



**OLASILIKSAL PROGRAMLAMA İLE ENERJİ ÜRETİMİNİN GÜNEŞ
ENERJİ SANTRALLERİNDE (GES) TAHMİNİ**

Nuran AKKOYUN VAROL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2019

Nuran AKKOYUN VAROL tarafından hazırlanan “OLASILIKSAL PROGRAMLAMA İLE ENERJİ ÜRETİMİNİN GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDE(GES) TAHMİNİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Mehmet DEMİRTAŞ

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Doç. Dr. Sinan KIVRAK

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Erdal IRMAK

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 11/07/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu çalışmanın Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Nuran AKKOYUN VAROL

11/07/2019

OLASILIKSAL PROGRAMLAMA İLE ENERJİ ÜRETİMİNİN GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNDE (GES) TAHMİNİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Nuran AKKOYUN VAROL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2019

ÖZET

Dünyada hızlı nüfus artışı ve fosil yakıt kaynakları rezervlerinin azalışı ile birlikte özellikle güneş enerjisi olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep her geçen gün artmaktadır. Artan enerji ihtiyacını yenilenebilir enerji kaynakları ile akıllı bir yapı formunda karşılayabilmek için akıllı şebekeler geliştirilmiştir. Akıllı şebekelerin temel amaçlarından biri, enerji üretim sürecine yenilenebilir enerji kaynaklarının dâhil edilmesi ve kullanımının artırılmasıdır. Ancak, mevcut elektrik şebekesi sistemlerine kesintili enerji üretimi yapan ve kontrol edilemeyen yenilenebilir enerji kaynaklarının dâhil edilmesi beraberinde çeşitli zorlukları da getirmektedir. Değişken elektrik enerjisi talebinin hangi yenilenebilir kaynak tarafından ne zaman karşılanacağını belirlemek için enerji üretiminin önceden tahmin edilmesi bu zorlukların en önemlilerindendir. Bu sebeple bu çalışmada, atmosferik ölçümleri kullanarak santrale özgü ve saat bazlı enerji üretimini tahmin eden bir model geliştirilmiştir. Bu model makine öğrenmesi yaklaşımları ile oluşturulmuş ve enerji üretimi tahmini yapılmıştır. Çoklu doğrusal regresyon, Powell optimizasyonu ve Markov Chain Monte Carlo simülasyonlarına dayanan olasılıklı programlama gibi çeşitli yöntemler kullanılmış ve tahmin yetenekleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Enerji üretimi analitik yaklaşımla %80 doğrulukla tahmin edilirken, olasılıksal yaklaşımla saat bazlı %95 güven aralığında üst ve alt limitini belirtecek şekilde başarılı tahmin edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar makine öğrenmesi ile atmosferik veriler kullanılarak değişken enerji üretiminin önceden tahmin edilebileceğini göstermiştir. Ayrıca tahmin algoritmalarının, yenilenebilir enerji sistemlerinin mevcut şebekeye entegrasyonunu kolaylaştıracağı ve akıllı şebekeyi daha yaygın hale getireceği değerlendirilmektedir.

Bilim Kodu : 90544
Anahtar Kelimeler : Güneş enerjisi, enerji üretim tahmini, olasılıksal programlama
Sayfa Adedi : 103
Danışman : Doç. Dr. Mehmet DEMİRTAŞ

POWER GENERATION PREDICTION IN SOLAR POWER PLANT (SPP) USING
PROBABILISTIC PROGRAMMING

(M. Sc. Thesis)

Nuran AKKOYUN VAROL

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2019

ABSTRACT

Population growth and energy resource based on fossil fuel depletion increase the demand for renewable energy resources, especially for solar energy in the world. Smart grids have been developed in order to meet the growing energy need in the form of an intelligent structure with renewable energy sources. One key goal of the smart grid initiatives, therefore, increases the ratio of the renewable energy within overall energy power generation. However, the integration of renewable energies into the grid, whose power generation is intermittent and uncontrollable, leads to a number of challenges. It is critical to determine which renewable source will be dispatched to satisfy the variety of customer demands, and predict the energy power in advance. In this study, the energy generation could be modeled based on the weather measurements using the machine learning algorithms and the solar plant oriented power generation could be, thus, predicted hourly. This model was created by machine learning approaches and an energy production estimate was made. A variety of methods such as multiple linear regression, Powell optimization and probabilistic programming based on Markov Chain Monte Carlo simulations were used and their capability of predictions were compared to each other. While energy production is estimated with an accuracy of 80% with an analytical approach, it has been predicted to be successful with a probabilistic approach, indicating the upper and lower limit of 95% confidence interval. These results show that the energy generation could be predictable based on the weather measurements using machine-learning algorithms. In addition, it is considered that estimation algorithms will facilitate the integration of renewable energy systems into the existing grid and make the smart grid more widespread.

