyle Ege Üniversitesi bünyesinde kurulmuştur. Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü, günümüzde de faaliyetlerini devam ettirmektedir (Altuntop ve Erdemir, 2013).

Güneş enerjisi ile su ısıtılmasına yönelik sistemler ya da evsel güneş enerjili sıcak su sistemleri, ilk olarak 1975 yılında İzmir’de üretilmeye başlanmıştır. O tarihten itibaren genel olarak güneşlenme potansiyelinin yüksek olduğu bölgelerde yaygın olarak kullanılmaya devam eden evsel güneş enerjili sıcak su sistemleri; toplayıcı, depolama tankı ve bağlantı elemanları kapsamında özde termosifon tipi ısıtıcılar olarak işlev görmektedirler (Eskin, 2006).

1980’li yıllarla birlikte güneş enerjisi ile ilgili çalışmalar, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırmalar Kurumu Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü (TÜBİTAK – MBEAE) tarafından koordine edilmeye başlanmıştır. Söz konusu edilen dönemden itibaren de TÜBİTAK – MBEAE tarafından, Türkiye’de endüstri işletmelerinin ısı enerji ihtiyaçlarının karşılanmasına yönelik modelleme çalışmaları devam ettirilmektedir. 1986 yılı itibariyle de TÜBİTAK Ankara Elektronik Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü tarafından, güneş pilleri tasarlanmasına ve üretilmesine yönelik çalışmaların desteklendiği görülmektedir. “Uluslararası Güneş Enerjisi Derneği Türkiye Şubesi (International Solar Energy Society Turkey Branch / UGET – TB)” de, 1992 yılından itibaren aldığı izin doğrultusunda konu ile ilgili çalışmalarını aktif olarak devam ettirmektedir (Hepbaşlı, 2004).

Konu ile ilgili olarak ayrıca; 1982 yılından itibaren Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) tarafından güneş enerjisi ile su ısıtma, aktif ve pasif mahal ısıtması, güneş pilleri ve yoğunlaştırıcı güneş enerjisi toplayıcıları kapsamında çalışmalar yürütüldüğü

görülmektedir. Ayrıca Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından, güneşlenme potansiyelinin incelenmesi doğrultusunda ısıtma ve soğutma sistemlerine temel olacak bilgilerin derlenmesine yönelik çalışmalarda bulunmaktadır. Makine Kimya Enstitüsü (MKE) tarafından da; düzlemsel ve parabolik toplayıcı üretilmesi, test edilmesi ve pazarlanması çalışmaları sürdürülmektedir (Altuntop ve Erdemir, 2013).

Güneş enerjisinden yararlanılması doğrultusunda sıcak su üretilmesini sağlayan güneş kolektörlerinin üretilmesinde, Türkiye önde gelen ülkeler arasında yer almaktadır. Bu bağlamda Türkiye, güneş kolektörlerinin üretilmesinde Çin ve Almanya'dan sonra 3. sırada yer almaktadır. Türkiye'de gerçekleştirilen güneş kolektörü üretimi, yıllık 14.519,361 m² olarak ifade edilmekte ve bu üretimin büyük bir bölümü de ihraç edilmektedir (Mauthner ve Weiss, 2013).

Türkiye'de güneş enerjisi sistemlerinin üretilmesinde "Güneş Enerjisi Düz Toplayıcıları Standardı" ve "Güneş Enerjili Tesis ve İşletmeler Standardı" olmak üzere, Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından belirlenen iki standart kullanılmaktadır (Eskin, 2006). Konu ile ilgili olarak İstanbul, Gaziantep ve İzmir'de bulunan ve toplam 60 MW üretim kapasitesine sahip üç işletme kapsamında da, güneş pillerinin silikon ve ince film şeritlerinin üretilmesine yönelik faaliyette bulunmaktadır (Altuntop ve Erdemir, 2013).

10.05.2005 Tarih ve 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun kapsamında da, yenilenebilir enerji sektöründe hizmet veren işletmelerin faaliyetlerin düzenlenmesinin hükme bağlandığı görülmektedir. 29.12.2010 Tarih ve 6094 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun ile de konu ile ilgili yeni düzenlemeler ve yenilenebilir enerji kapsamında desteklenecek tutarlar hükme bağlanmıştır.

Türkiye'ye yönelik yapılan projeksiyonlar kapsamında, 2040 yılı itibariyle Türkiye'nin toplam enerji ihtiyacının %26'sının güneşten karşılanacağı belirtilmektedir (keskin, 2019). Türkiye'de bulunan 14.519,361 m²'lik güneş kolektörünün; %88'inin ev tipi, %11'inin de sanayi tipi olduğu ve turizm sektöründe kullanıldığı ve %1'inin de diğer güneş enerji sistemlerinde yer bulduğu görülmektedir. Söz konusu edilen bu kolektörlerin %98'inin Antalya ve civarında bulunduğu ifade

edilmektedir. Bu kapsamda da güneş enerjisinden yararlanılması doğrultusunda, yıllık 420 bin TEP ısı enerjisi üretilmektedir (Mauthner ve Weiss, 2013).

Söz konusu edilen bu belirlemeler doğrultusunda Türkiye'nin güneş enerjisi ile ilgili hedefi, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayımlanan "Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Belgesi" kapsamında aşağıda verildiği gibi ifade edilmektedir (Topçu ve Yüksel, 2012).

"Hedef, güneş enerjisinin elektrik üretimi için de kullanılması uygulamasının yaygınlaştırılması ve ülke potansiyelinin azami ölçüde değerlendirilmesinin sağlanmasıdır. Buna yönelik olarak da; güneş enerjisinin elektrik üretiminde kullanılması konusundaki teknolojik gelişmeler, yakından takip edilecek ve uygulanacaktır. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmesini özendirmeye yönelik olarak, ilgili mevzuatta da düzenlemelerde bulunulması öngörülmektedir."

TÜBİTAK – MAM, İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve İnosol Enerji işbirliğiyle İkitelli'de kurulan güneş enerjisi santrali de, Türkiye'nin ilk güneş enerjisi santrali olma niteliğine sahiptir. Tamamı yerli üretimle hayata geçirilen ve Türk mühendisler tarafından tasarlanan projeye endeksli olarak faaliyetlerine bağlayan güneş enerjisi santrali, 500 kW/h kapasiteye sahiptir. Tasarımı 6.830 saat mühendislik faaliyetleri kapsamında yapılan güneş enerjisi santrali, yaklaşık 4 Milyon TL maliyetle tamamlanmıştır (Topçu ve Yüksel, 2012).

İkitelli Güneş Enerji Santrali haricinde, Türkiye'de bulunan "şebeke bağlantılı (grid – connected)" fotovoltaik sistemler de aşağıda verilen kapsamda ifade edilebilmektedir (Kaplunan, 2014).

1. İstanbul – İstanbul Özyeğin Üniversitesi Mühendislik Fakülte Binası – 13 kW/h kapasiteli grid – conncted fotovoltaik sistem;
2. Ankara – Halk Enerji Limited Şirketi – 420 kWh kapasiteli grid – conncted fotovoltaik sistem;
3. Konya – IBC Solar Limited Şirketi – 200 kWh kapasiteli grid – conncted fotovoltaik sistem;
4. Muğla – Anel Enerji Limited Şirketi – 105 kWh kapasiteli grid – conncted fotovoltaik sistem;

5. Bursa – Gehrlicher Merk Solar Limited Şirketi - 96 kWh kapasiteli grid – connetted fotovoltaik sistem ve
6. Eskişehir – Halk Enerji Limited Şirketi – 95 kWh kapasiteli grid – connetted fotovoltaik sistem.



BÖLÜM 3

YASAL ÇERÇEVE

Cumhuriyet'in ilk yıllarında yenilenebilir enerji üretimi konusunda yeterli bilgi birikimi, ekonomik birikim ve yapılanmanın olmaması sebebiyle yenilenebilir enerji konusu göz ardı edilmiştir. 1980'lerden itibaren daha çok rüzgar enerjisi ve jeotermal enerjiye yönelim sağlanırken, 1998 yılında ilk devreye alınan 1,5 MW gücündeki rüzgar enerjisi tesisi kuruluşu ile güneş enerjisi alanındaki çalışmalara da hız verilmesi adına cesur adımlar atılma kararları alınmıştır. Ancak tam olarak 2000'li yıllardan sonra güneş enerjisine yapılan yatırımların nicelik ve niteliğinde artışa gidilmiştir. Fotovoltaik üretim tesislerinde 2013 yılında üretim tesisi yokken, 2018 senesinde özellikle lisanssız üretim tesisi sayısı oldukça artmıştır. 2018 senesinde 81,66 oranında lisanslı, 5.016,99 oranında lisanssız tesis sayısında artış sağlanmıştır (YEGM, 2020).

3.1 Mevzuat

5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun (YEK Kanunu), 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ve 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunları, Türkiye'de yenilenebilir enerji alanında çıkarılan önem arz eden kanunlardır. 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun'un birinci maddesinde de belirtildiği gibi temel amaç yenilenebilir enerjinin Türkiye'de yaygınlaşmasını sağlamak, hem güvenilir hem de ekonomik bir enerji üretim politikasıyla hareket etmektir. 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun'un da beşinci maddesinde yenilenebilir enerji ile üretim yapan firmalara Yenilenebilir Enerji Kaynak Belgesi (YEK Belgesi) verileceği belirtilmiş ve bu firmalar için fiyat teşvik uygulamasına geçileceği bildirilmiştir. Türkiye'de yenilenebilir enerji adına ortaya konulan birçok teşvik çalışması olsa da sabit fiyat teşviki en istikrarlı şekilde uygulanan teşviktir. Bu teşvik kapsamında Lisans sahibi olan gerçek ve tüzel kişilerin 31.12.2020' tarihinden önce başvurması durumunda sabit fiyat sistemi uygulanacağı garanti edilmiştir. Bu sabit fiyat garantisi

Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi için 13,3 kWh/ ABD doları -cent olarak hesaplanmıştır. Tesis tipinin fotovoltaik enerjiye dayalı üretim tesisinde ise yurt içinde gerçekleşen imalata göre (PV panel entegrasyonu ve güneş yapısal mekaniği imalatı, PV modülleri, PV modülünü oluşturan hücreler, invertör, PV modeli üzerine güneş ışınını odaklayan malzeme) yerli katkı ilavesi 0.5-3.5 ABD Doları arasında değişmekteken; yoğunlaştırılmış enerjiye dayalı üretim tesisinde ise yine yurt içinde gerçekleşen imalata göre yerli katkı ilavesi 0.6-2.4 ABD Doları arasında değişmektedir (YEGM, 2018).

Karataş (2009) Türkiye’de güneş enerjisi alanında yapılan teşvik çalışmalarının yetersiz kaldığını ifade etmiştir. Bu alanda yapılacak olan çalışmalarda ısı sistemleri ile sıcak su sağlanması adına yapılan çalıştırmalar artırılmasını, doğal aydınlatmada güneş enerjisinden faydalanma yoluna çalışmalar yapılmasını, fotovoltaik sistemler üzerine teşvikler artırılmasını önermiştir (Karataş, 2009). Bunun yanı sıra teşvik eğitimleri de verilmesi bu kapsamdaki çalışmaların geleceği için önem arz ettiğini vurgulamıştır (Karataş, 2009).

3.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM)

Türkiye’de kanun ve mevzuatların yetersiz kalması sebebiyle yenilenebilir enerji alanındaki çalışmalarda teşvik sistemleri üzerine daha fazla düşünölmeye başlanmıştır. 08.01.2011 tarihinde yayımlanarak yürürlöğe giren 6094 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun ile birlikte teşvik kapsamında artırma projeleri yapılmıştır. Bu projelerden biri de YEKDEM Projesidir. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM), Türkiye’nin yerli ve milli enerji politikası kapsamında kurulan, LÜY (Lisanssız Elektrik Üretimi Yönetmeliği) kapsamında yenilenebilir enerji kaynaklarından üretim yapan kişi ve firmaların görevli tedarik şirketleri aracılığıyla faydalanabildikleri bir sistemdir. Bu sistemin özü; fiyatlar, süreler ve bunlara yapılacak ödemelere ilişkin düzenlemeleri içermektedir. 2011 senesinde 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun kapsamında faaliyetleri düzenlenen YEKDEM, 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun (YEK Kanunu) çerçevesinde belirlenen elektrik üretimi kaynaklarıyla üretim yapan tesislerin faydalanabilecekleri bir mekanizmadır.

Bu tesislerin YEKDEM’de yer alan YEK belgesini alabilmeleri için belli şartları yerine getirmeleri gereklidir. Bu şartlar arasında lisans kapsamındaki elektrik üretim ve satışlarının takibinin yapılması, emisyon ticareti adına piyasalardaki satışta kaynak türünün belirlenmesi ve düzenli takibinin sağlanması, bu takip sürecinde sorun yaşanmaması bu şartlar arasındadır (Özgür, 2018).

YEKDEM projesi; kendi yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi yapmak isteyen ve satışa çıkarmak isteyen firmalar için oldukça önemli bir teşvik olup, bu teşvik kapsamında uygulanacak fiyatlar sabittir. YEK kanunu kapsamında tesislere uygulanacak fiyatlar elektrik üretiminde kullanılacak kaynağa bağlı olarak değişmektedir. Hidroelektrik ve rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisleri için 7,3 UScent/kWh, biyokütle ve güneş enerjisine dayalı üretim tesisleri için ise 13,3 UScent/kWh, jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisleri için 10,5 UScent/kWh şeklinde belirlenmiştir. İlgili fiyatlar 18/5/2005 tarihinde yürürlüğe giren YEK Kanunu ile belirlenmiş olup 31/12/2020 tarihine kadar işletmeye girmiş ya da girecek olan tesisler için uygulanır. Aynı zamanda kanunda belirtilen üretim tesisleri de aynı şekilde fiyatlandırmadan 10 sene süreyle faydalanabilmektedirler (Kanat, 2019).

YEKDEM projesi yıllar içerisinde Türkiye’de yenilenebilir enerji alanında verimlilik sağlamış bir projedir. Proje kapsamında 2011 yılından bugüne gelindiğinde açılan tesis sayısı ve kurulu güç miktarında artış sağlanmıştır. Sadece 2011 senesinde toplamda 20 elektrik tesisi kurularak 610 MW’lık kurulu güç gerçekleştirilmiştir. Güneş enerjisi kapsamında bir değerlendirme yapıldığında 2012 senesinde 100’ün altında, 2013 senesinde 200’ün üstünde ve 2018 senesine gelindiğinde 450’nin üstünde tesisin açıldığı bilgisi kayıtlara geçmiştir (Kanat, 2019).

EPDK’nın yayınlamış olduğu raporlar ışığında Türkiye’de güneş enerjisi üzerinden kurulu güç miktarının (MWh) her geçen gün arttığı sonuçlarına ulaşılmıştır. 2014 senesinde kurulu güç 40 MWh iken, 2015 senesinde 293 MWh, 2018 senesinde ise 4879 MWh’dir. Sadece güneş enerjisi göz önüne alınarak bu oranın her geçen gün artması yatırımların ve teşviklerin zaman içerisinde geri dönüşümünün alındığını da açıkça göstermektedir (EPDK,2018).

3.3. Uluslararası Sözleşmeler

Türkiye’deki güneş enerjisi kullanımında uluslararası sözleşmelerin yükümlülükleri

de oldukça önem arz etmektedir. Özellikle değişen iklim koşulları göz önüne alındığında fosil kaynakların kullanımını azaltma gerekliliği yenilenebilir enerjiye yönelik çalışmaların da önünü açmıştır. Bu çerçevede 1980'lerle başlayan çalışmalar 1992 yılında Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) ve 1997 yılında Kyoto Protokolü (KP) anlaşmalarının imzalanmasını gerekli kılmıştır. Türkiye 2004 senesinde Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne (BMİDÇS), 2009 senesinde ise Kyoto Protokolü'ne imza atarak yenilenebilir enerji kapsamındaki çalışmalarda uluslararası standartlar çerçevesinde çalışmalarına hız vermiştir. Bu sözleşmeler kapsamındaki en önemli çalışma atılımları Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı'nda (2001-2005) yer almıştır. O süreçten günümüze gelindiğinde enerji israfı ve çevre kirliliğini azaltma adına güneş enerjisini destekleme, kurulacak tesislere katkıda bulunma amacıyla mevzuat ve çalışmalar hızlandırılmıştır (Canka Kılıç, 2015).

Türkiye'de güneş enerjisi alanındaki çalışmalar noktasında Paris Anlaşması'nın da öneminden bahsetmek gereklidir. 2015'te Paris'te yapılan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi içerisinde yer alan Paris Anlaşması, küresel ısınmanın olumsuz etkileriyle baş etme amaçlı imzalanan bir anlaşma olup anlaşmaya taraf olan ülkelerce sera gazı emisyonlarının aşağı çekilmesi adına temiz enerji kullanımını teşvik etmektedir. Bu anlaşmaya taraf olan ülkeler içerisinde Türkiye de yer aldığı için 2015 senesinden sonra doğrudan anlaşma gereğince yenilenebilir enerjiye yönelim sağlanmıştır. 2015 senesinden sonra özellikle yeni yapılan binalara Enerji Kimlik Belgesi (EKB) uygulamasına gidilmiştir. Sürdürülebilir yeşil binaları teşvik eden bu çalışma ile iki sene içerisinde EKB verilen bina sayısı dört kat artmıştır (ÇŞB,2020). T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2023 senesi için yayınladığı raporda binalarda yenilenebilir enerji kaynağı kullanımını %20'lere çıkarmayı, enerji verimliliği uygulamalarıyla enerji tüketiminde %10'luk bir enerji tasarrufu sağlamayı ve yeşil bina sistemini yaygınlaştırmayı amaçladıklarını duyurmuşlardır. 2020 yılında Enerji Kimlik Belgesi (EKB) verilen bina sayısının 1.100.000 olması da bu plan doğrultusunda önemli bir adım atıldığını da ortaya koymaktadır. "Daha Çok Yerli, Daha Çok Yenilenebilir" sloganıyla hareket eden bakanlık raporunda, Güneş enerjisine dayalı elektrik kurulu gücünün (MW) hedefe katkısı %25 oranında gösterilmiş, plan başlangıç döneminde 5.063 güneş enerjisi üretim tesisinin 2023'teki sayısının 10.000 olması hedeflenmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik

enerjisi üretimindeki toplam enerji oranının 2018 yılındaki %32,5 olan payının 2023 yılına kadar %38,8'e çıkarılması da hedeflenmiştir (Köse, 2018).