ScienceCode : 90544
KeyWords : Solar energy, prediction of energy, probabilistic programming
PageNumber : 103
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Mehmet DEMİRTAŞ

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışma süreci içinde bana yardım ve destek olan, tez çalışma sürecimde tecrübelerini ve bilgisini benden esirgemeyen tez danışmanım Doç. Dr. Mehmet DEMİRTAŞ'a ve süreçte yardımlarından ve desteğinden dolayı Sayın İpek ÇETİNBAŞ'a teşekkürü borç bilirim. Eğitim hayatım boyunca beni destekleyen, pes ettiğimde beni tekrardan motive eden ve öğrenmenin her şeyden önemli olduğunu bize öğreten canım aileme tüm destekleri için teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI	5
2.1. Yenilenebilir Enerji Kavramı ve Önemi	5
2.2. Küresel Isınma ve Çevresel Etkileri.....	7
2.3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Çeşitleri.....	10
2.3.1. Güneş enerjisi.....	10
2.3.2. Rüzgâr enerjisi.....	11
2.3.3. Hidrolik enerjisi.....	12
2.3.4. Jeotermal enerjisi.....	12
2.3.5. Biokütle enerjisi	14
2.3.6. Dalga enerjisi.....	14
3. GÜNEŞ ENERJİSİ.....	17
3.1. FV Paneller.....	17
3.2. Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları.....	18
3.3. Dünyada Güneş Enerjisinin Durumu	22
3.4. Türkiye’de Güneş Enerjisinin durumu	24

	Sayfa
3.5. Güneş Enerjisi Üretiminin Hesabı ve Güneş Enerjisi Santralının Enerji Analizi	26
3.5.1. Güneş enerjisi üretiminin hesabı	26
3.5.2. Üretime etki eden faktörler	41
4. GÜNCEL TEDAŞ 1MWe GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMİ PROJELERİNİN ONAY AŞAMASI İÇİN GEREKLİ İÇERİK	43
4.1. TEDAŞ Proje Onayı Sırasında Gerekli Olan Evraklar	43
4.1.1. Bağlantı anlaşmasına çağrı mektubu	43
4.1.2. Teknik değerlendirme formu (YEGM)	45
4.1.3. GES uygundur yazısı	47
4.1.4. Çevresel etki değerlendirme formu	48
4.1.5. Vekaletname	48
4.1.6. Sistem tasarımcı bilgileri	49
4.2. TEDAŞ Proje Onayı Sırasında Gerekli Olan Hesaplamalar	49
4.2.1. Kablo akım ve gerilim kontrol hesapları	49
4.2.2. Panel invertör uyumluluk hesabı	58
4.2.3. Kısa devre hesapları	63
4.2.4. Topraklama hesabı	67
4.3. TEDAŞ Proje Onayı Sırasında Gerekli Olan Paftalar	68
4.3.1. Santral yerleşim planı	68
4.3.2. YG AG tek hat şeması	69
4.4. GES Projelerinde Kullanılan Lisansız Üretim Programları	70
4.4.1. PVGIS	71
4.4.2. PVWATT	72
4.4.3. SOLARGIS	74
4.4.4. RETSCREEN	75
4.4.5. Güneş enerjisi potansiyeli haritası (GEPA)	76

Sayfa

5. AKILLI ŞEBEKELERDE GÜNEŞ ENERJİSİ ÜRETİMİNİN ZAMANA BAĞLI OLASILIKSAL TAHMİNİ.....	81
5.1. Güneş Enerjisi Santralinde Tahminin Önemi	81
5.2. Materyal ve Metot	82
5.2.1. Boylamsal veri.....	83
5.2.2. İstatistiksel analiz	84
5.2.3. Doğrusal regresyon analizi.....	85
5.2.4. Olasılıksal programlama	86
5.3. Bulgular ve Tartışma.....	90
5.3.1. Verinin görselleştirilmesi ve regresyon analizi.....	90
5.3.2. Doğrusal regresyon analizi.....	91
5.3.3. En çok sonsal kestirici ile tahmin.....	93
5.3.4. Rastlantısal veri üretme ile tahmin.....	94
6. SONUÇ.....	97
KAYNAKLAR	99
ÖZGEÇMİŞ	103

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Bir güneş enerjisi santralindeki bileşen bazındaki kayıplar	27
Çizelge 3.2. Uyduların avantaj ve dezavantajları	34
Çizelge 4.1. Dağıtım şirketleri ve kapsadığı iller	44
Çizelge 4.2. YEGM teknik değerlendirme formu.....	46
Çizelge 4.3. Tablo A.52-17 (52-E1) birden fazla devre ya da birden çok çok çekirdekli kablo grupları için indirgenme faktörleri (IEC 60364-5-52)	51
Çizelge 4.4. Tablo A.14 30 C sıcaklıktan farklı hava sıcaklıklarında döşenmiş kablolar için düzeltme faktörleri.....	52
Çizelge 4.5. Panel katalog değerleri	52
Çizelge 4.6. 20 C dan farklı toprakta kanal içindeki kabloların akım taşıma kapasitelerine uygulanacak düzeltme faktörleri	55
Çizelge 4.7. Toprağın termik direncinin 2,5 k-m/W den farklı olduğu yerlerde gömülü kanal içindeki kablolarda D yöntemi için akım taşıma kapasitelerine uygulanacak düzeltme faktörleri	55
Çizelge 4.8. Toprağa gömülü kanal içinde bir devreden fazla kablolar için zayıflatma faktörleri Tablolar A.2-A.5 de D tesisat yöntemi için	56
Çizelge 4.9. İnvertör AA katalog verileri	56
Çizelge 4.10. Panel ve invertör katalog verileri.....	59
Çizelge 4.11. Panel invertör uyum hesabı özeti.....	63
Çizelge 4.12. Topraklama hesabı için gerekli olan bilgiler	67
Çizelge 4.13. PVGIS programının simülasyon sonuçları	72
Çizelge 4.14. Yapılan çalışmaların radyasyon sonuçları	77
Çizelge 4.15. Yıllık elde edilen kazanç	78
Çizelge 5.1. Saate göre ortalama ölçümler	92
Çizelge 5.2. Saate bağlı tahmin edilme fonksiyonu katsayıları, gözlemsel hata ve performansı	93
Çizelge 5.3. Olasılıksal bilinmeyen değişkenlerin sonsal parametrelerin tahmin edilmesi	95

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Sıvı fosil yakıt üretimi ve talebinin tahmini	5
Şekil 2.2. 1990-2015 yılları arasındaki yenilenebilir enerji kullanımı ve petrolün varil fiyatının (\$) değişimi	7
Şekil 2.3. Kişi başına düşen CO ₂ gazı salımı (1960-2010).....	9
Şekil 3.1. FV yapı, a) FV hücrenin kesiti, b) FV hücre, modül ve panel yapısı	18
Şekil 3.2. Odaklamalı sistemlerin genel yapısı, a) çizgisel odaklamalı, b) noktasal odaklamalı, c) ışınım yansıtmalı	20
Şekil 3.3. a) Sabit FV Sistemler ve b) hareketli FV sistemler	21
Şekil 3.4. İspanya yer alan güneş santrallerinin 2010-2018 yılları arasındaki kurulu gücünün yıllara göre değişimi	22
Şekil 3.5. Dünyadaki güneş enerjisi santrallerinin kurulu güçlerinin yıllara göre değişimi	23
Şekil 3.6. FV modüllerin maliyetinin değişimi.....	24
Şekil 3.7. Türkiye'nin aylara göre güneşlenme süreleri	25
Şekil 3.8. Bir panel kataloğunda verilen sıcaklık katsayıları.....	29
Şekil 3.9. Panel üzerinde oluşan farklı parçalı gölgelenmeler.....	30
Şekil 3.10. Panel üzerindeki hücrelerin tamamen gölgelenmesi durumu	31
Şekil 3.11. Dikey gölgelenme ve gölge boyu hesabı	32
Şekil 3.12. Modül sıcaklığının enerji üretimine etkisi.....	35
Şekil 3.13. Farklı panel türlerinin modül performans oranına etkisi, a) Güneş radyasyonunun etkisi, b) Modül sıcaklığının etkisi.....	37
Şekil 3.14. Ankara ili için enerji üretiminin veri tabanı kullanılarak ay bazında öğrenilmesi	39
Şekil 3.15. Ankara için güneş panellerinden üretilen enerjinin ay bazında gösterimi....	39
Şekil 3.16. Hareketli platform üzerine kurulu bir panelin aylar bazında enerji üretimi .	40
Şekil 4.1. Bağlantı anlaşmasına çağrı mektubu örneği	45
Şekil 4.2. “Ges Uygun” örnek yazısı.....	47