Türkiye'de Paris Anlaşması'yla birlikte güneş enerjisi çalışmaları Mega Projeler, Çatı Üzeri ve Zemine Monte sistemler olmak üzere üç başlıkta gelişim göstermiştir. Mega projeler kapsamında verimlilik seviyesi yüksek projeler göz önüne alınmıştır. Konya Kızören Güneş Enerji Santrali, Cihanbeyli Güneş Enerji Santrali, Sivas Güneş Enerji Santrali, Altıntekin Güneş Enerji Santrali, Savcılı Güneş Enerji Santrali ve Türkoğlu Güneş Enerji Santrali projesi bu kapsamdaki projelerdir. Çatı üzeri sistemler; çeşitli tesislerin çatısına kurulan ve tesisteki enerji üretimini kolaylaştıran sistemlerdir. ÇMS Tekstil Güneş Enerji Santrali, Afyon TSO Güneş Enerji Santrali, Eren Tarım Güneş Enerji Santrali, Kırteks Güneş Enerji Santrali bu sistemlere örnek olarak sayılabilmektedir. Zemine monte projeler ise ortalama 1 MW kapasiteye sahip şekilde üretim yapılmasını sağlayan projelerdir. Karapınar Güneş Enerji Santrali, Gebze Güzeller Organize Sanayi Güneş Enerji Sistemleri, Adıyaman Güneş Enerji Santrali, Gaziantep Güneş Enerji Santrali projeleri bu kapsama girmektedir (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2020).

Göz önüne alınan kaynaklar doğrultusunda yenilenebilir enerji içerisinde en büyük çalışma sahası hidrojen enerjisi olarak görülse de güneş enerjisinin fosil yakıt kullanımını azaltması ve birçok tesiste elektrik kullanımını başta olmak üzere çeşitli alanlarda avantaj sağlaması sebebiyle tercih edilme düzeyi artmaktadır. Dolayısıyla Türkiye coğrafi konumu sebebiyle güneşlenme süresi bakımından barındırdığı avantajı bu enerjinin kullanımına yönelik çalışmalarla başlatmıştır. Bu çalışmaların başlamasının en önemli sebebi Türkiye'nin gelişmekte olan bir ülke olarak ekonomisini geliştirme planı ile taraf olduğu uluslararası sözleşmeler doğrultusunda çevreye verilen zararını da daha azaltma gayretidir. Bu kapsamda Türkiye'de güneş enerjisini desteklemek adına çıkarılan kanunlar, YEKDEM projesi ve uluslararası sözleşme hükümleri Türkiye'de güneş enerjisine yapılan yatırımı her geçen gün desteklemekte ve verimlilik seviyesini yükseltmektedir (Acaroğlu, 2013).

BÖLÜM 4

FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

Günümüzde güneş enerjisinin elektrik ve ısı gücünden birçok alanda yararlanıldığı için enerji üretiminde oldukça fayda sağlayan ve üzerine düşülen bir konu olarak ön plana çıkmaktadır. Güneş pilleri aracılığıyla güneşten gelen enerjinin bir başka enerji türüne çevrilerek kullanılması doğrudan doğal kaynaklarla, daha az masraflı enerji üretimi sağladığı gibi, aynı zamanda doğaya zararlı karbondioksit salınımının da önüne geçerek çevrenin daha az kirlenmesine olanak tanımaktadır. Karbondioksit emiliminin daha az olmasıyla birlikte kısa vadede hava kirliliğinden, uzun vadede iklim değişikliklerine kadar hemen hemen her anlamda enerji üretimi esnasında oluşacak olumsuz durumun önüne geçilir (Öztürk ve Kaya, 2019).

Fotovoltaik; kelime olarak Yunanca photo (ışık veren) kelimesi ile elektrik akımını geliştiren makine tasarımcısı Volt'un soyadından birleşerek oluşturulmuştur. Fotovoltaik güneş ışınlarının doğrudan elektrik enerjisine dönüştürülmesidir. Fotovoltaik sistemlerde hücreler silikon, arsenit, kadriyum gibi yarı iletken maddeleri kullanarak bu ışınları elektrik enerjisine dönüştürmeyi sağlar. Bu sistemler temelde hibrit sistem olarak da adlandırılırken, sistemin temel bileşenleri; güneş pili, termal toplayıcılar, pompa, elektrik ve ısı parametreleri şeklindedir (Soysal, 2019).

Fotovoltaik etkinin varlığı 1939 senesinde Fransız fizikçi Alexandre-Edmond Becquerel tarafından yapılan bir deneyle birlikte keşfedilmiştir. AgBr veya AgCl gibi ışığa duyarlı iki elektrotun aydınlatılmasıyla yapılan çalışmada fotovoltaik etki gözlemlenmişti. Ardından 1876 senesinde G.W. Adams ve R.E. Day tarafından aynı durumun selenyum kristalleri üzerinde denenmesi gerçekleştirildi. Çalışmalar devam ederken 1905 senesinde Einstein'in bir makalesinde ışığın foton adı verilen enerjiden oluştuğunu iddia etmesi çalışmalara paralel bir gelişme olmuştur. 1932 senesinde ise Kadmiyum selenit esaslı fotovoltaik etki tam anlamıyla gözlemlenmiştir. Ancak bu konudaki en önemli adım 1954 senesinde Gerald Pearson, Daryl Chapin ve Calvin Fuller'in silikon güneş hücreyi icat etmeleriyle gerçekleşmiştir. Silikon güneş pili

önceleri %4 oranında verimlilik sağlarken, daha sonra bu oranlar %11'e çıkmıştır. Bu aşamayla birlikte dünyada fotovoltaik sistemlere ilişkin üretimler arttı (Özgün, 2016).

Fotovoltaik hücreler (PVCs), fotovoltaik etki yoluyla güneş ışınlarını elektrik enerjisine dönüştürmektedirler. Bu dönüşümde n-tipi ve p-tipi farklı elektron yoğunluğuna sahip iki bölgenin birleşimi temeli alınır. Güneşten gelen foton adındaki enerjinin elektronlar tarafından absorbe edilmesi ile başlayan süreç, elektronların bağlarının koparılması ve elektron çiftleri üretilmesiyle devam eder. Fotovoltaik etkiyle birlikte oluşan enerjinin temel mantığında ışık tanecikleri olan fotonların yarı iletken güneş pillerine çarpması ve burada atomlardan elektronları serbest bırakarak elektrik gerilimi oluşturmaları vardır (Baş, 2016).

4.1. Fotovoltaik Sistemlerin Çalışma Prensipleri

Fotovoltaik sistemlerin çalışması elektronların yayılması şeklinde anılan fotovoltaik etkiye bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bu etkinin yayılma biçimine bağlı olarak elektrik enerjisi oluşmaktadır. Fotovoltaik hücreler yarı iletken yapıdan oluşan durumuna bağlı olarak p-tipi ve n-tipi yüklerin hücredeki hareketi elektrik akımının akışını sağlamaktadır. Bu sistemlerin çalışma prensibine geçmeden evvel sistemlerin çalışmasını etkileyen hususlar ele alınacaktır.

Fotovoltaik sistemlerin çalışma prensiplerini etkileyen birçok husus bulunmaktadır. Bu hususlar; çevresel faktörler, fotovoltaik sistem faktörleri ve PV sistem faktörleri olmak üzere üç kategoride değerlendirilebilir (Tablo 4.1).

Tablo 4.1. Fotovoltaik Sistemlerin Çalışmasını Etkileyen Faktörler

Çevresel Faktörler	PV Sistem Faktörleri	PV Sistem Kurulum Faktörleri
-Güneş ışınları /Radyasyon -Modül sıcaklığı -Toz birikimi -Gölgeleme -Modülün kirlenmesi	-Pil verimliliği -Modül yapısı -PV Malzemesi -PV Atom yapısı -Modül verimliliği	-Kablo özellikleri -Eğitim açısı veya yönü -Uyumsuzluk etkileri

Fotovoltaik sistemlerin çalışmasını etkileyen faktörler arasında en önemli faktör güneş ışınları/radyasyon miktarıdır. Nitekim fotovoltaik sistem tarafından üretilen enerji doğrudan güneşten geldiği için maksimum güneş ışığına bağlı olarak sistemin çalışma verimliliği değişecektir (Baş, 2016).

Fotovoltaik sistemlerin çalışma performansını etkileyen en önemli hususların başında çevresel faktörler ve bu grubun içerisinde yer alan güneş ışınları gelmektedir. Fotovoltaik bir sistem tarafından üretilen enerjinin ana kaynağı güneş ışınları olduğu için, bu ışınların ne kadar miktarda geldiği de enerji miktarında temel önemli hususlar arasındadır. Elektrik enerjisinden kalan kısmın ısı enerjisine dönüştürüldüğü göz önüne alındığında modül ısısı da bu noktada önemli bir çevresel faktör olarak görülür. Fotovoltaik sistemin verimliliği adına çevreden gelen toz, kir, yağ gibi şeylerin modülden uzak tutulması, modülün kirlenmesinin önüne geçilmesi gereklidir. Modüller genellikle yağmur suları ile yıkanırken, çevrenin kirlenme durumu, kir ve pisliklerin yağmur suyuyla modüle zarar vermesinin önlenmesi adına modül temizliğine dikkat edilmelidir. Çevresel faktörler arasında son olarak güneş ışınlarıyla da doğru orantılı şekilde gölgeleme sayılabilir. Temel enerji kaynağını güneş enerjisinden alan modül, gölgelendiğinde mevcut akış değişir ve fotovoltaik verim düşer. Bu nedenle bölgedeki ağaç dalı, anket vb. gölge oluşturabilecek nesnelerin konumuna dikkat edilmelidir (Baş, 2016).

Fotovoltaik sistemlerin çalışma performansına etki eden bir diğer husus fotovoltaik sistem faktörleridir. Modülün güç çıkışını etkileyen modül yapısı, fotovoltaik sistemde kullanılan pilin yapısı, pil verimliliğinin sağlanıp sağlanamaması, fotovoltaik sistemlerin malzemesi, silikon, galyum arsenit (GaA'lar), bakır indiyum diselenid ($CuInSe_2$), kadmiyum tellürür ($CdTe$), indiyum fosfit gibi malzemelerden hangisi kullanılarak yapıldığı da verimliliği etkiler. Nitekim daha sonra fotovoltaik sistem türlerinde de görüleceği üzere kimi sistem türleri malzemeye bağlı olarak daha fazla enerji verimliliği sağlamaktadır. Bunların arasında monokristal hücrelerin malzeme bakımından polikristal hücrelere üstünlüğü sayılabilir. Fotovoltaik sistemin atom yapısı, mono-kristalli, poli-kristalli, amorf veya nano olması hücre verim ve verimliliğini etkiler. Bu hususta da yine monokristal ve polikristal hücreleri örnek gösterilebilir. Monokristal hücrede %24 hücre verimi, %13-17 modül verimi varken, polikristal hücrede ise verim %18, modül verimi %1-15 civarındadır. Bu nedenle hücre verimliliği de enerji verimliliğini etkileyici bir faktördür (Mehrtash vd. 2012).

Fotovoltaik sistemlerin çalışma performansına etki eden son husus olarak ise kurulum faktörleri sayılabilir. Sistemin kurulum bileşenleri çalışma prensibinde etkili olduğu gibi performans üzerinde de etkilidir ki bu bileşenler arasında kablolar, modülün yönü, uyumsuzluk, takip ve MPPT gibi etkenler rol oynamaktadır. Kabloların seçiminde

bilhassa yüksek ısıya dayanıklı kablolar seçilmelidir. Fotovoltaik enerjinin elektrik ve ısıya dönüşüm sürecinde ortam gerilimi ve yüksek ısınmaya dayanmaları çok önemli bir husustur. Modüllerin kurulurken eğimleri, yönleri, birbirine seri ve paralel şekilde kurulmaları da yine üretilen enerjiye tesir etmektedir (Baş, 2016).

4.2.Fotovoltaik Modüller

Öztürk ve Küçükerdem (2018) fotovoltaik (PV) hücrelerini üç kategoride sınıflandırmışlardır: Bunlar; birinci kuşak PV hücreler, ikinci kuşak PV hücreler ve üçüncü kuşak teknolojiler şeklindedir. Birinci kuşak PV hücreler yarı iletken özellikleri ve düşük maliyette olmaları sebebiyle güneş hücresi üretiminde kullanılan kristal silisyum malzemenin kullanılmasıyla üretilmektedirler. Birinci kuşak PV hücreler, kristal silikon (c-Si) hücreler olarak da değerlendirilir ve Tek kristal (mc-Si) ve Çok kristal (pc-Si) olmak üzere ikiye ayrılır. İkinci kuşak PV hücreler ise ince film güneş hücreleri olup, birinci kuşak PV hücrelere göre verimlilikleri çok daha düşüktür. Amorf silisyum (a-Si) esaslı ince filmler, kadmiyum tellurid/kadmiyum sülfür (CdTe/CdS) güneş hücreleri ve Bakır İndiyum Galyum Selenit (CIGS) güneş hücreleri de bu gruba dahil olup, bu kategorideki hücreler cam, araba ve bina entegrasyonlarında kullanıma uygundur. Üçüncü kuşak teknolojiler ise son teknolojik gelişmelerle verimlilikleri artırma amacıyla yapılan güneş hücreleridir. Organik, boya duyarlaştırıcılı organik, Kuantum noktaları ve Perovskite bu gruba girmektedir (Öztürk ve Küçükerdem, 2018).

Tablo 4.2. PV Hücrelerin Sınıflandırılması

Birinci Kuşak PV Hücreler	Kristal Silikon (c-Si) Hücreler -Tek kristal (mc-Si) -Çok kristal (pc-Si)
İkinci Kuşak PV Hücreler	İnce Film Teknolojileri -Amorf silikon (a-Si) -Kadmiyum tellür (CdTe) -Bakır İndiyum Galyum (di)Selenyum (CIGS) -Bakır İndiyum, (di)Selenyum/(di)Sülfür(CIS) -Çok eklemlili (a-Si/mc-Si)
Üçüncü Kuşak Teknolojiler	-Organik -Boya duyarlaştırıcılı organik -Kuantum noktaları → Perovskite

Tablo 4.2’de gösterilen sınıflandırma daha çok fotovoltaik hücrelerin üretim sıklığı ve gelişen teknolojiye bağlı olarak değişimi göz önüne alınarak yapılan bir sınıflandırmadır. Bu sınıflandırmanın dışında fotovoltaik hücrelerin sınıflandırılmasını ele alırken; monokristal güneş hücreleri, polikristal güneş hücreleri, ince film güneş hücreleri, saydam güneş enerji panelleri, esnek güneş enerji panelleri, akülü güneş enerji panelleri, invertörler ve şarj kontrol cihazı şeklinde de bir değerlendirme yapmak mümkündür.

4.2.1. Monokristal Güneş Hücreleri

Monokristal güneş hücreleri, birinci nesil fotovoltaik güneş hücreleri arasında yer alan, dolayısıyla en eski ve en sık kullanılan teknoloji türleri arasındadır. Tek kristalli güneş hücreleri olarak da anılan bu hücreler, Czochralski metodu kullanılarak yapılır. 1971 senesinde geliştirilen bu metoda göre silisyum dioksit (SiO_2) bileşiği bir kaptaki yüksek ısıda eritilir ve bu malzemeye sokulan bir iğnenin soğuk alana çıkarılmasıyla tek kristalli uzun bir silindir elde edilir. Bu silindir malzeme 0,2-0,3 mm kalınlıklarında üretilir. Koyu – mavi ve siyah renklerde oluşan bu silindirler p tipi yarı iletken malzeme olarak güneş hücrelerinde kullanılır. Bu malzeme n-tipi yarı iletken malzemeyle de birleştirildiğinde Monokristal Fotovoltaik Paneli meydana gelir (Bayrak vd. 2019).

Bu yöntemde ark ocaklarından silisyum oksit çeşitli reaksiyonlardan geçirilerek saf silisyum üretilir. Tek kristal yapıya sahip olarak saf silisyuma silisyum parçası katılır ve silisyum külçesi elde edilir. Bloklar haline getirilen bu külçenin en son pil şeklini almasıyla güneş pilleri oluşturulur. En yaygın kullanılan piller bu kategoridedir (Gardas ve Tendolkar, 2012).

Monokristal hücre küçük alanda büyük enerji üreten, bu nedenle enerji modülü olarak diğer modüllerden pahalı olan bir hücre türüdür. Özellikle sıcak iklimlerde çok daha fazla verim elde edilen bu hücre türünde %24 oranına kadar verimlilik alınabilmektedir. Olumsuz yönlerinin başında ise gölge oluşması halinde güneş modülünün tamamının veriminin düşmesi sayılabilir (Mehrtash vd. 2012).

4.2.2. Polikristal Güneş Hücreleri

Birinci nesil fotovoltaik güneş hücreleri arasında yer alan polikristal güneş hücreleri, kare halinde küçük silikon dökümünden yapılır ve bu silikonların ince şekilde

soğutulup katılaştırılmasıyla polikristal hücre elde edilir. Homojen yapıda olmayan bu hücreler yüksek verimlilik sağlamaz. Ancak monokristal hücrelere oranla yapımının kolay olması daha maliyetli olmasını sağlar. Bu sebeple günümüzde kullanılan güneş hücrelerinin genellikle %68'inden fazlası polikristaldir. Kapladığı alana kıyasla ürettiği enerji miktarı az olan polikristal hücreler %15 civarında verimlilik sağlamaktadırlar (Öner vd. 2016).

4.2.3. İnce Film Güneş Hücreleri

İnce film güneş modülleri genellikle estetik görüntüsü sebebiyle tercih edilen, verimlilik oranı %7 civarında olan, en hafif ve en kolay montaj imkânına sahip olan hücrelerdir. Bu hücrelerin modülleri çok fazla tercih edilmemektedir. Bunun temel sebebi hem düşük verimlilik oranına sahip olması, hem de çok fazla yer kaplamalarıyla ilgilidir (Mehrtash vd. 2012).

4.2.4. Saydam Güneş Panelleri

Enerji verimliliği oldukça yüksek olan saydam güneş panelleri, kimyasal yapısı hidrojen, oksijen, karbon gibi maddelerden meydana gelen, verimliliği oldukça yüksek bir enerji paneli türüdür. Bu enerji panellerinde herhangi bir cam yüzeye saydam solar panelin kaplanmasıyla oluşturulur. Dolayısıyla dışarıdan yapılan bu ekleme cam yüzeyin elektrik üretmesine olanak sağlar. Birçok güneş paneli çeşitlerine kıyasla enerji verimliliği oldukça yüksek olan bu paneller çevresel faktörlerden de daha az etkilenir. Örneğin; gölgeleme hususunda fotovoltaik enerjinin kesintiye uğraması güneş panelinin durumunu daha az etkiler (Mehrtash vd. 2012).

4.2.5. Esnek Güneş Panelleri

Kullanım alanı oldukça fazla olan esnek güneş enerji panelleri, mevcut güneş enerji panellerine göre üretim yapısına bağlı olarak bu şekilde adlandırılan, hafif ve esnek malzemeden üretilen, bu nedenle oldukça hafif, ortalama 2 kg civarında bir ağırlığa sahip olan enerji panelleridir (Osmanbasic, 2019).

4.2.6. Akülü Güneş Panelleri

Güneş enerji sistemlerinde depolama aracı olarak kullanılan araçların başında solar aküler gelmektedir. Bu sistemde akü içerisinde güneş enerjisi depolanır. Kimyasal enerjiye çevrilerek yapılan bu depolamada elektriğin kullanılmak istenmesi halinde ise

elektrik akımı şebekeye iletilir ve burada enerjiye dönüştürülerek kullanılır. Akülü güneş enerjisi sisteminde akü istenilen yere taşınabilir ve götürülen her yerde de kullanılabilir (Altuntaş, 2019). Akülü güneş enerjisi panelleri arasında en fazla tercih edilen akü çeşidi jel aküdür. Oldukça uzun süre dayanıklılık gösteren jel aküler, uzun süre dayanıklılık gösteren yapılara sahiptirler. İlk yatırım maliyetleri yüksek olmakla birlikte, daha sonrasında kurulan sistemden elde edilen verimlilik oranı artar ve bu sebeple ilk yatırım maliyeti de sistem içerisinde amorti edilerek karşılanır (Bostancı, 2009).

4.2.7. İnvvertörler

İnverter kelimesinden dilimize geçen invertör, güneşten gelen fotovoltaik enerjinin sabit ve değişken genlik ve frekanslı AC gerilimi elde etmesi için kullanılan yapıyı ifade eder. İnvvertör bu özelliği sebebiyle güç dönüştürücü olarak da tanımlanır. Özellikle güneş ve rüzgar enerjisinde, yenilenebilir enerji üzerinden elektrik elde etmek adına kullanılan invertörler, reaktif enerjiyi azaltarak verimliliği düşüren faktörleri ortadan kaldırır (Altuntaş, 2019).

4.2.8.Şarj Kontrol Cihazı

Şarj kontrol cihazı, akülerin devamlı olarak şarj edilmesini sağlayan, akü ve panel arasında bulunan bir sistemi ifade etmektedir. DC-DC düzenleyici olarak da bilinen şarj kontrol cihazı, gerilim ve akımı sabitleyerek şarj edilmelerini sağlar. Dolayısıyla enerji şarj kontrol cihazında birikir (Altuntaş, 2019). Şarj kontrol cihazı akülerden panellere ters akım akmasını önleyerek güneş panellerini korur. Bunu yaparken aynı zamanda tam şarj halini algılayarak akünün aşırı şarj olmasını da engeller. Dolayısıyla daha verimli bir enerji saklanması sağlanır. Şarj kontrol cihazı seçilirken güneş panellerinin toplam çıkış gerilimi ve akünün toplam gerilim miktarı göz önüne alınır (Bostancı, 2009).

BÖLÜM 5

KAYNAK ÖZETLERİ

Akademik anlamda güneş enerji santrallerine yönelik çalışmalar çevre ve/veya maliyet analizi olarak karşımızda çıkmaktadır. Bu çalışma bir Megavatlık güneş enerji santralinin kurulum sonrası üretim değerleri ile simülasyon analizlerin karşılaştırılmasını hedeflemektedir. Bu bağlamda, üretim kapasitesi, kurulan tesislerin verimliliği, kurulması planlanan tesislerin verimliliği/performans/ maliyet analizi gerçekleştiren çalışmalara odaklanmıştır. Bu kapsamda yayınlanan bilimsel veya yayınlanmayan akademik çalışmaların önemli bir kısmı aşağıda kronolojik olarak verilmiştir.

Çelebi (2002) bina düşey kabuğunda fotovoltaik panellerin kullanım ilkleri adlı çalışmada elektrik üreten fotovoltaik (PV) panellerin önemini vurgulamaktadır. Söz konusu çalışmada PV sistemini kullanacak olan yatırımcıların panelleri eğim derecesine ve optimum güneş açısına dikkate alarak yerleştirmelerini önermektedir. Tozlu (2004) Muğla Sıktı Koçman Üniversitesinde kurulu olan fotovoltaik sisteminin simülasyon ile reel üretim değerlerini karşılaştırmış. Elde edilen bulgular simülasyon programının sunmuş olduğu değerler ile benzer olduğunu bu anlamda simülasyon programının tutarlılığını ortaya koymaktadır.

Varınca ve Gönüllü (2006) Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeline vurgu yaparak teşvik programların çoğalmasının çevre dostu olan bu enerjinin gelişmesinde önemli bir rol olacağını belirtmektedir. Atay vd. (2009) Şanlıurfa ili için bir mikro sulama sistemi (MSS) kurulmasını ve söz konusu projenin ise PV sistemi ile elektrik üretmesini önermektedirler.

Campbell (2009) çalışmalarında mobil ile sabit bir güneş enerjisi santrallerin üretim ve maliyet verilerini karşılatırmışlar. Araştırmacılar mobil bir santralin bakımı sabit santrale göre daha maliyetli olacağını ve bu anlamda kar/maliyet analizi kapsamında bu sistemin yatırımcı tarafından tercih edilme konusunda tereddütler getireceğini belirtmektedirler.

Aktacir ve Yeşilata (2011) Harran Üniversitesi'nin Osmanbey Kampüsü'nde yenilenebilir enerji sistemleri kapsamında kurulan fotovoltaik sistemini tanıtmaktadırlar.

Girgin (2011) Karaman bölgesi için 5 megavat'lık bir güneş enerjisi santralin elektrik üretim değerlerini analiz etmiştir. Seçili bölge için sabit montajlı bir santral ile en yüksek verimliliği elde edilebileceğini hesaplamıştır.

Keskin (2012) şebekeden bağımsız 5 kilovat'lık sistem modellemesini oluşturmuş. PYSyst programı ile oluşturduğu modelde monokristal modülleri yüksek verimlilikleri ile ön plana çıkmaktadır.

Sekuçoğlu (2012) PVSyst ve HOMER programları kapsamında rüzgâr enerjisi, hibrit ve fotovoltaik sistemlerinin üretim değerlerini karşılaştırmıştır. Sonuç olarak bağımsız şebeke durumunda hibrit sistemlerin diğer iki sisteme göre mali açıdan daha uygun olduğunu belirtmektedir.

Bouzuenda vd. (2014) King Faisal Üniversitesi akademik araştırmalara destek vermek adına Mühendislik Fakültesi binasının çatısına fotovoltaik sistem ile elektrik üreten paneller yerleştirmiştir. Araştırmacılar ay bazında güneşlemenin yoğun olduğu bölge olmasına rağmen yüksek derecede ısıнын panellere zarar verdiğini ve bu nedenle üretim kaybına neden olduğu açıklanmaktadır.

Gösterin vd. (2014) çalışmalarında “kirlenme” kaynaklı kayıpların önemini açıklamaktadırlar. Toz, kir ve panellerin kirlenmesine neden olan diğer bileşenleri inceleyerek PVSyst programının söz konusu kirlenme kayıplarını doğru hesapladığını ve bu nedenle tahmin performansının yüksek olduğunu ifade etmektedirler.

Guo vd. (2015) Doha şehri için bir fotovoltaik sistemin performans analizini gerçekleştirmişler. Sonuç olarak toz, rüzgar ve nem, fotovoltaik sistemin üretimini ve performansını etkileyen en önemli dış etkenler olduğu vurgulanmaktadır.

Irwan vd. (2015) fotovoltaik panellerin ürettiği enerjinin bir kısmının kullanılmadığını ve böylece enerji kayıplarının oluştuğunu belirtmektedirler.

Çiftçi ve Altundağ (2017) çalışmalarında, Altınyayla, Çavdır ve Tefenni ilçelerin güneş enerjisi santrallerin kurulumu açısından yatırımcı için uygun bölgeler olarak gösterilmiştir.

Haydaroglu (2017) Dicle Üniversitesi güneş enerjisi santralının performans analizi adlı tezinde simülasyon programlarının doğruluk oranlarını test etmiştir. Elde edilen verilere göre reel ve simülasyon üretim kapasiteleri arasında aralık ve ocak ayları için tutarsızlığın var olduğunu tespit edilmiştir. Ancak mali analiz kapsamında kar/yatırım oranının 1'den büyük çıkması söz konusu projenin ekonomik anlamda uygulanabilir olduğu vurgulanmaktadır.

Aldudak (2018) farklı iller için PVsyst simülasyon programı kullanarak mevcut kurulu olan güneş enerjisi santrallerin reel üretim değerleri ile simülasyon verileri ile kıyaslamıştır. Yazar, PVsyst programının ürettiği simülasyon verileri ile reel üretim değerleri arasında oldukça benzerlik olduğu vurgulamaktadır.

Kahraman (2018) çalışmasında Kütahya ili için 1 megavat'lık güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi santrallerin fizibilite projelerini tasarlamış. Güneş enerjisi santrali için yatırımın maliyetinin yarısı kredi olarak kullanılması projeyi ekonomik anlamda uygulanabilir hale getirdiğini belirtmektedir.

Saxena ve Gidwani (2018) Rajasthan eyaletinde kurulu olan bir güneş enerjisi santralının PVsyst programı ile analizini gerçekleştirmişlerdir. Mart ayının üretilen enerji anlamında en verimli ay olduğu hesaplanmıştır.

Taktak ve İli (2018) Uşak ilinde gayrimenkul geliştirme adı altında örnek bir çalışma gerçekleştirdiklerini ifade etmektedirler. Bu kapsamda, Uşak iline bağlı olan Merkez derbent köyünde güneş enerjisi santralin kurulumu için bir fizibilite çalışması ön görülmüş. İlgili projenin yatırımcı açısından on yıl içerisinde kazançlı bir yatırım olacağı vurgulanmaktadır.

Şimşek (2018) Gölbaşı ve Torbalı için oluşturduğu simülasyon verileri ile reel üretim değerlerini karşılaştırmıştır. PVsyst programı ile oluşturulan fizibilite çalışmasının gerçek üretim değerleri ile oldukça yakın veriler elde ettiğini açıklamaktadır. Verimlilik kaybının en önemli nedeni ise yüksek sıcaklık olduğu vurgulanmaktadır.

Cavalcante vd. (2019) Brezilya'nın Mogi Mirim şehrinde bulunan güneş enerjisi santrali PVsyst programı ile analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular kasım ayının en verimli dönem olduğu tespit edilmiştir.

Akcan vd. (2020) PVsyst programı ile Batman'ın güneş enerjisi potansiyelini

incelemişlerdir. Sonuç olarak PV sisteminin elektrik üretimi açısından Batman ilinde bulunan ve çalışmalarına konu olan ilkokulun çatısı için uygulanmıştır.

Bolat vd. (2020) Lebit enerji güneş santralının simülasyon verileri ile reel üretim değerleri kıyaslanmışlardır. PVsyst programı ile gerçekleştirilen analiz sonucu fizibilite çalışması ile gerçekleşen üretim değerlerin arasından minimum düzeyde fark olduğu açıklanmaktadır. Bu anlamda yazarlar PVsyst programının önemli ölçüde üretim verileri hakkında tutarlı ve doğru bilgi sunduğunu vurgulamaktadırlar.

Öztürk (2020) sekiz ilde kurulan güneş enerjisi santralının sistem verimliliğini incelemiştir. Çalışmasında özellikle Güneydoğu, Anadolu ve Akdeniz bölgelerindeki illerde verimliliğin yüksek olduğunu ifade etmektedir.

Sarı ve Özyiğit (2020) Sivas ilinin beş ilçesinde (Gürün, Zara, Divriği, Merkez ilçe ve Yıldızeli) kurulu on güneş enerjisi santralının tasarımını ve analizini gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, seçilen güneş enerjisi santrallerinde Trina Solar ve Canadian Solar firmaların monokristal ve polikristal panelleri kullanıldığını belirtmektedirler. Ayrıca, Kaco New Enerji markasının invertörleri yatırımcılar tarafından tercih edildiği ifade edilmektedir. Bulgular Divriği ve Yıldızeli ilçelerinde kurulan santrallerin 4,5 yıl gibi kısa bir süre zarfında kendini amorti edebileceğini vurgulanmaktadır.

Sarsıcı (2020) analitik hiyerarşi süreci yöntemini kullanarak Karabük ili için güneş enerjisi santralının kurulabileceği en uygun teri tespit etmeye çalışmıştır. Analiz sonucu Eflani, Safranbolu ve Eskipazar ilçeleri güneş enerjisi santrali kurulumu açısından en uygun bölgeler olarak tespit edilmiştir.

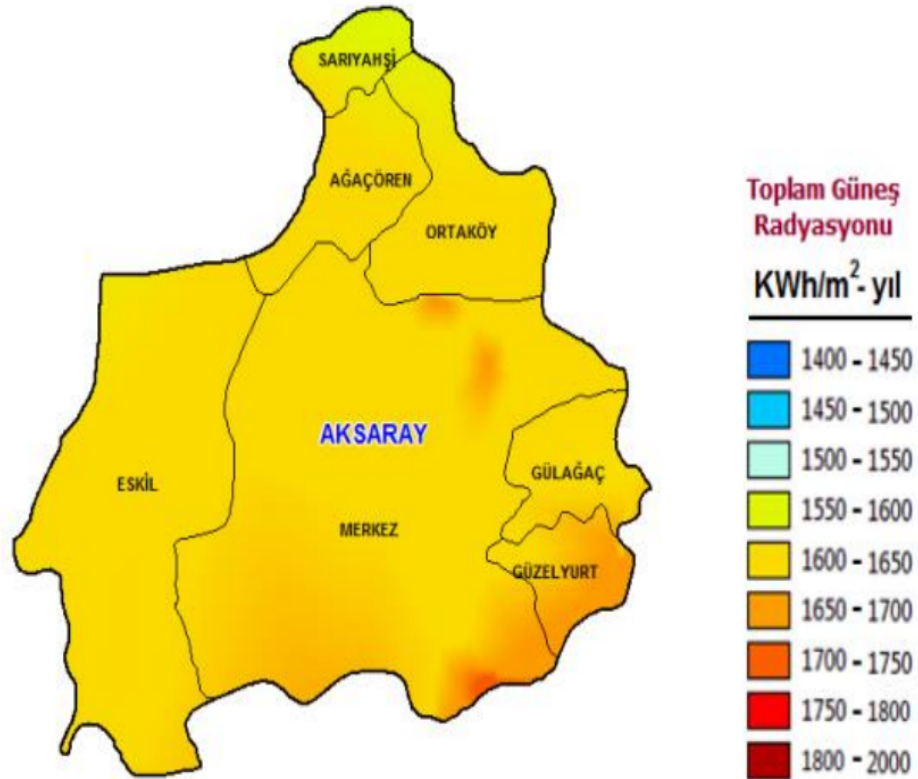
Yalçın ve Yüce (2020) Coğrafi bilgi sistemi (CBS) ve analitik hiyerarşi prosesi (AHP) yöntemini kullanarak Burdur ili için yatırım açısından uygun olabilecek arazileri tespit etmeye çalışmışlar. Sonuç olarak Ağlasun, Çeltikçi ve Bucak ilçelerinde KD-GB hat boyunca güneş enerjisi santralının kurulumu açısından uygun alan olarak gösterilmiştir.

BÖLÜM 6

MATERYAL VE METOT

6.1. Çalışma Alanı

Kurulumu yapılan Güneş Enerjisi Santrali Aksaray ilinin Merkez İlçesi Gençosman Mevkii'ne inşa edilmiştir. Santralin kurulumu yapılan Aksaray ilinde soğuk karasal iklim hakim görünmektedir. Güneşli gün sayısı 6,3 gün ile en düşük şubat ayında ve en yüksek olarak 25,7 gün ortalama ile ağustos ayında gözlemlenmektedir. Aksaray iline ait ışınım haritasını şekil 6.1.'de detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Aksaray ili Işınım Haritası (Aksaray İli'nde Yenilenebilir Enerji (Güneş Enerjisi) İhtisas Endüstri Bölgesi İlanına Yönelik Fizibilite Çalışması Raporu'ndan naklen)

6.2. Beştepe Enerji Tesisleri Mühendislik Müşavirlik Danışmanlık ve Ticaret Limited Şirketi Güneş Enerji Santrali

Beştepe Enerji Tesisleri Mühendislik Müşavirlik Danışmanlık ve Ticaret Limited Şirketi Güneş Enerji Santrali 38°25'06.6" Kuzey Enlemi ve 34°05'36.2" Doğu Boylamı koordinatlarına kurulmuş bir tesistir. Santralin gücü 1125 kWp / 1000 kW AC olarak belirtilmektedir. Sistemin kurulu olduğu bölgede (Aksaray ili, Merkez ilçesi, Gençosman Mevkii) yıllık hava sıcaklığı 0,1 °C – 24,2 °C arasında değişmektedir. Santralde 20 adet 50 kW AC çıkış gücüne sahip Avrupa menşeli invertör ile 4092 adet 275 Wp gücünde polikristal özellikte yerli üretim panel ve her bir panelde 60 adet hücre bulunmaktadır. Mevcut paneller yer yüzeyi ile 25° açı yapacak şekilde ve 4'lü yatay 11'li seri olarak konumlandırılmıştır. Her bir panel sıraları arasında (ön panel serisi ile bir arkada bulunan panel serisi arasında) 3,5 metre mesafe bulunmaktadır.