Şekil	Sayfa
Şekil 4.3. “ÇED Belgesi” örnek yazısı	48
Şekil 4.4. “Vekâletname” örneği	49
Şekil 4.5. Etap açılış sayfası	64
Şekil 4.6. Örnek malzeme seçimi	65
Şekil 4.7. Örnek tek hat.....	65
Şekil 4.8. Kısa devre analizi	66
Şekil 4.9. Kısa devre hesap raporu.....	66
Şekil 4.10. Örnek bir santral yerleşim paftası.....	69
Şekil 4.11. YG AG tek hat pafta örneği.....	69
Şekil 4.12. Çatının programlar kullanılarak tasarlanması, a) Autocad programıyla tasarım, b) Sketchup programında tasarım.....	71
Şekil 4.13. PVGIS hesaplama ekranı.....	71
Şekil 4.14. PVWATT programının simülasyon sonucu	73
Şekil 4.15. SOLARGIS programının simülasyon sonucu	75
Şekil 4.16. RETSCREEN programının simülasyon sonuçları.....	76
Şekil 5.1. 2010 ile 2018 yıllarını kapsayan dünya FV kurulu gücünün değişimi	82
Şekil 5.2. Hollanda’da yer alan santrale ait mevsimsel meteorolojik ölçümler.....	85
Şekil 5.3. Bilinmeyen değişkenlerin dağılımı.....	89
Şekil 5.4. Günlere bağlı enerji üretimi ve doğrudan radyasyon	90
Şekil 5.5. Enerji üretimi ve meteorolojik ölçümler arasındaki korelasyon analizi.....	91
Şekil 5.6. Saate bağlı enerji üretim değişimi	93
Şekil 5.7. Zamana bağlı gerçek ve tahmin edilen enerji üretimi	94
Şekil 5.8. Saat 16.00’da 160. günde üretilecek enerjinin tahmini	96
Şekil 5.9. Mayıs-Haziran ayları enerji üretiminin %95 güven aralığında olasılıksal tahmini ve beklenen değerleri.....	96

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 2.1. 50m yükseklikteki rüzgâr hızı haritası.....	11
Harita 2.2. Türkiye jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası.....	13
Harita 3.1. Türkiye'nin toplam güneş radyasyonu haritası.....	25
Harita 4.1. Tesis yeri (kırmızı) ve PVWATT programının istasyon yerinin (mavi) gösterimi	73
Harita 4.2. SOLARGIS programına ait Türkiye'nin radyasyon haritası	74
Harita 4.3. Tesis yeri (kırmızı) ve RETSCREEN programının istasyon yerinin (ev) gösterimi	75
Harita 4.4. GEPA Türkiye radyasyon haritası	76
Harita 4.5. GEPA Ankara Radyasyon Haritası.....	77

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

A	Amper
GW	Gigawatt
kWh	Kilowattsaat
m³	Metreküp
MW	Megawatt
TWh	Terawattsaat
V	Volt
W	Watt

Kısaltmalar

Açıklamalar

AA	Alternatif Akım
DA	Doğru Akım
EDAŞ	Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
EPEC	Avrupa Yenilenebilir Enerji Konseyi
FV	Fotovoltaik
GEPA	Türkiye Güneş Potansiyel Atlası
GES	Güneş Enerji Santrali
IRENA	Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
MCMC	Monte Carlo Markov Zinciri
OAPEC	Petrol İhraç Eden Arap Ülkeleri Birliği
OPSD	Açık Kaynak Güç Sistem Datası
REPA	Türkiye Rüzgâr Potansiyel Atlası
TEDAŞ	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisine olan ihtiyaç gelişen teknoloji ile daha da artmaktadır. Artan elektrik enerjisi talebini karşılamak için kurulan santrallerin büyük çoğunluğu fosil kaynaklardan enerji üretmektedir. Fosil kaynakların rezervleri sınırlı olmakla birlikte dünyada üzerindeki dağılımı ülkelere göre değişkenlik göstermektedir. Ülkemiz fosil kaynaklar bakımından fakir sayılabilecek bir seviyededir. Fosil kaynak ihtiyacımızın büyük çoğunluğu ithal etme yöntemiyle karşılanıp, ithal edilen fosil kaynakların büyük bölümünden de elektrik enerjisi üretilmektedir. Ülkemiz açısından fosil kaynakların bu denli önemli olması enerji arz güvenliğimizin tehlike altında olabileceğinin göstergesidir. Fosil kaynakların kullanımının getirdiği çevresel sorunlar da mevcuttur. Yapısal bakımından karbon kaynaklı olan fosil kaynaklar yakıldıklarında yani enerji üretimi için kullanıldıklarında, içeriğindeki karbon gazlarını salarak çevre kirliliğine neden olmaktadır.