Sistemde kullanılan panel özellikleri tablo 6.1'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1. PV Panel Özellikleri

Maksimum Güç (Pmax)	275 Wp
Modül Verimi (%)	16,97
Maksimum Güç Noktası Akımı (Impp)	8,51 A
Kısa Devre Akımı (Isc)	9,08 A
Maksimum Güç Noktası Voltajı (Vmpp)	32,71 V
Açık Devre Voltajı (Voc)	39,01 V
Maksimum Sistem Voltajı	DC 1000 V
Çalışma Sıcaklığı Aralığı	-40 / +85 °C
Modül Boyutları	1652 ± 2 mm (L) x 997 ± 2 mm (W) x 42-35 ± 0,5 mm (D)
Nominal Hücre Çalışma Sıcaklığı	45 °C ± 2 °C
Sıcaklık Katsayısı αIsc (%/°C)	-0,04 %/ °C
Sıcaklık Katsayısı βVoc (%/°C)	-0,33 %/ °C
Sıcaklık Katsayısı γPmax (%/°C)	-0,45 %/ °C
Sıcaklık Katsayısı γVmpp (%/°C)	-0,45 %/ °C

6.3.Simülasyon Programları

Simülasyon programları doğru tahmin ve fizibilite çalışması gerçekleştirmek için uygun bir tasarım aracıdır (Sharma ve Gidwani, 2017).

Güneş enerjisi santrallerin amortisman (geri ödeme hızı) sürelerinin saptamak için kurulum öncesi projelendirilmiş fizibilite çalışmaların gerçekleştirilmesine ihtiyaç vardır. Yatırım öncesi hazırlanan fizibilite çalışması yatırım projenin gerçekleştirilmesi ve ekonomik anlamda uygulanabilirliği belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu bağlamda yatırımcı kurulması planlanan güneş enerjisi santralının maliyet/üretim/amortisman analizlerini hesaplayabilecek birden fazla simülasyon programları mevcuttur.

Bu bölümün ilk kısmında var olan ve araştırmacılar, mühendisler, akademisyenler tarafından kullanılan farklı simülasyon programları kısaca tanıtılacaktır. Akademik çalışmalara bakıldığında yoğunlukta PVsyst ve HOMER simülasyon programlarının kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmaya konu olan PVsyst simülasyon programı son program olarak tanıtılacaktır.

6.3.1. HOMER

Hybrid Optimization Model for Electric Renewables (HOMER) programı U.S. National Renewable Energy Laboratory (A.B.D. Ulusal yenilenebilir enerji laboratuvarı) tarafından geliştirilmiş bir bilgisayar yazılım modelidir. Söz konusu yazılım modeli üretilen elektrik enerjisini Kwh başına ortalama maliyeti hesaplar (Yılmaz vd. 2010). HOMER programı bir mikro enerji optimizasyon modelidir (Özcan, 2009). Bir enerji santralının karşılaşılabileceği farklı belirsizliklerin üstesinden gelebilmek için tasarlanan bu program gelecekte yakıt fiyatlarının değişkenliği ve mevsimsel belirsizlikleri dikkate alarak birden çok tasarım modeli sunmaktadır. Teknik açısından saat başı için bir performans analizi gerçekleştirmektedir. Söz konusu yazılım programına girilen farklı belirsizlik taşıyan parametreler çerçevesinde her bir durum için bir maliyet ve bir modelleme sunmaktadır. Hassas bir analiz içerdiğinden genelde akademik çalışmalarda rüzgar enerjisi santrallerinin kurulumu için yaygın olarak kullanılmaktadır. Sebebi ise rüzgâr hızı değişkeninin bu tip santrallerde önemli bir parametre olarak yer almasıdır. Hibrit enerji santrallerinin kurulumu öncesi içerisinde Homer programı sıkça kullanılan bir yazılım olarak karşımıza çıkmaktadır.

6.3.2. BLUESOL

Bluesol yazılım modeli fotovoltaik sistemlerin fizibilite çalışmalarını tasarlamaya yardımcı olan bir programdır. Söz konusu yazılım Microsoft'un ara yüzünü kullanarak modelleme gerçekleştirmektedir. Bu simülasyon programı özelliklerini şu şekilde özetlemek mümkündür:

- Kurulması planlanan santralin arazisini harita üzerinde otomatik olarak seçilebilmesi,
- Seçilen arazi üzerinde kurulacak santralin üç boyutlu (3D) yerleşim yerini görebilme,
- Optimum alan doldurma parametresi sayesinde alan kayıplarını minimuma indirgeme olanağı,
- Santralin kurulum aşamasında invertörlerin, panellerin, pillerin ve bağlantı kablolarının program tarafından otomatik olarak yerleştirilmesi,

Temel özelliklerinden bazılarıdır. Ancak yüzeyler üzerinde ışınlama verilerinin bir kısmının Bluesol kullanıcıları tarafından eklenmesi gölgeleme verilerinin güvenilirliği açısından tereddüt yaratmaktadır. Bu anlamda söz konusu güneş enerjisi santrallerinin simülasyon çalışmaları açısından tercih edilmemektedir.

6.3.3. SAM

Solar Advisor Model (SAM) yazılım programı konut ve ticari pazarlara yönelik fotovoltaik sistemlerin maliyet ve performans analizini sunmaktadır (Gilman vd. 2008). Söz konusu program yıllık simülasyon verilerini yansıtmaktadır. SAM yazılım programı doğalgaz ve/veya termal enerji kaynaklarını da simülasyon verilerine entegre edebilmektedir (Guzman vd. 2014). Güneş endüstrisinde çalışan araştırmacıları, mühendisleri, yatırımcıları topluluğuna yardımcı olmak amacıyla USA National Renewable Energy Laboratory, Sandia Ulusal Laboratuvarı ve ABD Enerji Bakanlığı tarafından geliştirilmiştir. SAM Fotovoltaik sistemlerin finansmanını, maliyetini ve saatlik performansını modellemektedir. Söz konusu programın öne çıkan özelliği ücretsiz olmasıdır. Akademik çalışmalarda SAM programı yoğunlukla termal santrallerin fizibilite çalışmaları kapsamında kullanıldığı görülmektedir.

6.3.4. PVGIS

Photovoltaic Geographic Information System (PVGIS) ücretsiz olarak sunulan yazılım paketidir. 2030 enerji sistemlerinin sürdürülebilirliği ve güvenilirliği projesi kapsamında Avrupa komisyonu PVGIS modelini geliştirmiştir (Constantinos vd. 2015). PVGIS ilkim verilerininin veri tabanını oluşturan bir fotovoltaiik enerji hesaplayıcısı olarak karşımıza çıkmaktadır. PVGIS özellikle Avrupa, Afrika, Akdeniz ve Güneybatı Asya bölgeleri için veritabanı sağlayan bir yazılım programıdır. Coğrafi bilgi sistemini kullanan bu program aylık ve yıllık potansiyel elektrik üretim değerlerini hesaplar. On yıllık yatay ve yayılmış radyasyon verilerini dikkate alarak veri tabanını oluşturmaktadır. Günlük ışınımın aylık ortalaması sunulmaktadır. Söz konusu veriler Avrupa'da bulunan 566 yer istasyonundan elde edilmektedir (Pavlovic vd. 2013). Ek olarak PVGIS programı bahsi geçen bölgeler için radyasyon haritalarını ayrıca ücretsiz sunmaktadır. Son olarak PVGIS programının simülasyon çalışması kapsamında, yüksek ısı, düşük ışınım, kablolama, invertör ve kombine PV sistem kayıplarını sunmaktadır.

6.3.5. PVSOL

PVSOL programı hibrit enerji sistemlerinin performans değerlendirilmesini gerçekleştiren bir yazılım modelidir. Özellikle biyokütle ve jeotermal jeneratörlerin üretmiş olduğu enerji verilerini hesaplamaktadır. Söz konusu program 10 dk'lık gölgelenme verilerini dikkate alarak gölgelendirmeyi modellemektedir. Ayrıca fotovoltaiik sistemin kurulacağı alanı görselleştirmek için üç boyutlu (3d) tasarım sağlamaktadır (Sharma ve Gidwani, 2017). PVSOL bilhassa off-grid sistemlerin kurulumu açısından güvenilir bir simülasyon analizi sunduğu bilinmektedir (Carrasco ve Hunfeld, 2010).

6.3.6. PVSYST

Cenevre Üniversitesi tarafından geliştirilmiş olan PVsyst programı bir yazılım paketidir. Teknik analizin yanı sıra ekonomik fizibilite modellemesini de sunmaktadır. Program PVGIS'in sunmuş olduğu iklim veri tabanını kullanmaktadır. Şebekeye bağlı veya bağımsız olan fotovoltaiik sistemlerin teknik/ekonomik tasarımını sunmaktadır. Kurulması planlanan güneş enerjisi santralının aylık/yıllık üretebileceği toplam elektrik enerji değeri/maliyeti hesaplanır ve oluşabilecek çeşitli kayıpları belirler.

Çalışma kapsamında PVsyst programı kullanılmıştır. PVsyst programını seçmemizdeki sebepler arasında veri tabanının gelişmiş olması, üç boyutlu tasarım yapılabilme imkanı vermesi, meteorolojik verileri çok kapsamlı olarak işleyebilmesidir.



BÖLÜM 7

BULGULAR VE TARTIŞMA

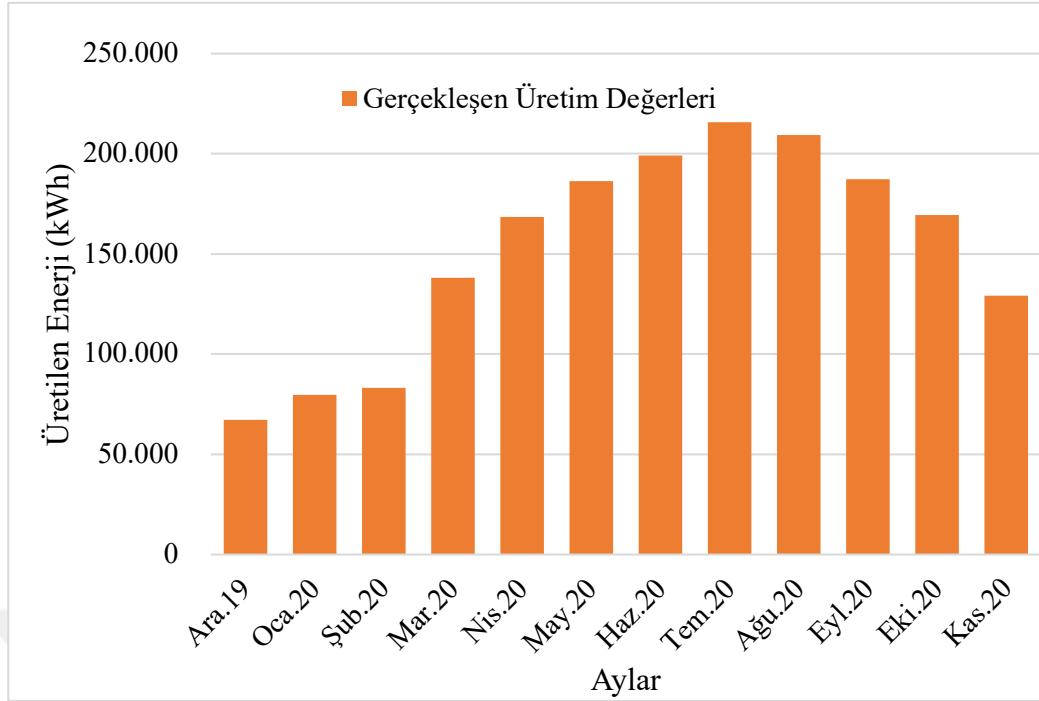
Çalışmanın bu bölümünde ilk olarak hem gerçek üretim değerleri hem de simülasyon neticesinde elde edilmesi beklenen değerler verilmiş ve kıyaslanmıştır (Bölüm 7.1 ve 7.2). Buna göre fizibilite çalışmalarında kullanılan ve bu çalışma kapsamında seçilen PVsyst simülasyon programının verimi ortaya koyulmuştur.

Daha sonra ise program girdi değerlerine bağlı olarak oluşabilecek kayıplar analiz edilerek bu kayıpların nerelerden kaynaklandığı detaylandırılmıştır (Bölüm 7.3).

7.1 Kurulu Sistem Gerçek Üretim Değerleri

Beştepe Enerji Tesisleri Mühendislik Müşavirlik Danışmanlık ve Ticaret Limited Şirketi firmasına ait GES'in 12 aylık üretim sonrası sayaçlardan alınan veriler sonucunda santralin toplam üretim miktarının 1.852 MWh olduğu görülmektedir ve bu üretimin en fazla olduğu ayların yaz aylarında gerçekleştiği saptanmıştır (Şekil 7.1). Yaz aylarında güneş ışınlarının yeryüzüne dik açı ile gelmesi sonucu oluşacak kayıpların (yansımadan dolayı oluşabilecek kayıplar, gölgelenmelerden kaynaklı oluşabilecek kayıplar, vs.) daha az olmasından dolayı olabileceği düşünülmektedir.

Yukarıda belirttiğimiz durumların yanı sıra, yaz aylarında yağışın az olması (kar yağışında panellerin üzerinin kar ile kaplı olmasından dolayı oluşabilecek kayıpların sıfır olması, yağmur bulutlarının güneş ışınlarını kesmesi, vb.) üretim miktarını pozitif olarak etkilediği düşünülmektedir.



Şekil 7.1. Kurulu olan GES'te gerçekleşen gerçek Üretim Değerleri

7.2 PVsyst Simülasyon Sonucunda Elde Edilen Tahmini Üretim Değerleri

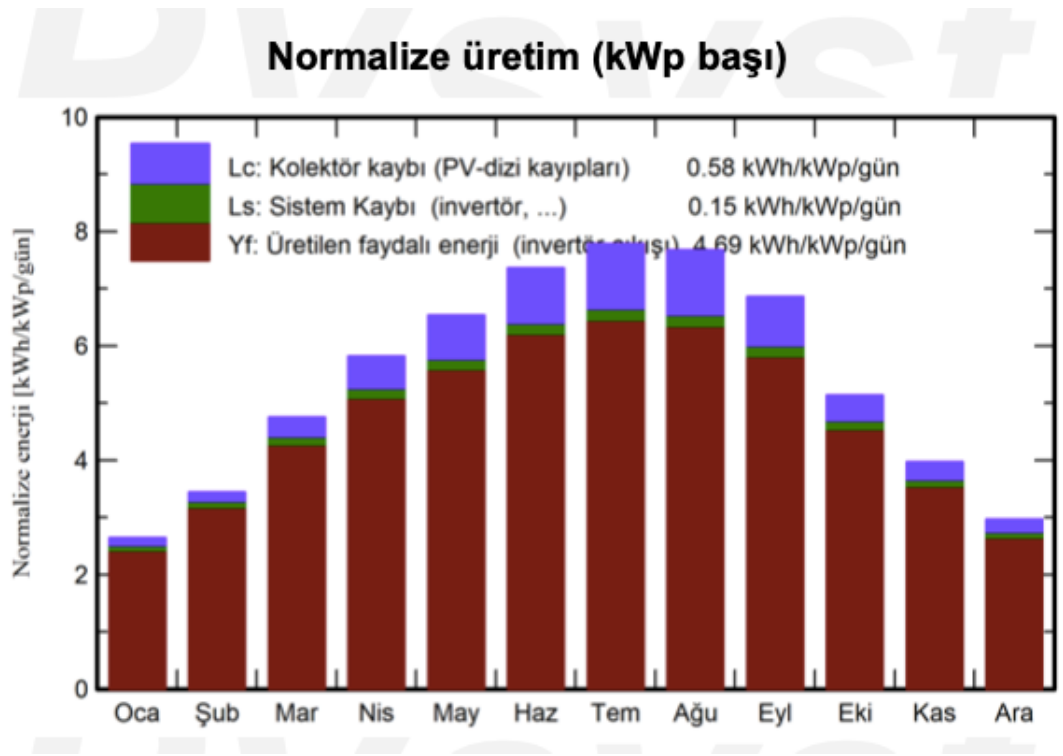
Kurulum bilgilerine istinaden PVsyst programından elde edilmiş olan aylık bazda üretim değerleri Şekil 7.2'de görülmektedir. Simülasyon raporunda Toplam Nominal Gücü 1000 kW AC / 1125 kWp olan santral için yıllık toplam üretim miktarı 1.924 MWh/yıl olarak elde edilmiştir. Yukarıda da gösterildiği gibi aynı santralin gerçek üretim değeri ise 1.852 MWh/yıl olarak gerçekleşmiştir. Dolayısıyla üretilmiş olan gerçek elektrik miktarının simülasyon sonucunda beklenen üretime oranı %96,26 olarak elde edilmiştir. Bu çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar PVsyst simülasyon programının oldukça yüksek oranda gerçeğe yakında değerler verdiğini göstermiştir.

Yapılan çalışma neticesinde gerçek ve simülasyon değerleri arasında %3,74'lük bir fark ortaya çıkmış olup, bu fark sistemin amortisman süresinde değişikliğe neden olabilecektir. Dolayısıyla elde edilen sonuçlar özellikle fizibilite çalışmalarında kullanılabilir ve daha gerçek amortisman sürelerinin ortaya konmasında yardımcı olacaktır.

Ortaya çıkan %3,74'lük farkın ise farklı sebepleri olabilmektedir. PVsyst simülasyon programının veri tabanında panel ve invertörlere ait teknik özellikler bulunmaktadır fakat bu iki malzeme haricinde kalan, doğru akım, alternatif akım kabloları, saha toplama panoları ve kullanılan transformatör özellikleri programın veri tabanından

alınmamaktadır. Bu malzemelere ait değerler simülasyonda akım taşıma kapasiteleri, iletken cinsi ve trafo kademesi olarak standart olarak gelmektedir. Santral kurulumunda kullanılan panel ve invertör dışında kalan malzemelerin seçimlerinde oluşabilecek farklılıklardan kaynaklı olarak da simülasyon kayıpları ile gerçek kayıpların birbirinden farklı olması olağandır. Bu sebepten dolayı oluşacak kayıplar öngörülen kayıplara göre daha fazla veya az olması ihtimaller dahilindedir. Bu durum da üretim değerlerinin simülasyon sonuçlarından farklı olmasına sebebiyet verebilir.

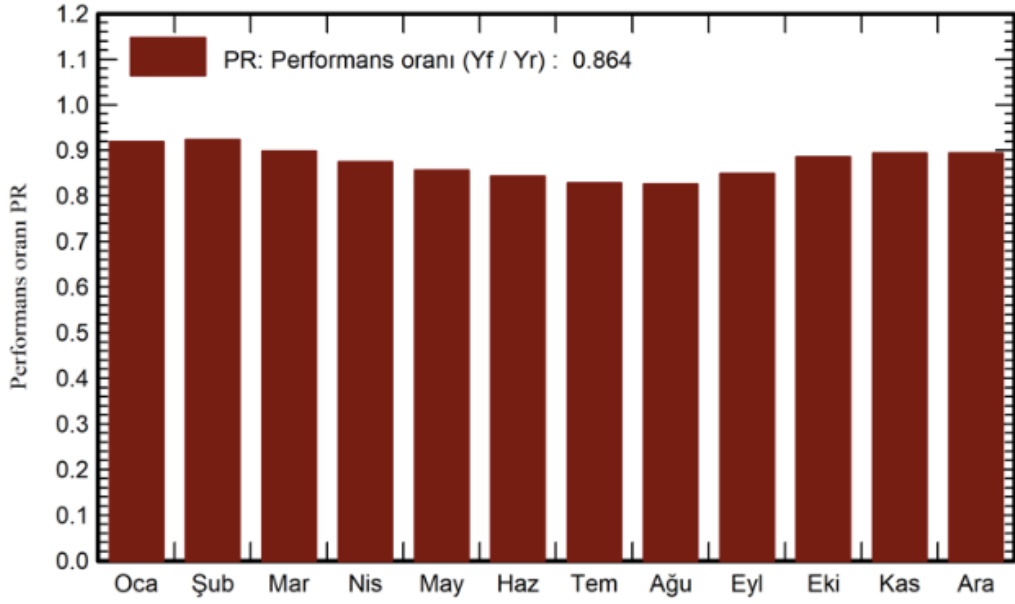
Aşağıda aylara göre üretim ve kayıplara ilişkin şekil (şekil 7.2) bulunmaktadır.



Şekil 7.2. Normalize Üretim

Şekilde görüldüğü üzere en fazla üretim yaz ayları olan haziran, temmuz ve ağustos aylarında olmuştur. En fazla kayıplar ise sırasıyla temmuz, ağustos ve haziran aylarında olmuştur.

Performans oranı PR



Şekil 7.3. Performans Oranı

Santralin yukarıdaki performans oranı şekli incelendiğinde üretimlerin giriş / çıkış değerlerinin en yüksek olduğu ayların düşünülünin aksine yaz ayları olmadığı görülmektedir (şekil 7.3). Bu sonucun sebebi ise invertör ve panellerde oluşabilecek sıcaklığa bağlı olarak verimlilik düşüştür. Güneş enerji Santrallerinde en verimli bölgeler daha önce ışıyım haritasında da bahsedildiği üzere serin, rüzgar alan ve bol güneşlenebilecek bölgelerdir.

Tablo 7.1. Bilanço ve Genel Sonuçlar

Bilanço ve genel sonuçlar								
	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR oran
Ocak	57.7	30.00	0.09	81.9	77.1	87.9	84.7	0.918
Şubat	74.0	38.06	2.01	96.4	91.6	103.6	100.2	0.923
Mart	124.0	55.57	6.00	147.4	140.5	154.0	149.0	0.898
Nisan	163.4	67.26	10.83	174.7	166.1	177.5	171.9	0.875
Mayıs	204.0	74.48	15.60	202.6	192.2	201.5	195.3	0.857
Haziran	230.6	66.79	20.39	220.9	210.4	216.1	209.6	0.843
Temmuz	248.8	61.52	23.58	241.3	230.0	232.1	225.0	0.828
Ağustos	226.0	56.00	24.18	238.0	226.9	228.4	221.4	0.827
Eylül	174.5	47.79	19.26	205.8	197.4	202.7	196.5	0.848
Ekim	120.8	43.33	12.90	159.2	152.9	163.8	158.6	0.885
Kasım	79.8	30.17	6.71	119.0	112.3	123.8	119.7	0.894
Aralık	59.4	27.72	1.76	92.0	84.4	95.8	92.5	0.894
Yıl	1763.0	598.69	12.00	1979.2	1881.8	1987.1	1924.3	0.864

Açıklama

GlobHor Global yatay ışınlama

DiffHor Yatay difüz ışınlama

T_Amb Çevre sıcaklığı

GlobInc Kolektöre yansıyan global

GlobEff IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global

EArray Dizinin çıkışında etkin enerji

E_Grid Şebekeye enjekte edilen enerji

PR Performans oranı

Yukarıdaki Bilanço ve Genel Sonuçlar tablosunda ışımanın, dizinin çıkışındaki enerjinin ve şebekeye enjekte edilen enerjinin en fazla olduğu ayın temmuz ayı olduğunu fakat en düşük performans oranlarından birisinin yine aynı aya ait olduğu görülmektedir. Bunun sebepleri bir sonraki bölümde ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

7.3. Oluşabilecek Kayıpların Analizi

Bu bölümde santralde oluşabilecek kayıpların simülasyon raporunda çıkan analizlerin detaylı bir şekilde incelenmesi konusuna değinilmiştir.

Tablo 7.2. Dizi Kayıpları

Dizi kayıpları											
Alan kirlenmesi											
Ortalama kayıp oranı 0.8 %											
Oca.	Şub.	Mar.	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Eyl.	Eki.	Kas.	Ara.
% 0.5	% 0.7	% 0.7	% 0.8	% 0.9	% 0.9	% 1.0	% 1.2	% 0.8	% 0.6	% 0.7	% 0.5
Termal kayıp faktörü				DC kablolama kaybı				Seri diyot kaybı			
Işınımına göre modül sıcaklığı				Global alan direnci				Gerilim düşüşü			
Uc (sabit) 29.0 W/m ² K				Kayıp oranı				1.0 mΩ			
Uv (rüzgar) 0.0 W/m ² K/m/s				0.2 STC'de%				Kayıp oranı			
0.7 V				0.1 STC'de%							
LID - "light induced degradation"				Modül kalite kaybı				Modül uyumsuzluk kaybı			
Kayıp oranı 1.0 %				Kayıp oranı -0.5 %				Kayıp oranı 0.5 MPP'de%			
Dizi uyumsuzluk kaybı											
Kayıp oranı 0.1 %											

Yukarıda da görüldüğü üzere santralde invertöre kadar olan kısımlardaki kayıplar bir tablo halinde paylaşılmıştır. Biraz daha ayrıntılı bahsetmek gerekir ise bu kayıpları aşağıdaki gibi detaylandırılabilir:

- Alan kirlenmesi kaybı santrale konstrüksiyon üzerine montajı tamamlanmış olan panellerin üzerinde oluşabilecek kirliliklerden kaynaklı kayıp oranını ifade etmektedir. Kullanılan panellerin ortalama kirlilik değerleri mevsimsel yağışların olması ve yağmur sonrası paneller üzerindeki toz ve kirlerin temizlenmesine göre değişiklik göstermektedir. Bu sebepten dolayı her bir ay için yukarıdaki tabloda gördüğümüz değerleri meteorolojinin verilerinden yararlanarak simülasyon programına giriş yaptık ve ortalama kayıp oranımızı %0,8 olarak saptadık.
- PVSyst termal kayıp faktörü bizlere santrale kurulan panellerin dış ortam sıcaklığına göre üretiminin ters orantılı bir şekilde değişmesini işaret

etmektedir. Kurulum yaptığımız proje arazi projesi olması ve panellerin alt kısmının havalanması için yeterli boşluğa sahip olması bizler için önemli bir ayrıntıdır. Bahsi geçen kayıp faktörü, yakın çatıya monte PV modülleri için $U_c = 15 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_v = 0$ ve bağımsız dizi PV modülleri için $U_c = 29 \text{ W/m}^2\text{K}$, $U_v = 0$ şeklindedir (PVsyst 7 Tutorial: 2020). Bu nedenle $U_c = 29 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak öngörülmüştür.

- Dizi uyumsuzluk kayıp oranı, invertöre bağlanan her bir dizinin güçlerinin eşit olması fakat panellerdeki +/- toleransların var olma ihtimalinden dolayı %0,1 olarak öngörülmüştür. Bu projede her bir dizide 22 panel ve her bir panel gücü 275 Wp olarak kullanılmıştır. Her bir dizimize giriş yapan güç 6,05 kWp'dir.
- DC Kablo kaybı, panellerden invertörlere ulaşıncaya kadar kullanılan Solar Kablolardan kaynaklı kayıplardır. Güneş enerji Santrallerinde 4 mm², 6 mm² ve 10 mm² kesitinde DC kabloların kullanımı yaygındır. Yapılan akım taşıma kapasitesi ve gerilim düşümü hesaplamalarının ardından bu santralde 6 mm² DC kablo kullanılması uygun görülmüştür. DC kablo kesiti ve ortalama metraj ile simülasyona giriş yapıldığında (ortalama metrajı 60 m'dir) kayıp oranı %0,2 STC'de çıkmaktadır.
- Panel kalite kayıp oranı panellerin teknik dokümanında yazan gücünü gerçekte verebilme durumuna göre saptanmaktadır. Mevcut santralimizde %(-0,5) olarak alınmıştır. Bu değer üretici firmanın artı toleransa sahip paneller ürettiğini göstermektedir ve simülasyona kayıp olarak değil kazanç olarak yansıtacaktır.
- LID “light induced degradation” kristal tabanlı fotovoltaik hücrelerde günün ilk güneş ışınlarına maruz kalmadan kaynaklı bir kayıp olarak adlandırılabilir. Her bir panelin flash testine göre farklılık göstermekte olduğu için simülasyon programı üzerinden varsayılan değer olan %2 olarak öngörülmüştür.
- Modül uyumsuzluk kaybı da dizi uyumsuzluk kaybında olduğu gibi aynı panel üzerinde birbirinden farklı güçlerde olabilecek hücrelerden kaynaklı bir kayıptır. Her bir panelde kullanılan hücrelerin aynı güçte olması fakat toleranstan dolayı değişkenlik gösterebileceğinden dolayı %0,5 olarak öngörülmüştür.

Bu kısımda invertör girişinden şebekeye enjekte oluncaya kadar oluşan kayıplara değinilmiştir.

AC kablolama kaybı	
İnv. çıkışından OG trafosuna	
Invertör gerilimi	400 Vac tri
Kayıp oranı	0.2 STC'de%
İnv. türü: Blueplanet 50.0 TL3-INT XL	
Kablo kesiti (20 İnv.)	Bakır 20 x 3 x 185 mm ²
Ortalama kablo uzunluğu	70 m
OG hattından enjeksiyon noktasına	
OG gerilim	31.5 kV
Kablolar	Alü 3 x 95 mm ²
Boy	10 m
Kayıp oranı	0.0 STC'de%
Transformatör AC kayıpları	
OG trafo	
Şebeke gerilimi	31.5 kV
STC'de işletme kayıpları	
STC'de nominal güç (PNomac)	1110 kVA
Demir kaybı (24 saat bağlantı)	1.10 kW
Kayıp oranı	0.1 STC'de%
Eşdeğer bobin direnci	3 x 0.72 mΩ
Kayıp oranı	0.5 STC'de%

Şekil 7.4. AC Kablolama ve Transformatör Kayıpları

Yukarıdaki kayıpların da aşağıdaki gibi açıklanması mümkündür;

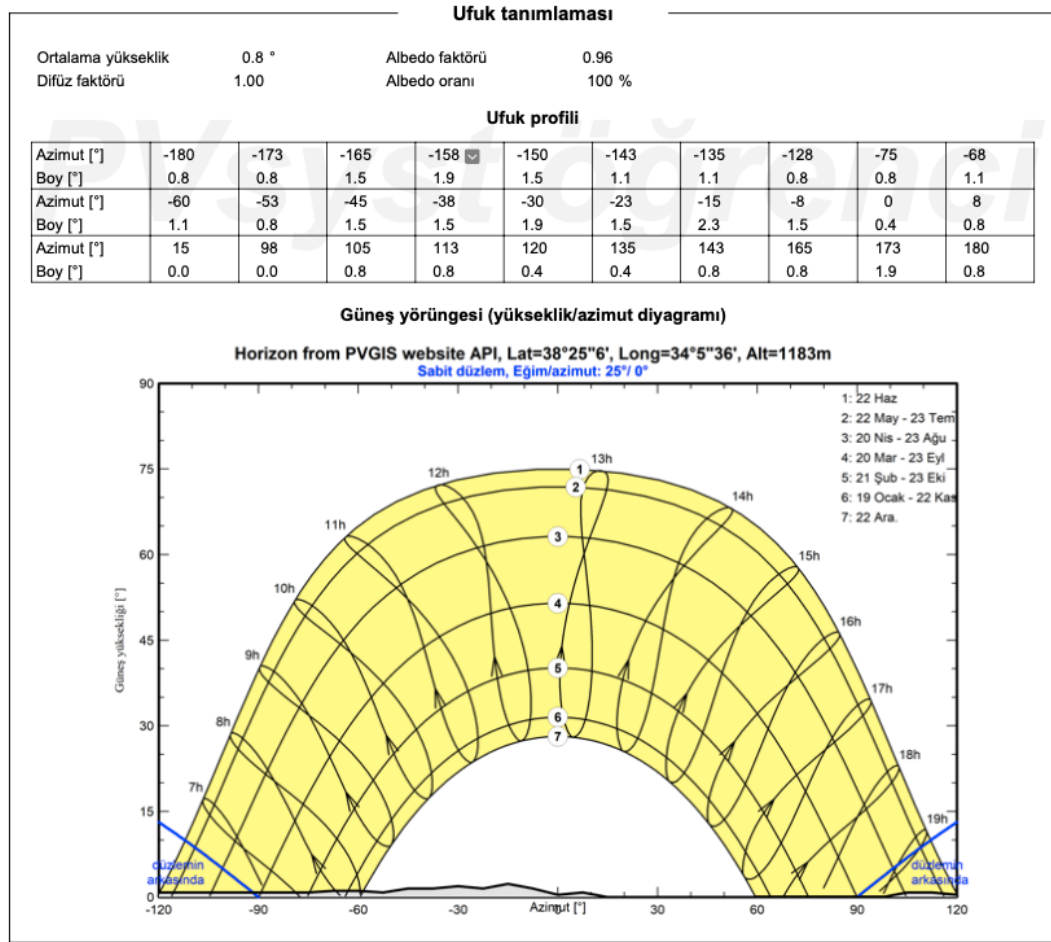
- İnverter çıkışı ile trafo kısmına kadar olan mesafede projede ve uygulamada 185 mm² kablo kullanılmıştır. Her bir invertörün OG panoya kadarki mesafelerinin ölçümleri alınarak ortalama değer olan 70 m ile hesaplama yapıldığında kayıp oranımız %0,2 olarak hesaplanmıştır.
- Kurulumu yapılan sistemin bulunduğu gölgedeki şebeke gerilimi 31.5 kV olduğu için kullanılan transformatör şebeke gerilimi 31.5 kV mertebesindedir. 31.5 kV / 0.4 kV dönüşümlü trafo için kayıp oranı %0.1 ve eşdeğer bobin için kayıp oranı %0.5 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 7.3. IAM Kayıp Faktörü

Dizi kayıpları								
IAM kayıp faktörü								
Yansımaya etkisi (IAM): Fresnel, yansımaya önleyici, n(cam)=1.526, n(AR)=1.290								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

Yukarıda IAM kayıp faktörü ile ilgili tablo yer almaktadır. IAM faktörü açıklanacak olursa; bir güneş paneli birden fazla katmandan oluşmaktadır ve güneş ışınları her bir

katmanı geçerek hücrelere ulaşmaktadır. Bu katmanlardan geçerken oluşabilecek yansımalarından dolayı meydana gelen kayıpları belirtmektedir.



Şekil 7.5. Güneş Işını Geliş Açıları

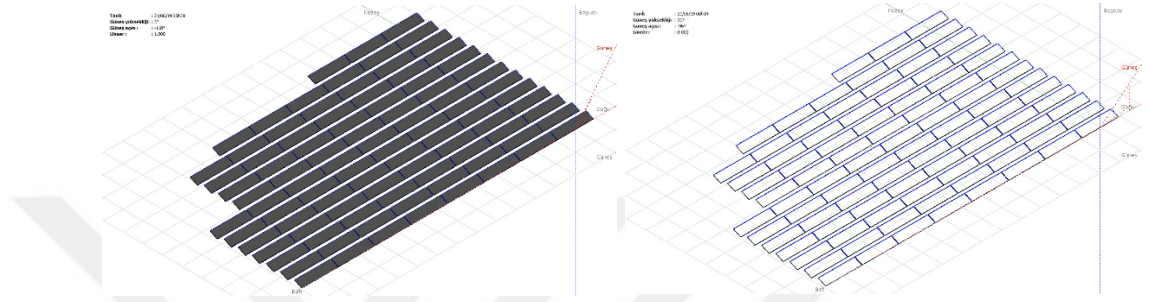
Yukarıdaki Ufuk tanımlaması kısmında güneş ışınlarının yedi farklı tarihte santralin kurulumunun gerçekleştiği Aksaray ili, Merkez ilçesi, Gençosman mevkiindeki yer yüzüne geliş açısını göstermektedir. Bu geliş açıları santralin bulunduğu bölgenin jeolojik yükseltisine göre analiz yapılmaktadır ve PVGIS'in internet sitesinden PVsyst'e aktarılmaktadır. Yükseltelerin gölgenmeleri etkilemesinden dolayı kurulum yapılacak bölgenin "derece, dakika ve saniye" koordinat biçiminde en doğru şekilde yazılması gerekmektedir.

Daha önce de açıklandığı gibi bu çalışmada PVsyst programından yararlanılmasındaki temel sebep koordinat seçiminin en doğru şekilde yapılabilmesi, üç boyutlu çizim yapılabilmesi, hangi dizinin hangi invertöre bağlanabileceğinin ayrıntılı olarak seçilebilmesi ve gölgenme analizlerinin en doğru bir biçimde istenilen tarihe göre

yapılabilmesidir.

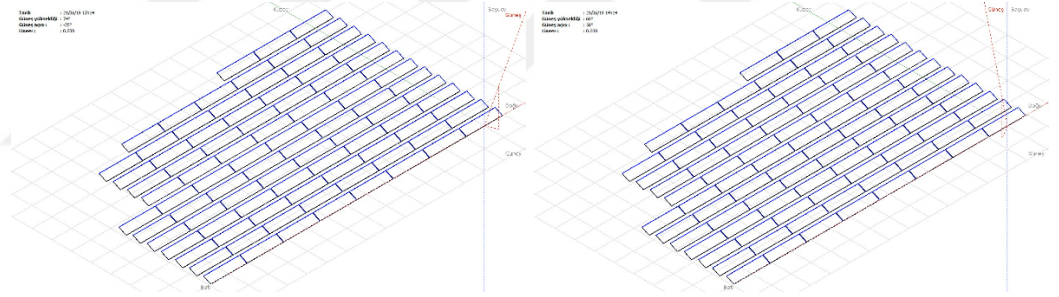
Aşağıda santralin 21.06.2019 tarihinde ve 21.12.2019 tarihindeki gölgeleme analizleri gösterilmiştir.