Dünya atmosferinin troposfer katmanında, dünya sıcaklığının belirli bir seviyede tutulmasını sağlayan sera etkisi yaratan gazlar bulunmaktadır. Troposferdeki bu tabakanın oluşması doğal olarak gerçekleşmiştir. Fakat artan fosil kaynak kullanımından dolayı katmanda bulunan sera gazlarının oranının yükselmesi dünyanın daha fazla ısınmasına neden olmaktadır. Bunun sonucu olarak iklimsel değişiklikler ve şiddetli meteorolojik olaylar meydana gelmektedir. Örneğin, ülkemizde son yıllarda hortum olayları gözlenmeye başlamıştır. Artan sera gazı etkisi ile meydana gelen küresel ısınma bazı coğrafyalarda kuraklığa neden olurken diğer coğrafyalarda aşırı yağışlara neden olarak heyelan gibi farklı doğal afetlere sebebiyet verecektir.

Artan enerji talebini karşılamak ve fosil kaynakların neden olduğu karbon gazı emisyonunun azaltılması için yenilenebilir enerji kaynakları gündeme gelmiştir. Kyoto Protokolü ile Avrupa Birliğinin politikalarında değişikliklere gidilmiştir. Ayrıca bazı ülkeler enerji yatırımlarında düzenlemeler yapmış ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı için hedefler belirlenmiştir. Gelişen teknoloji ile beraber birçok yenilenebilir enerji kaynağından enerji üretimi yapmak mümkün hale gelmiştir. Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidrolik enerji, biokütle enerjisi, jeotermal enerji ve dalga enerjisi yenilenebilir enerji kaynaklarına örnek olarak verilebilir.

Akıllı şebekeler günümüzde yenilenebilir enerji santrallerinin artması ile daha da önemli hale gelmiştir. Bu şebekeler mevcut enterkonnekte sisteminden farklı olarak bünyesinde barındırdığı sensörler sayesinde kullanıcılar tarafından enerji üretimi, iletimi ve dağıtımının incelenebilmesine olanak sağlamaktadır. Oluşabilecek durumlar karşısında gerekli aksiyonlar gerçekleştirilmekte ve böylece sistemin güvenilirliği arttırılmaktadır. Ülkemizde ve dünyada birçok yatırım ve planlamalar akıllı şebekelere yönelik olarak yapılmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi ülkemizde de gün geçtikçe artmaktadır. Türkiye'nin kurulu gücünün 38.907,9 MW'lık kısmı yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretimi yapan santrallerdir. Bu kurulu gücün büyük bir kısmı olan 27.912 MW hidrolik enerji ile üretim yapan santrallere aittir. Hidrolik enerjiyi güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi izlemektedir. Ülkemiz yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin olmakla beraber yenilenebilir enerjiye yapılan yatırımlar ile fosil yakıt ithalatı azaltılabilir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından özellikle güneş enerjisi ülkemizde de yapılan yatırımlar ile popülerleşmektedir. Ülkemiz, konumu itibarıyla güneş enerjisinden verimli olarak yararlanabilecek durumdadır. Özellikle Güneydoğu Anadolu bölgesi, Akdeniz Bölgesi, Doğu Anadolu ve İç Anadolu bölgeleri güneş enerjisi bakımından elverişli durumdadır.

Mevcut enterkonnekte sisteme bağlanma konusunda yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili en temel problem meteorolojik ve çevresel faktörlerin enerji üretimini direkt olarak etkilemesidir. Dünyaya gelen global güneş radyasyonu yani güneş ışıınımı her bölgede farklılık göstermektedir. Çevresel etkenlerden etkilenen güneş enerjisi santrallerinde üretim değerlerini tahmin etmek önemlidir.