- 21.06.2019 tarihinde farklı saatlerdeki gölgeleme durumlarına ilişkin simülasyon görüntüleri şu şekildedir;



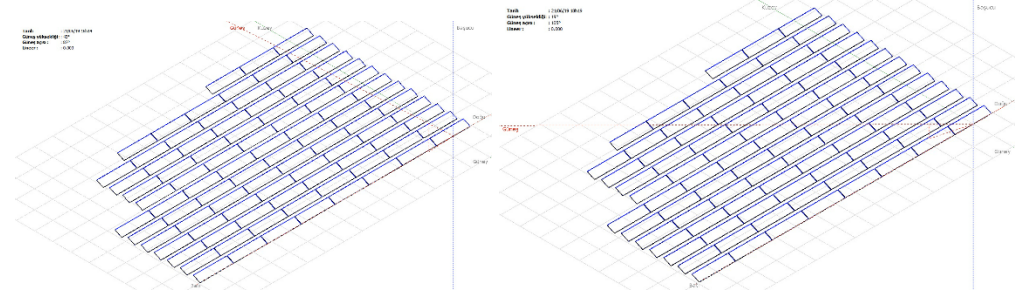
a) 05:39'daki gölgeleme

b) 08:14'deki gölgeleme



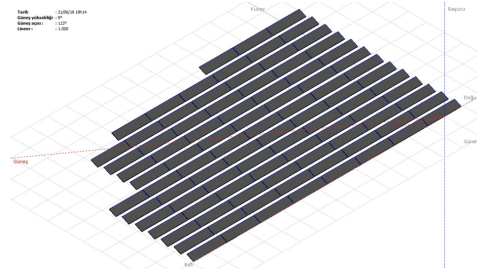
c) 12:14'deki gölgeleme

d) 14:14'deki gölgeleme



e) 16:14'deki gölgeleme

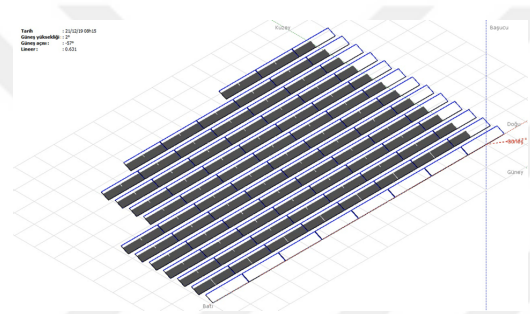
f) 18:19'deki gölgeleme



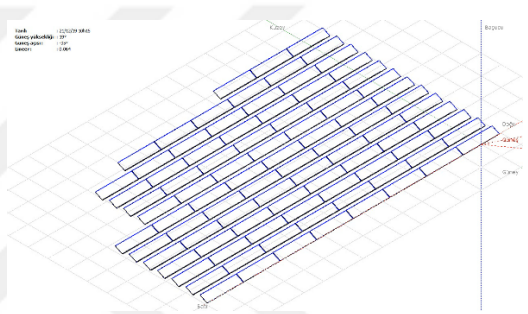
g) 19:14'deki gölgelenme

Şekil 7.6. 21 Haziran Gölgeleme Durumları

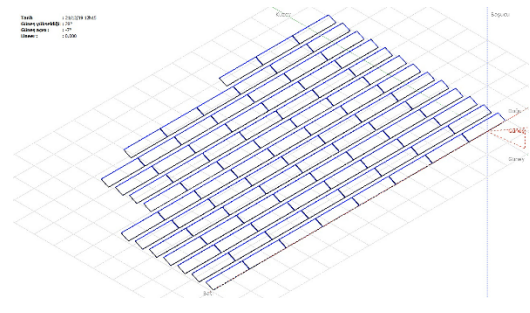
- 21.12.2019 tarihinde farklı saatlerdeki gölgelenme durumlarına ilişkin simülasyon görüntüleri şu şekildedir;



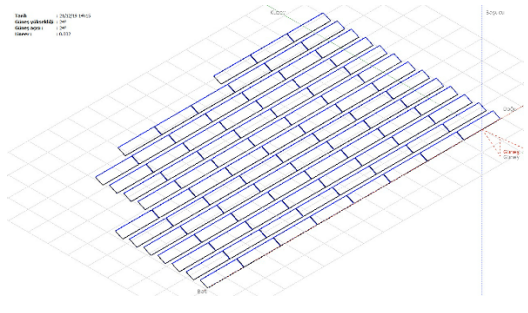
a) 08:15'deki gölgelenme



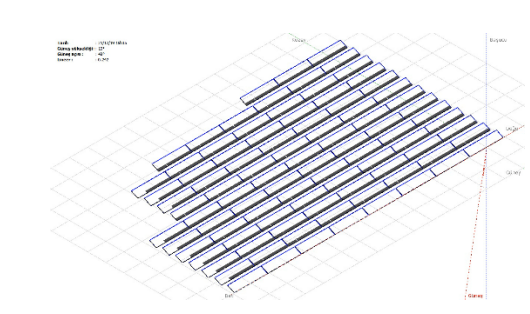
b) 10:15'deki gölgelenme



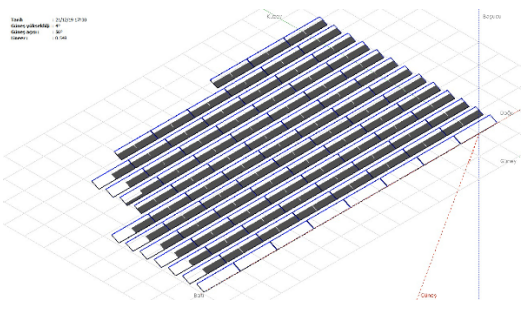
c) 12:15'deki gölgelenme



d) 14:15'deki gölgelenme



e) 16:15'deki gölgelenme



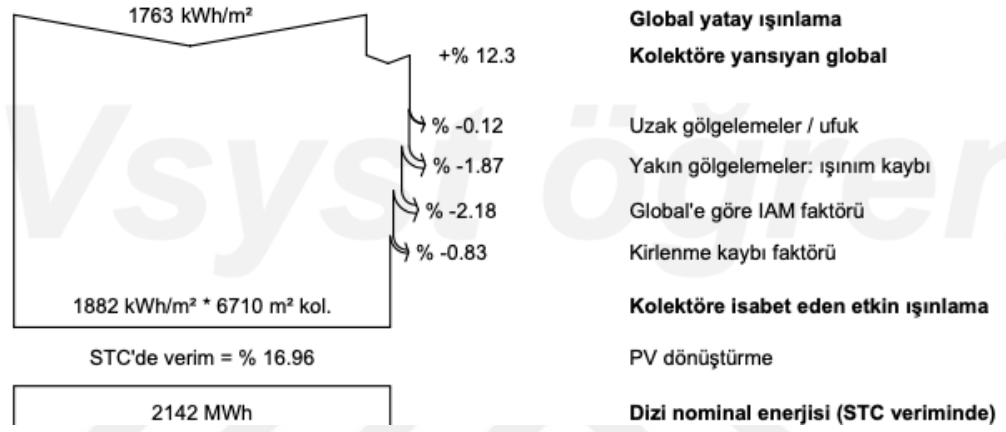
f) 17:00'deki gölgelenme

Şekil 7.7. 21 Aralık Gölgeleme Durumları

Yukarıda da örnek olarak 21.06.2019 tarihinde saat 16:14'de santraldeki panellerde gölgeleme olmazken, 21.12.2019 tarihinde saat 16:15'de santraldeki panellerin alt dizelerinde gölgeleme oluşmaktadır.

7.3.1. Dış ortamdan kaynaklı kayıplar

Simülasyon sonucunda elde edilen dış kaynaklı kayıplar ise şekil 7.8'de gösterilmiştir.



Şekil 7.8. Üretim - Kayıp Analizi

- Sistem kurulumunun yapıldığı bölgeye gelen güneş ışınlarından dolayı oluşan sistem kayıpları %0,12 olarak gözükmektedir.
- Simülasyonda üç boyutlu tasarım sonrası oluşan, ön sıraya yerleştirilen panel dizelerinden dolayı arka sıraya yerleştirilen panel dizesinde oluşan gölgelemelerden kaynaklı sistem kayıpları %1,87 olarak gözükmektedir.
- Panel üzerinden yansıyan ışınlardan kaynaklı sistem kayıpları %2,18 olarak gözükmektedir.
- Panel üzerinde oluşacak kirlenmeden kaynaklı sistem kayıpları %0,83 olarak gözükmektedir.

Yukarıdaki oranlara bağlı olarak,

- Mevcut bölgedeki ışınlım miktarı: 1763 kWh/m²,

- Panellere yansıyan global ışımaya oranı %12,3 olarak PVsyst üzerinden hesaplanmıştır. Bu iki değer göz önüne alındığında;

$1763 \text{ kWh/m}^2 \times (1+12,3 \%) = 1979,849 \text{ kWh/m}^2$, olarak hesaplanır ve diğer kayıp oranlarının hesaplamaları yapılırsa;

$1979,849 \text{ kWh/m}^2 \times (1-0,12 \%) = 1977,473 \text{ kWh}$

$1898,191 \text{ kWh/m}^2 \times (1-0,83 \%) = 1882,436 \text{ kWh/m}^2$, bölgeye düşen kayıplar sonrası ışınım miktarıdır.

Mevcut projede kullanılan panellerin toplam alanını göz önüne alındığı zaman arazideki toplam ışınım miktarını hesaplanabilir. Panellerin toplam yüzey alanı 6710 m^2 'dir. Bu durumda;

$1882,436 \text{ kWh/m}^2 \times 6710 \text{ m}^2 = 12631,150 \text{ MWh}$ 'lik bir ışınım miktarı bulunur.

Kullanılmış olan panellerin verimliliğinin %16,96 olduğu bilinmektedir.

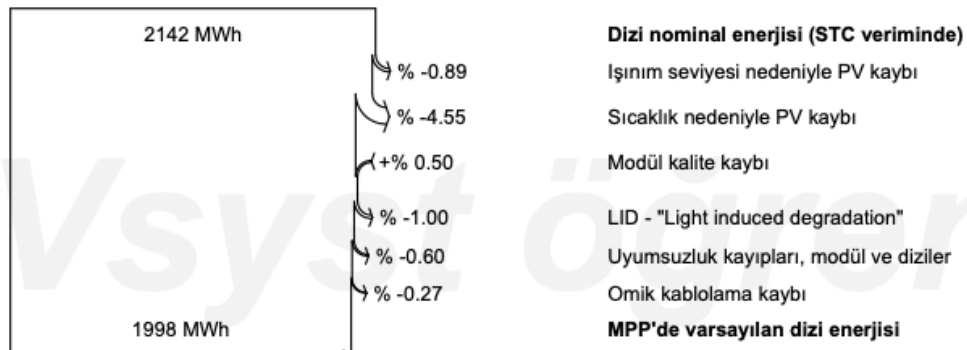
Bu durumda;

$12631,150 \text{ MWh} \times 16,96 \% = 2142 \text{ MWh}$.

Dizi Kayıpları oluşmadan önceki sistem toplam üretimi 2142 MWh olarak gözükmektedir.

7.3.2. Dizi Kayıpları

Üretim ve kayıp analizi Şekil 7.9.'te gösterilmiştir.



Şekil 7.9. Üretim - Kayıp Analizi

Yukarıdaki şekle göre;

- Sistem kurulumunun yapıldığı iklim ve çevre koşullarına göre ışıınım kaybı durumundan oluşan kayıp %0,89 olarak hesaplanmıştır.
- Kullanılan panelin sıcaklığa bağlı olarak sistem kayıpları %4,55 olarak hesaplanmıştır.
- Kullanılan panelin (+) toleransa sahip olmasından dolayı sistem kaybı yerine sistem kazancı mevcut olmuştur ve %0,5 oranındadır.
- Panellerin günün ilk saatlerindeki üretime başlamalarındaki saplamalardan dolayı oluşan sistem kayıpları %0,1 olarak hesaplanmıştır.
- Panel – invertör arasında kullanılan kablolardan dolayı oluşan sistem kayıpları %0,27 olarak hesaplanmıştır.

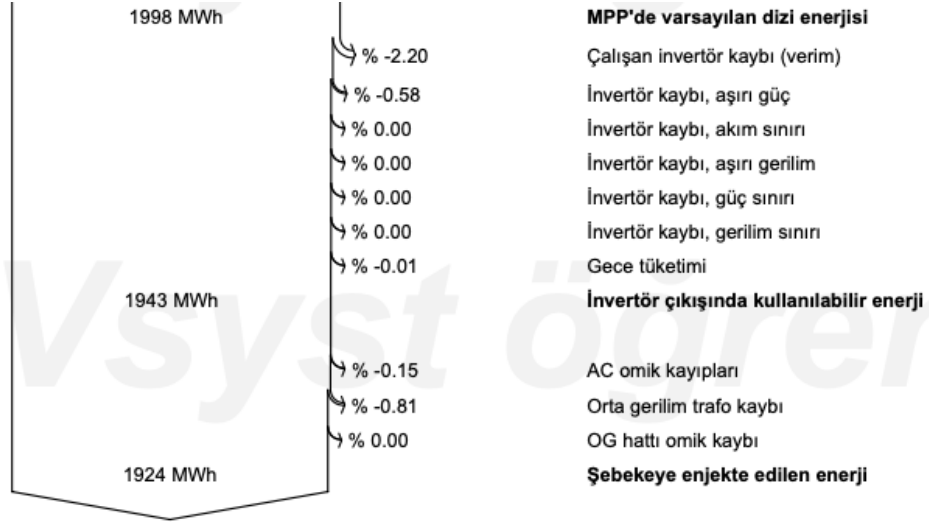
Bu durumda;

$$\begin{aligned}
2142,000 \text{ MWh} \times (1-0,89 \%) &= 2123,177 \text{ MWh}, \\
2123,177 \text{ MWh} \times (1-4,55 \%) &= 2026,572 \text{ MWh}, \\
2026,572 \text{ MWh} \times (1+0,50 \%) &= 2036,705 \text{ MWh}, \\
2036,705 \text{ MWh} \times (1-1,00 \%) &= 2016,338 \text{ MWh}, \\
2016,338 \text{ MWh} \times (1-0,60 \%) &= 2004,240 \text{ MWh}, \\
2004,240 \text{ MWh} \times (1-0,27 \%) &= 1998,828 \text{ MWh},
\end{aligned}$$

Dizi ve doğru akım kablolamasından dolayı oluşan kayıplardan sonra üretilen enerji miktarı 1998,828 MWh olarak ortaya çıkmaktadır.

7.3.3. İnvörtör, AC Kablolama ve Transformatör Kayıpları

Simülasyon programı neticesinde invertör, AC kablolama ve transformatör kayıpları şekil 7.10'da gösterildiği gibi elde edilmiştir.



Şekil 7.10. Üretim - Kayıp Analizi

Şekle göre;

- İnverter verimliliğinden dolayı oluşan kayıplar %2,2 olarak hesaplanmıştır.
- İnvertere giriş yapılan maksimum güçten dolayı oluşan kayıp %0,58 olarak gözükmemektedir.
- Kullandığımız invertörün gece tüketimi olmasından dolayı oluşan kayıp %0,01'dir.
- Kullanılan AC kablolamadan dolayı oluşacak kayıplar %0,15'dir.
- Şebeke voltajı 31,5 kV olmasından dolayı kullanılan trafodaki kayıp %0,81 çıkmaktadır.

$$1998,828 \text{ MWh} \times (1-2,20 \%) = 2123,177 \text{ MWh},$$

$$2123,177 \text{ MWh} \times (1-0,58 \%) = 1943,516 \text{ MWh},$$

$$1943,516 \text{ MWh} \times (1-0,01 \%) = 1943,322 \text{ MWh},$$

$$1943,322 \text{ MWh} \times (1-0,15 \%) = 1940,407 \text{ MWh},$$

$$1940,407 \text{ MWh} \times (1-0,81 \%) = 1924,689 \text{ MWh}.$$

Son durumda sistemin ürettiği ve şebekeye enjekte edilen toplam enerji 1924 MWh olarak çıkmaktadır.

Analizi yapılan santralin gerçek üretim verileri ile simülasyon sonucu kıyaslandığı

zaman aşağıdaki tablo elde edilmektedir (Tablo 7.4).

Tablo 7.4. Üretim Değerleri Kıyaslaması

Ay	Üretim değeri (kWh)	PVsyst Üretim Değerleri (kWh)	Fark (kWh)
2019 Aralık	87.149,00	92.506,00	5.357,00
2020 Ocak	79.683,00	84.655,00	4.972,00
2020 şubat	83.182,00	100.213,00	17.031,00
2020 Mart	138.126,21	148.983,00	10.856,79
2020 Nisan	168.390,00	171.925,00	3.535,00
2020 Mayıs	186.380,00	195.256,00	8.876,00
2020 Haziran	199.007,00	209.575,00	10.568,00
2020 Temmuz	215.588,00	225.010,00	9.422,00
2020 Ağustos	209.374,00	221.407,00	12.033,00
2020 Eylül	187.387,00	196.455,00	9.068,00
2020 Ekim	169.271,00	158.588,00	-10.683,00
2020 Kasım	129.231,00	119.741,00	-9.490,00
2020 Aralık	---	92.506,00	---
Toplam	1.852.768,21	1.924.314,00	71.545,79

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER

PVsyst simülasyonunda yapılan analizler sonucu ortaya çıkan üretim miktarı 1.924 MWh'dır. Santraldeki gerçek üretim değeri sayaçlar üzerinden 1.852 MWh olarak okunmuştur. Bu durumda simülasyon değeri gerçek üretilen enerji miktarına göre yaklaşık 72 MWh daha fazla ürettiği görülmektedir. Bu durumda PVsyst programının üretim miktarı gerçek üretim miktarından %3,74 daha fazla çıkmaktadır.

Üretim farkı oranlarının en fazla olduğu ay şubat ayı (PVsyst simülasyonunda %20 kadar daha fazla üretim olabileceği sonucu çıkmıştır), en az olduğu ay ise kasım ayı (%7,34 kadar gerçek üretim değeri PVsyst analizine göre daha fazla çıkmaktadır) olmuştur.

Şubat ayında ortaya çıkan %20'lik farkın PVsyst'de panel üzerinde oluşabilecek kirlilik oranını gerçekleştiren durumdan daha kötü bir senaryo ile ilerlediğimizi öngörmekteyiz. Burada kirlilik olarak bahsettiğimiz durum panellerin üzerinde oluşabilecek dış etken kaynaklı üretim yapamama durumudur ve şubat ayı kış ayı olduğu için panellerin üzerinde oluşan kar miktarı fazla ve güneşli gün sayısı öngörülenden daha az olmuştur. Bu durumda da gerçek üretim miktarı PVsyst simülasyonuna göre daha az çıkmaktadır.

Kasım ayında oluşan %7,34'lük üretim farkının sebebi olarak ise 2006 – 2016 yılları arasındaki meteorolojik veriler sonucunda alınan ortalama değerlerin 2020 yılının kasım ayında pozitif yönde farklı olmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Bunun yanı sıra yatırımcı firma ile yapılan görüşmelerde bu ay içerisinde bir panel temizleme sistemini bünyelerine kattıklarını ve paneller üzerinde oluşan kirlenmeyi minimuma indirdiklerinin bilgisi alınmıştır. Mevcut olan santralde bir ışınım sensörü, dış ortam sıcaklık sensörü, panel sıcaklık sensörü ve rüzgar sensörü mevcut olmadığı için bahsi geçen ayda oluşan ışıma miktarı PVsyst verilerinde elde edilen ışıma miktarına göre oranı belirlenememiştir.

Santralde PVsyst analizlerine göre toplam kurulu güç içerisinde dış ortam ve kullanılan malzemeler kaynaklı toplam kayıp %16,06 olarak gözükmektedir. PVsyst simülasyon sonucunun gerçek üretim değerlerinden %3,74 daha fazla üretim gösterdiği de göz önüne alındığında üretim kaybı %19,8 olarak düşünülebilir. Üretim kaybına en fazla neden olan etkenler %4,55 sıcaklık nedeni ile PV kayıpları, %2,2 ile invertör verimlilik kaybı ve %2,18 ile panellerden yansıyan ışınlar sebep olmaktadır.

Gerçek üretim değerleri ile PVsyst simülasyonunda elde edilen üretim değerleri arasında daha önce de bahsedildiği gibi %3,74'lik bir fark bulunmaktadır ve bu fark gerçek üretim değerleri ile simülasyon değerlerinin birbirine çok yakın olduğunu göstermektedir.

Yukarıda bahsi geçen kayıpların daha az olması ve üretimin daha fazla olması adına yapılması gerekenler ise kullanılan panelin dış ortam sıcaklığına daha fazla dayanımı olabilecek panellerin kullanılması, verimliliği daha fazla olan invertörün tercih edilmesi, panel açılarının 25°'den daha fazla açı ile montajının yapılması olarak sıralanabilir.

Kullanılan panellerin üretici firmanın artı toleransa sahip olduğunun üretim sonrası panellere uygulanacak flaş testler sonrasında saptanması ve panel ısıl dayanımının da daha fazla olacağına yine bahsi geçen test sonrasında saptanması ve simülasyon değişkenleri içerisinde yazılması gerekmektedir.

Bahsi geçen ısıl dayanım katsayısının panel teknik kataloğunda yazandan daha düşük olma durumu da üretimin simülasyon üretim değerinden daha düşük çıkmasına neden olduğu düşünülmektedir. Üretim değerinin yükselmesi için fabrikada üretim denetimleri ve test sonuçlarına göre panel alımı yapılabilir.

Bu faktörler haricinde, hem simülasyon üretim verilerinin hem de gerçek üretim verilerinin artmasını sağlayacak bir diğer durum ise kullanılan panel cinsidir. Mevcutta kullanılan panel polikristal yapıda bir paneldir ve panel özelliğinin değişmesi (monokristal yapıda bir panel) ve daha verimli panel kullanılması üretimin artmasını sağlayacak faktörlerden birisi olacaktır.

Yakın gölgelenmelerden oluşacak olan kayıpların %1,87 olduğu göz önünde bulundurulduğunda paneller arası mesafenin 3,5 m'den daha fazla olması öndeki panellerin arkada bulunan panel sırasına oluşturacağı gölgelenmeleri azaltacağı ve 21

Aralık'ta panellerde oluşacak gölgelenme durumlarının daha az olacağı da bir gerçektir ve üretim değerlerinin daha yüksek olması beklenmektedir. Simülasyonda jeolojik yükseltinin gerçek konumdaki yükseltiye göre farklılık göstermesi ve gerçek konumdaki yükseltiden kaynaklı panel dizelerinin birbirlerine uyguladıkları gölgelenmelerin fazla olacağı düşünülmektedir. Bu durum da üretim değerlerinin farklı olmasına neden olmaktadır.

PVsyst simülasyon programının veri tabanında panel ve invertörlere ait teknik özellikler bulunmaktadır fakat bu iki malzeme haricinde kalan, doğru akım, alternatif akım kabloları, saha toplama panoları ve kullanılan transformatör özellikleri programın veri tabanından alınamamaktadır. Bu malzemelere ait değerler simülasyonda akım taşıma kapasiteleri, iletken cinsi ve trafo kademesi olarak standart olarak gelmektedir. Santral kurulumunda kullanılan panel ve invertör dışında kalan malzemelerin seçimlerinde oluşabilecek farklılıklardan kaynaklı olarak da simülasyon kayıpları ile gerçek kayıpların birbirinden farklı olması olağandır. Bu sebepten dolayı oluşacak kayıplar öngörülen kayıplara göre daha fazla veya az olması ihtimaller dahilindedir. Bu durum da üretim değerlerinin simülasyon sonuçlarından farklı olmasına sebebiyet verebilir.

Sistemin gerçek üretim değerleri ile simülasyon programı sonucunda ortaya çıkan üretim değerleri arasında %3,74'lük bir fark olduğu belirlenmiştir. Fizibilite çalışmaları ve amortisman hesaplamaları simülasyon raporunda oluşan üretim değerlerine göre yapıldığından dolayı sistemin geri ödeme hızında %3,74'lük bir negatif sapma olacağı gözükmemektedir.

Mevcut santralin üretim analizlerinin beşinci, onuncu ve on beşinci yıllar sonunda tekrar yapılması ve kullanılan malzemelerinin senelere göre verim kaybının hangi oranda gerçekleştiğinin saptanması yapılan çalışmanın daha gerçekçi olmasını sağlayacaktır. Ülkemizde kurulan güneş enerji santrallerinin daha önce bahsedilen yıllar kadar bir geçmişe sahip olmamasından ötürü bu tarz veriler henüz bulunamamaktadır.

KAYNAKLAR

Acar, Ö.D. (2007). Türkiye’de Açık Ocak Kömür Madenciliği Sonrası Peyzaj Onarım Çalışmalarının İrdelenmesi, (Yayımlanmamış Doktora Tezi), Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

Acaroğlu, M. (2013). *Alternatif Enerji Kaynakları*. Ankara: Nobel Yayınları.

Ahiler Kalkınma Ajansı, (2016). Aksaray İli’nde Yenilenebilir Enerji (Güneş Enerjisi) İhtisas Endüstri Bölgesi İlanına Yönelik Fizibilite Çalışması Raporu, <https://ahika.gov.tr/assets/ilgildosyalar/Aksaray-ili-Yenilenebilir-Enerji-Endustri-Bolgesi-Fizibilite-Raporu.pdf> (Erişim tarihi: 15/12/2020).

Aktacir, M.A. ve Yeşilata, B. (2011). Harran Üniversitesi Kampüs İçi Fotovoltaik Sistem Uygulamaları. *Tesisat Mühendisliği*, 111, 41-46.

Berinstein, P. (2001). *Alternative Energy : Facts, Statistics, and Issues*, Westport,CT: Oryx Press.

Akcan, E., Kuncan, M. ve Minaz, M. (2020). PVsyst Yazılımı İle 30 Kw Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Sistemin Modellenmesi ve Simülasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 248-261. DOI: 10.31590/ejosat.685909

Akova, İ. (2003). Dünya Enerji Sorunu ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı, *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Dergisi*, 11, 47 – 73.

Akova, İ. (2008). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları*, Nobel Yayınevi, Ankara.

Aldudak, M. (2018). Economic analysis and efficiency evaluation of pv systems in different cities of Turkey. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Altuntaş, H. (2019). Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Hedef ve Politikaları ile Fotovoltaik Güneş Enerjisinin Gelişimi. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Altuntop, N. ve Erdemir, D. (2013). Dünyada ve Türkiye’de Güneş Enerjisi İle İlgili Gelişmeler, *Mühendis ve Makine Dergisi*, 54(639), 69 – 77. Anderson, K. and Broderick, J. (2017). Natural Gas and Climate Change, *Tyndall Manchester Climate Change Research*, October, 1 – 58.

Atay, Ü.; İşiker, Y. ve Yeşilata, B. (2009). Fotovoltaik Güç Destekli Mikro Sulama Sistemi Projesi-1: Genel Esaslar, *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Diyarbakır.

Baş, H.C. (2016). Fotovoltaik Sistemlerin Performans Değerlendirmesi. (Bitirme Tezi), Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği, Karabük.

Bayrak, F., Oztop, H. ve Selimefendigil, F. (2019). Effects of different fin parameters on temperature and efficiency for cooling of photovoltaic panels under natural convection. *Solar Energy*, 188(1), 484-494.

Bilginoglu, M. A. (1991). Gelişmekte Olan Ülkelerde Enerji Sorunu ve Alternatif Enerji Politikaları, *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9, 122 – 147.

Bolat, M , Arifoğlu, U. ve Demiryürek, H . (2020). Lebit Enerji Güneş Santralinin Pvsyst Programı ile Analizi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9 (3), 1351-1363. DOI: 10.17798/bitlisfen.650786.

Bostancı, H. (2009). Spray Cooling of Power Electronics Using High Temperature Coolant and Enhanced Surface, *IEEE Conference*, 609-613.

Bouzuenda, M., Al Omair, A., Al Naeem, A., Al-Muthaffar, M., and Wazir, O. B. (2014). Design of an off-grid 2 kW solar PV system. In *Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), Ninth International Conference*, 1-6.

Campbell, M. (2009). Minimizing utility-scale PV power plant levelized cost of energy using high-capacity factor configurations, 421–426. http://files.shareholder.com/downloads/SPWR/1111270876x0x296165/F1C1ED55-C2F7-4FB5-8403-3D43A2D40757/LCOE_051809_FINAL.pdf.

Canka Kılıç, F. (2015). Güneş Enerjisi, Türkiye’deki Son Durumu ve Üretim

Teknolojileri. *Engineer & The Machinery Magazine*, 671.

Carrasco, M. and Hunfeld, R. (2010). *PV*SOL 5.0 standalone. Simulation of a stand-alone AC system*. Germany.

Cavalcante, M.M., De Souza Silva, J.L., Villalva, M.G. and Lins, M.P.F. (2019). Performance analysis of a Solar Photovoltaic Power Plant. *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference- Latin America (ISGT Latin America)*, Gramado, Brazil, 1-5, doi: 10.1109/ISGT-LA.2019.8894937.

Ceylan, Y. (2016). Türkiye'nin Güneşlenme Potansiyelinin Analizi ve Güneş Enerjisinin Enerji Politikasındaki Yeri. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Bahçeşehir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Constantinos S., Psomopoulos ,G., Ioannidis, C., Stavros D. K., Kostas M. and Katsikas. N.G. (2015). A Comparative Evaluation of Photovoltaic Electricity Production Assessment Software (PVGIS, PVVats and RETScreen), *Environmental Processes*, 2, 175–189.

Cooper, J. C. B. (2003). Price Elasticity of Demand for Crude Oil: Estimates for 23 Countries, *OPEC Review*, 27(1), 1 – 8.

Cooper, R. N. (2008). The Case for Charges on Greenhouse Gas Emissions, *The Harvard Project on International Climate Agreements*, 8(10), 1 – 27.

Çelebi, G. (2002). Bina Düşey Kabuğunda Fotovoltaik Panellerin Kullanım İlkeleri. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 17 (3), 17-33.

Çifci A. ve Altundağ E. (2017). Burdur bölgesi güneş enerjisi potansiyelinin elektrik üretiminde kullanılabilirliği, *Mesleki Bilimler Dergisi*, 6 (2): 111-120.

DEK – TMK (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi). (2009). *Dünya'da ve Türkiye'de Güneş Enerjisi*. EKC Yayınları, Ankara.

Duan, Z. and Sun, R. (2003). An Improved Model Calculating CO₂ Solubility in Pure Water and Aqueous NaCl Solutions from 273 to 533 K and from 0 to 2000 Bar, *Chemical Geology*, 193(3 – 4), 257 – 271.

Eryıldız, D. E. ve Demirbilek, F. N. (2000). *Anatolia Solar Architecture, Proceedings of the Third National Clean Energy Symposium Bildiriler Kitabı: 15 – 17 Kasım 2000*, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul.

Eskin, N. (2006). Türkiye’de Güneş Enerjisi Araştırma ve Geliştirme, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Makine Mühendisleri Odası (TMMOB – MMO) *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 91, 74 – 82.

EPDK (2018). *Türkiye’de Güneş Enerjisi Kurulu Güç Miktarı Raporu*. www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-23/elektrikaylik-sektorraporlar (Erişim Tarihi: 12.12.2020)

ETKB – Güneş Enerjisi. (2020). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı Resmi İnternet Sitesi Enerji Verimliliği (ENVER) Portalı, <https://enverportal.enerji.gov.tr/>. (Erişim Tarihi: 12.12.2020).

ETKB – Enerji Kaynakları. (2020/a). T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, <https://www.enerji.gov.tr/>. (Erişim Tarihi: 12.12.2020).

Gardas, B.B. and Tendolkar, M.V. (2012). Elektrik Verimliliğini Artırıcı Fotovoltaik Panel Soğutma Sisteminin Tasarımı, ICMIE, *Goa*, 144–49.

Gezer, T. (2019). Bir Güneş Enerji Santralının Maliyet Analizi: Aydın İli Örneği, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Gilman, P, Blair, N, Mehos, M, Christensen, C, Janzou, S, & Cameron, C. (2008). *Advisor Model User Guide for Version 2.0*. United States. <https://doi.org/10.2172/937349>

Girgin, M.H. (2011). Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralının Fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5 Mw’lık Güneş Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Değerlendirmesi ve Ekonomik Analizi, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.

Goetzberger, A., Luther, J. and Willeke, G. (2002). Solar Cells: Past, Present, Future, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 74, 1 – 11.

Gostein, M., Caron, J.R. & Littmann, B. (2014). Measuring soiling losses at utility-scale PV power plants. 2014 IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference, PVSC, 885–890.

Guo, Bing & Javed, Wasim & Figgis, Ben & Mirza, T. (2015). Effect of Dust and Weather Conditions on Photovoltaic Performance in Doha, Qatar. *1st Workshop on Smart Grid and Renewable Energy*.

Guzman, L., Henao, A., Vasquez, R. (2014). Simulation and Optimization of a Parabolic Trough Solar Power Plant in the City of Barranquilla by Using System Advisor Model (SAM), *Energy Procedia*, 57, 497-506.

Haydaroğlu, C. (2017). Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralinin Performans Analizi. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.

Heidenreich, S., Throndsen, W., Sarı, R., Sonetti, G., Ryghaug, M., Kern – Gillard, T., Arrobbio, O., Mourik, R. and Nikolaev, A. (2017). Competitive, Secure, Low – Carbon Energy Supply: A Social Sciences and Humanities Annotated Bibliography, *Shape Energy*, 7, 1 – 52.

Hepbaşlı, A., Özdamar, A. ve Özalp, N. (2001). Present Status and Potential of Renewable Energy Sources in Turkey, *Energy Sources*, 23(7), 33 – 50.

Hepbaşlı, A. (2004). Oil Shale as an Alternative Energy Source in Turkey, *Energy Sources*, 26, 107 – 118.

Irwan, Y. M., Amelia, A. R., Irwanto, M., Leow, W. Z., Gomesh, N., and Safwati, I. (2015). Stand-alone photovoltaic (SAPV) system assessment using PVSYST software. *Energy Procedia*, 79, 596-603.

Jackson, R. B., Down, A., Phillips, N. G., Ackley, R. C., Cook, C. W., Plata, D. L. and Zhao, K. (2014). Natural Gas Pipeline Leaks Across Washington, DC, *Environmental Science & Technology*, 48(3), 2051 – 2058.

IAEA. (2020). <https://www.iaea.org/publications/reports>, Erişim: 10.11.2020

IEA. (2020). Ülkelere Göre Petrol Rezervi (2019) (Milyon Varil). <https://www.iea.org/>, Erişim: 10.12.2020.

IRENA – Renewable Energy. (2020). *IRENA (International Renewable Energy Agency) Resmi İnternet Sitesi*, <https://www.irena.org/>, Erişim: 12.12.2020.

Kahraman, M.Ü. (2018). Kütahya Bölgesi Güneş ve Rüzgar Enerji Potansiyellerinin Tekno-Ekonomik Analizi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Kütahya.

Kanat, H. (2019). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Güneş Enerjisi Yatırımlarını Etkileyen Faktörler: Konya Güneş Enerjisi Yatırımlarının Analizi. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Konya Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.

Kantarcı, M. D. (2003). The Effect of Three Thermo Electric Power Plants on Yerkesik Denizova Forests in Muğla Province (Turkey), *Water, Air, and Soil Pollution: Focus*, 3, 806 – 818.

Kaplan, Y. A. (2015). Overview of Wind Energy in the World and Assessment of Current Wind Energy Policies in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 562 – 568.

Kapluhan, E. (2014). Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Güneş Enerjisinin Dünya'daki ve Türkiye'deki Kullanım Durumu, *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi*, 29, 70 – 98.

Karakoç, H., Karakoç, N., Erbay, B. ve Aras, H. (2012). *Enerji Analizi*, Eskişehir Anadolu Üniversitesi Yayınları, Eskişehir.

Karataş, S. (2009). Türkiye'de Yenilenebilir Kaynaklar İçerisinde Rüzgâr ve Güneş Enerjilerinin Yeri. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Karatepe – Yavuz, N., Yavuz, M., Meriçboyu – Ersoy, A. ve Öztürk, M. (1998). *Kömürün Yakılmasından Kaynaklanan Kirleticiler ve Emisyon Değerleri*, Kömür – Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri, Editör: Kural, O., İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Yayınları, İstanbul.