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynakları ve güneş enerjisi ilk bölümlerde anlatılmış, sonrasında ülkemizde GES projeleri onayı için gerekli evraklar, hesaplar ve paftalar ayrıntılı bir şekilde anlatılıp, basit bir amortisman hesabı lisansız veya deneme sürümü olan programlarla yapılmıştır. Bu bölümlerde canlı bir sistem olan GES de üretimde sadece radyasyon diğer çevresel etmenlerinde etkisi olduğu ve üretim değeri tahminin yatırımlar için önem arz ettiğine değinilmiştir. Son bölümde güneş enerjisi üretimini zamana bağlı olasılıksal tahmini ve tartışmasını içermektedir. Bu bölümde ülkemizde veri bulamamız

nedeniyle OPSD üzerinden Hollanda ülkesine ait veriler üzerinde çalışma yapılmıştır. Tez bu bölüm ile birlikte toplamda beş bölümde sunulmuştur.

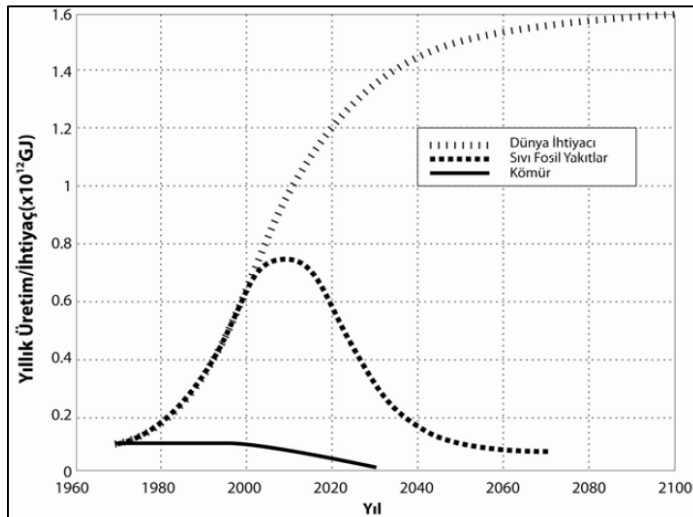


2. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

2.1. Yenilenebilir Enerji Kavramı ve Önemi

Yenilenebilir enerji kavramı tanım olarak, sürekli olarak kendini yenileyen ve doğada var olan enerji kaynakları için kullanılan bir tabirdir. Yenilenebilir enerji kaynakları, petrol ve doğalgaz gibi birincil enerji kaynaklarının aksine enerji üretimi sırasında çevreye zarar vermezler. Fosil kaynakların kullanıldığı enerji tesislerinde, elektrik enerjisi üretimi için yakılan bu kaynaklar karbon gazı salımı yaparak küresel iklim değişikliğine neden olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları çok çeşitli şekillerde karşımıza çıkmakla beraber, bu kaynakları başlıca güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidrolik enerjisi, biokütle enerjisi, jeotermal enerji ve dalga enerjisi olarak sıralamak mümkündür [1].

Yenilenebilir enerjinin günümüzde daha da popüler hale gelmesindeki temel nedenlerinden bazıları; fosil enerji kaynaklarının hızla tükenmesi, fosil kaynakların kullanımıyla neticesinde çevreye verilen zarar ve enerji arz güvenliğidir. Yapılan araştırmalar doğrultusunda dünya genelinde enerji ihtiyacının giderek artması beklenirken bu doğrultuda petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil enerji kaynaklarının hızla tükeneceği öngörülmektedir [2]. Şekil 2.1’de sıvı fosil yakıt üretimi ve talebinin tahmin grafiği verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde dünyanın ihtiyaç duyacağı yakıt miktarı hızla artarken, sıvı fosil yakıtların bu talebi karşılamada yeterli olmayacağı ve giderek azalacağı görülmektedir [1].