Keskin, E. (2012). Türkiye İklim Koşullarında Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Tasarımı

ve Maliyet Analizi, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Kocaoğlu, M. (1996). *Petro – Strateji*, Harp Akademileri Yayınları, İstanbul.

Köse, İ. (2018). İklim Değişikliği Müzakereleri: Türkiye'nin Paris Anlaşması'nı İmza Süreci. *Ege Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 9 (1), 55-81.

Kurdoğlu, O. ve Özalp, M. (2010). *Nehir Tipi Hidroelektrik Santral Yatırımlarının Yasal Süreç, Çevresel Etkiler, Doğa Koruma ve Ekoturizmin Geleceği Kapsamında Değerlendirilmesi*, III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi Bildiriler Kitabı, Karadeniz Teknik Üniversitesi (KATÜ) Yayınları, Trabzon.

Külebi, A. (2007). *Türkiye'nin Enerji Sorunları ve Nükleer Gerekliklik*, Bilgi Yayınevi, İstanbul.

Lamb, B. K., Edburg, S. L., Ferrara, T. W., Howard, T., Harrison, M. R., Kolb, C. E., Townsend – Small, A., Dyck, W., Possolo, A. and Whetstone, J. R. (2015). Direct Measurements Show Decreasing Methane Emissions from Natural Gas Local Distribution Systems in the United States, *Environmental Science & Technology*, 49(8), 5161 – 5169.

Mauthner, F. and Weiss, W. (2013). Solar Heat Worldwide (Markets and Contribution to the Energy Supply – 2011), *International Energy Agency Solar Heating & Cooling Programme*. 2013 Edition, AEE – Institute for Sustainable Technologies, USA.

Mehrtash, M., Quesada, G., Dutil, Y. and Rouse, D. (2012). *Performance Evaluation of Sun Tracking Photovoltaic Systems in Canada*, 20th Annual International Conference on Mechanical Engineering-ISME2012. School of Mechanical Eng., Shiraz University Publication, Shiraz, Iran.

Mitchell, T. (2009). Carbon Democracy, *Economy and Society*, 38(3), 399 – 432.

Murray, T. J. (1993). Dr Abraham Gesner: The Father of the Petroleum Industry, *Journal of the Royal Society of Medicine*, 86, 42 – 44.

Obernberger, I. and Thek, G. (2004). Physical Characterisation and Chemical Composition of Densified Biomass Fuels with Regard to their Combustion Behaviour, *Biomass and Bioenergy*, 27(6), 653 – 669.

Oluklulu, Ç. (2001). Güneş Enerjisinden Etkin Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik Modüller, Boyutlandırılmaları ve Mimaride Kullanım Olanakları Üzerine Bir Araştırma, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Omara, M., Sullivan, M. R., Li, X., Subramanian, R., Robinsonand, A. L. and Presto, A. A. (2016). Methane Emissions From Conventional and Unconventional Natural Gas Production Sites in the Marcellus Shale Basin, *Environmental Science & Technology*, 50(4), 2099 – 2107.

OPEC World Oil Outlook – 2020. (2019). *OPEC Resmi İnternet Sitesi*, https://www.opec.org/opec_web/en/. (Erişim Tarihi: 10.12.2020).

Osmanbasic, E. (2019). Challenges of Making Solar Energy Economical. <https://www.engineering.com/DesignerEdge/DesignerEdgeArticles/ArticleID/19841/Challenges-of-Making-Solar-Energy-Economical.aspx> (Erişim Tarihi: 17.12.2020)

Öner, V., Yeşilyurt, M., and Ömeroğlu, G. (2016). Photovoltaic Thermal (PVT) Solra Panels. *IJNTR*, 12(2), ss.13-16.

Özcan, H. (2009). Bir Hibrid Enerji Sisteminin Modellenmesi ve Analizi, (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Özemre, A. Y., Bayülken, A. ve Gencay, Ş. (2000). *50 Soruda Türkiye'nin Nükleer Enerji Sorunu*, Kaknüs Yayınları, İstanbul.

Özger, M. (2007). Dalga Enerjisi Tahmini ve Stokastik Modelleme, (Yayımlanmamış Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Özgün H. (2016). *Fotovoltaik Enerji Sistemleri*, İstanbul: Günder Yayınları.

Özgür, E. (2018). Türkiye'de Güneş Enerjisi. *Türkiye'de Enerji Görünümü*. mmo.org.tr (Erişim Tarihi: 12.12.2020)

Özkan, M. B. ve Karagöz, P. (2015). A Novel Wind Power Forecast Model: Statistical Hybrid Wind Power Forecast Technique (SHWIP), *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 11(2), 375 – 387.

Öztürk, C. (2020). Güneş enerji sistemlerinde verim analizi ve enerji kayıplarının tespiti. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans tezi) Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.

Öztürk, H. ve Kaya, D. (2019). *Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi: Fotovoltaik Teknoloji*. Umuttepe Yayınları.

Öztürk, H.H. ve Küçükerdem, H.K. (2018). Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Elektrik Üretimi. Bassin: Lambert Academic Publishing

Öztürk, H. K., Yıllancı, A. ve Atalay, Ö. (2007). Past, Present and Future Status of Electricity in Turkey and The Share of Energy Sources, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(2), 183 – 209.

Roseno, K., Schmal, M., Brackmann, R., Brito – Alves, R. M. and Giudici, R. (2019). Partial Oxidation of Methane on Neodymium and Lanthanum Chromate Based Perovskites for Hydrogen Production, *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(16), 8166 – 8177.

Safaei, A., Freire, F. and Antunes, C. H. (2015). Life – Cycle Greenhouse Gas Assessment of Nigerian Liquefied Natural Gas Addressing Uncertainty, *Environmental Science & Technology*, 49(6), 3949 – 3957.

Sanchez, E. and Izard, J. (2015). Performance of Photovoltaics in Non – Optimal Orientations: An Experimental Study, *Energy and Buildings*, 87(1), 211 – 219.

Sarı, V. ve Özyiğit, F. (2020). Sivas İlinin Farklı İlçelerinde Şebeke Bağlantılı Güneş Enerji Santrallerinin Tasarımı ve Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (20), 425-437. DOI: 10.31590/ejosat.797434

Sarsıcı, N. (2020). Karabük İlinde Güneş Enerjisi Santrali (Ges) Kurulabilecek Alanların Çok Ölçütlü Karar Analizi ile Tespiti, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, Karabük.

Sayın, S. (2006). *Yenilenebilir Enerjinin Ülkemiz Yapı Sektöründe Kullanımının Önemi ve Yapılarda Güneş Enerjisinden Yararlanma Olanakları*, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Saxena, G. and Gidwani, J. (2018). Estimation of Energy Production of Grid Connected Rooftop Solar Photovoltaic System at Nagar Nigam Kota, Rajasthan, *3rd International Innovative Applications of Computational Intelligence on Power, Energy and Controls with their Impact on Humanity (CIPECH)*, Ghaziabad, India, 45-49, doi: 10.1109/CIPECH.2018.8724134.

Sekuçoğlu, S. A. (2012). Fotovoltaik (Pv), Rüzgâr ve Hibrit Sistemlerin Tasarımı ve Ekonomik Analizi, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Sharma, R. ve Gidwani, L. (2017). RTU Kota kampüs hostelleri için PVSOL premium simülasyon aracını kullanarak şebekeye bağlı güneş PV sistemi tasarımı ve hesaplaması, *2017 Uluslararası Devre, Güç ve Hesaplama Teknolojileri Konferansı (ICCPCT)*, 1-5, doi: 10.1109 / ICCPCT.2017.8074315.

Soysal, Y. (2019). *Biyosistemde Enerji Kullanımı*. Hatay: Gündüz Yayınları.

Statista Research Department. (2020). <https://www.statista.com/study/11644/coal-statista-dossier/>. (Erişim: 08.11.2020).

Şimşek, S. (2018). Fotovoltaik Sistemlerde Verimliliği Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi, (yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

TAEK. (2019). *Nükleer Enerji ve Çevre*, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu (TAEK) Yayınları, Ankara.

Taktak, F. ve Ilı M., (2018). Güneş Enerji Santrali (GES) Geliştirme: Uşak Örneği. *Geomatik*. 3(1); 1-21

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2010). *Türkiye İklim Değişikliği Stratejisi 2010-2023*. Ankara.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2020). [https://www.csb.gov.tr/enerji-kimlik-belgeli-bina-sayisi-1-milyona-ulasti-bakanlik-faaliyetleri-29690#:~:text=Binalarda%20Enerji%20Kimlik%20Belgesi%20\(EKB,bina%20say%C4%B1s%C4%B1%2010%20bini%20a%C5%9Ft%C4%B1](https://www.csb.gov.tr/enerji-kimlik-belgeli-bina-sayisi-1-milyona-ulasti-bakanlik-faaliyetleri-29690#:~:text=Binalarda%20Enerji%20Kimlik%20Belgesi%20(EKB,bina%20say%C4%B1s%C4%B1%2010%20bini%20a%C5%9Ft%C4%B1). (Erişim Tarihi: 02.11.2020).

T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Nükleer Enerji Genel Müdürlüğü Resmi İnternet Sitesi. (2020). Nükleer Enerji. <https://nukleer.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Dunyada-Nukleer-Guc-Santralleri>. (Erişim Tarihi: 11.12.2020).

Terciyanlı, E., Demirci, T., Küçük, D., Saraç, M., Çadırcı, I. ve Ermiş, M. (2014). “Enhanced Nationwide Wind – Electric Power Monitoring and Forecast System”, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(2), 1171 – 1184.

Terzi, Ü. K. ve Alkan, M. (2006). *Dalga Enerjisi Sistemleri, Ekonomisi, Çevresel Etkileri ve Ülkemiz için Ekonomik Açından Değerlendirilmesi*, Türkiye 10. Enerji Kongresi Bildiriler Kitabı – Dünya’da ve Türkiye’de Enerji – Uygulamalar ve Sorunlar: 27 – 30 Kasım 2006, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Yayınları, İstanbul.

Tolunay, D. (2003). “Dendroclimatological Investigation of the Effects of Air Pollution Caused by Yatagan Thermal Power Plant (Mugla – Turkey) on Annual Ring Eidths of Pinus Brutia Trees”, *Fresenius Environmental Bulletin*, 12(9), 1006 – 1014.

Topal, M. ve Arslan – Topal, I. (2008). Biyokütle Enerjisi ve Türkiye, 7. *Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu Bildiriler Kitabı: 17 – 19 Aralık 2008*, Uludağ Üniversitesi, Bursa Belediyesi ve Su Vakfı Ortak Yayını, Bursa.

Topçu, C. ve Yünsel, D. T. (2012). *Çukurova Kalkınma Ajansı Yenilenebilir Enerji Araştırma Raporu*, Çukurova Kalkınma Ajansı, Adana.

Touili, S., Merrouni, A. A., Azouzoute, A., El Hassouani, Y. and Amrani, A. İ. (2018). A Technical and Economical Assessment of Hydrogen Production Potential from Solar Energy in Morocco, *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(51), 22777 – 22796.

Tozlu, C. (2004). Muğla Üniversitesinde Kurulu Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Performans Analizi, (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi), Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.

TPAO. (2020). “Petrol”, *Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) Resmi İnternet Sitesi*, <http://www.tpa.gov.tr>. (Erişim: 10.12.2020).

Turhan, Evren, Özmen – Çağatay, H. ve Keçeci, A. (2015). “Hidroelektrik Santrallerin (HES) Çevresel ve Sosyal Etkileri: Alakır Vadisi Örneği”, *4. Su Yapıları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği (TMMOB) İnşaat Mühendisleri Odası Yayınları, Antalya.

Twidell, J. ve Weir, T. (2005), *Renewable Energy Resources*, New York: Taylor & Francis

Uğur, A., Özden, B., Saç, M. M., Yener, G., Altınbaş, Ü., Kurucu, Y. ve Bolca, M. (2004). “Lichens and Mosses for Correlation Between Trace Elements and ²¹⁰Pb (²¹⁰Po) in the Areas Near Coal – Fired Power Plant at Yatağan, Turkey”, *Journal of Radioanalytical and Nuclear – Chemistry*, 259(1), 87 – 92.

Uğurlu, Ö. (2006). *Türkiye’de Çevresel Güvenlik Bağlamında Sürdürülebilir Enerji Politikaları*, (Yayınlanmamış Doktora Tezi), Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

Uluğbay, H. (2003). *İmparatorluktan Cumhuriyete Petropolitik*, Ayraç Yayınevi, Ankara.

Varınca K. ve Gönüllü T. (2006). Türkiye’de Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Kullanım Derecesi, Yöntemi ve Yaygınlığı Üzerine Bir Araştırma, *I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, Eskişehir

Yalçın, C. ve Yüce, M. (2020). Burdur’da Güneş Enerjisi Santrali (GES) Yatırımına Uygun Alanların CBS Yöntemiyle Tespiti. *Geomatik*, 5 (1), 36-46. DOI: 10.29128/geomatik.561962.

YEGM (2018). Yenilenebilir Enerji Çeşitleri, Tanımları, Gelişimleri, www.yegm.gov.tr/yenilenebilir.aspx, (Erişim Tarihi: 12.12.2020).

YEGM (2020), Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA), www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx, (Erişim Tarihi: 12.12.2020).

Yılmaz, U., Demirören, A. ve Zeynelgil, H.L. (2010). Gökçeada’da Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile Elektrik Enerjisi Üretim Potansiyelinin Araştırılması, *Politeknik Dergisi*, 13 (3), 215-223.

Zhao, L., Li, F., Li, Z., Zhang, L., He, G., Zhao, Q., Yuan, J., Di, J. and Zhou, C. (2019). "Thermodynamic Analysis of the Emptying Process of Compressed Hydrogen Tanks", *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(7), 3993 – 4005.

18.04.2007 Tarihli ve 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu.

03.06.2007 Tarihli ve 5686 Sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Mineralli Sular Kanunu.

10.05.2005 Tarihli ve 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun.

29.12.2010 Tarihli ve 6094 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun.

14.03.2013 Tarihli ve 6446 Sayılı Elektrik Piyasası Kanunu.

12.05.2019 Tarihli ve 30772 Sayılı Resmi Gazete. Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliği.

EK – 1

Araştırma İzin Dilekçesi

Aşağıda bilgileri bulunan yüksek lisans tez çalışmasına Beştepe Enerji Tesisleri Mühendislik Müşavirlik Danışmanlık ve Ticaret Limited Şirketi olarak işletmemizin isminin ve güneş enerjisi santralının üretim bilgilerini kullanılmasına onay verilmiştir.

Gereğini bilgilerinize saygılarımla arz ederim.

I. Öğrenci Bilgileri	
Adı-Soyadı	Hakan Öztürk
Öğrenci Numarası	173105070
Tez Danışmanı	Dr. Öğretim Üyesi Adem YURTSEVER
Anabilim Dalı	Çevre ve Enerji Yönetimi ABD
Programı	Çevre Bilimleri ve Enerji Yönetimi
Lisansüstü eğitim türü	Tezli Yüksek Lisans
II. Araştırma Bilgileri	
Tezin başlığı	Bir Güneş Enerji Santralının Üretim ile Simülasyon Değerlerinin Karşılaştırılması ve Kayıp Analizi: Beştepe Enerji Örneği
Araştırma verilerinin toplanacağı akademik dönem/dönemler	2020/2021 Güz Dönemi
Araştırma yapılacak kurumun adı	Beştepe Enerji Tesisleri Mühendislik Müşavirlik Danışmanlık ve Ticaret Limited Şirketi
Araştırma/veri toplama araçlarının türü	Fizibilite çalışmaları, Elektrik üretim verileri

Tarih ve İmza

ÖZGEÇMİŞ

Hakan Öztürk

EĞİTİM

Üniversite: Turgut Özal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği (2011-2016, burslu)

Anadolu Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü (2006-2011) Eskişehir, Türkiye

Lise: Yahya Kemal Beyatlı Lisesi (2001-2004) Ankara, Türkiye

İŞ TECRÜBESİ

Pozisyon: *Elektrik – Elektronik Mühendisi/ Satış Yöneticisi*
Siemens: 2020-Halen

Pozisyon: *Elektrik – Elektronik Mühendisi/ Satış Mühendisi*
KACO New Energy: 2018-2020

Pozisyon: *Elektrik – Elektronik Mühendisi/ Proje Geliştirme Sorumlusu*
Asunim : 2017-2018

Pozisyon: *Elektrik – Elektronik Mühendisi*
Temmuz 2016 – 2017

Akmeşe Enerji elektrik Proje Mühendislik Danışmanlık İnşaat Taahhüt San. ve Tic. LTD. ŞTİ.
Ankara, Türkiye

Pozisyon: *Elektrik – Elektronik Mühendisi*
Ağustos 2015 – Temmuz 2016

Solarus Enerji Üretim Danışmanlık Sanayi ve Tic. A.Ş. Ankara, Türkiye

Pozisyon: *Stajyer Mühendis*

Temmuz 2013 – Ekim 2013

Technaxx Deutschland GmbH & Co. KG Frankfurt am Main, Almanya (Erasmus+ Stajı)

YABANCI DİL

Dil	Anlama	Konuşma	Okuma	Yazma	Derece
İngilizce	İyi	İyi	İyi	Orta	B2
Fransızca	Başlangıç seviyesi	Başlangıç seviyesi	Başlangıç seviyesi	Başlangıç seviyesi	A2

BİLGİSAYAR BİLGİSİ

- MS Windows Outlook, MS Office (word, Excel, Power-point...)
- Autocad
- C+ Language
- PVsyst
- PVSol
-

SERTİFİKALAR VE KONFERANSLAR

- 2012 Erasmus Yoğun Program Girişimcilik Eğitimi Sertifikası
- 2013 Intocbeys Konferansı Katılımcı sertifikası
- 30 Ocak – 4 Şubat 2012 tarihinde Gazi Üniversitesi, IEEE Türkiye Başkanlar Kurultayı (Katılımcı)
- 23-24 Mart 2012 Genç Anayasa Çalıştayı (Katılımcı)
- 14 – 18 Mayıs 2012 Gençlik Şurası (Katılımcı)
- 1 – 3 Kasım 2012 ICECCO 2012 Kongresi (9th International Conference on Electronics, Computer and Computation) (Görevli ve Katılımcı)
- 7 – 9 Kasım 2013 ICECCO 2013 Kongresi (10th International Conference on Electronics, Computer and Computation) (Görevli ve Katılımcı)
- 2016 Kasım Ankara EMO SMM Eğitimi