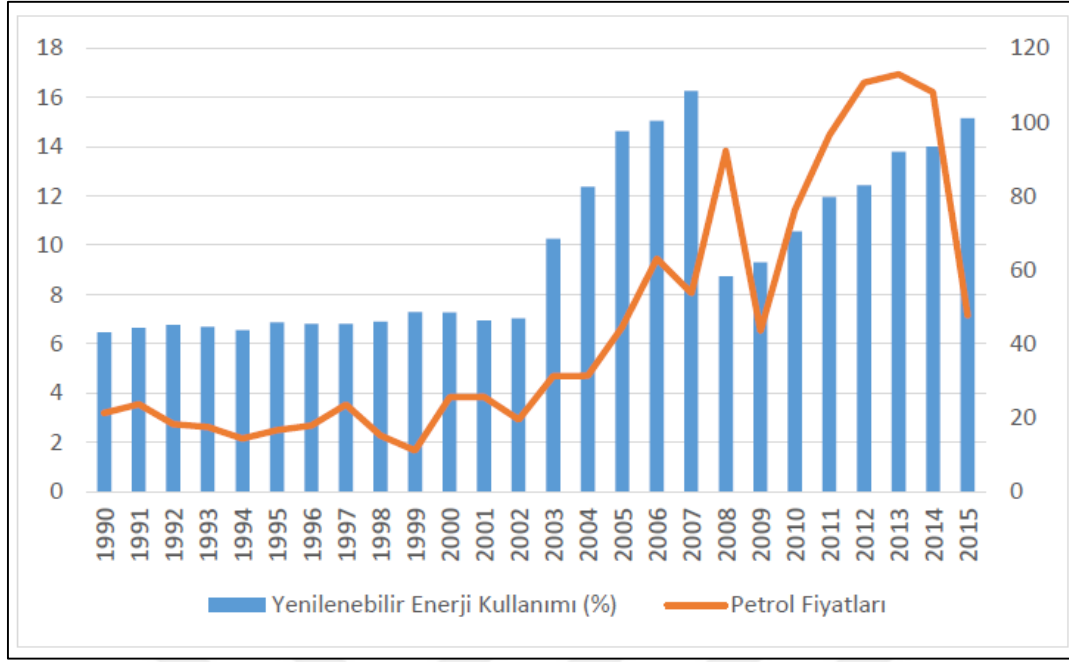


Şekil 2.1. Sıvı fosil yakıt üretimi ve talebinin tahmini [1]

Küresel iklim değişikliği çok önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Fosil kaynakların kullanımı sonucu atmosfere yayılan karbon gazı nedeniyle meydana gelen bu sorun nedeniyle Birleşmiş Milletler adım atarak İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne ek olarak Kyoto Protokolünü hazırlamış ve bu protokol nerdeyse bütün ülkeler tarafından kabul edilmiştir. Protokol çerçevesinde karbon gazı salımının azaltılması kabul edilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi yapılırken doğayı kirletmemesi sebebiyle fosil enerji kaynaklarına alternatif oluşturarak ilgi çekmiştir.

Yenilenebilir enerjinin kullanımının artmasında enerji arz güvenliği önemli bir etkidir. Türkiye gibi fosil kaynaklar bakımından fakir ülkeler bu kaynakları ithal etmekte ve bu durum ise enerji konusunda dışa bağımlılık yaratmaktadır. Türkiye'de petrol, doğal gaz ve kömür rezervleri olmasına rağmen, tüketimi karşılayacak kadar üretim yapılabilecek rezerv bulunmamaktadır. Örneğin, 2011 yılı verilerine göre Türkiye doğal gaz ihtiyacının yalnız %2'lik kısmını üretebilmiştir. Geri kalan doğal gaz ihtiyacı ise ithal edilerek sağlanmış ve ithalatta en büyük paya sahip ülke ise Rusya olmuştur [3]. Buradan da anlaşılacağı üzere, dışa bağımlılığının etkisinin azaltılmasının yollarından en önemlisi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektir.

Enerji için dışa bağımlılığın sebep olacağı sorunlara 1973 Petrol krizi örnek olarak verilebilir. Petrol İhraç Eden Arap Ülkeleri Birliği (OAPEC) 15 Ekim 1973 tarihinde başlattığı ambargo ile Arap-İsrail savaşında İsrail tarafına destek sağlayan ülkelere karşı petrol satışını durdurmuştur. Bunun sonucunda petrol fiyatları hızla artmış ve tüketici ülkelere olumsuz etkiler göstermiştir. Artan üretim maliyetlerinden dolayı ülke ekonomilerinde daralmalar gözlenmiştir [4]. 2000'li yıllar ile tekrar yükselişe geçen petrol fiyatları nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarından yapılan üretimde hızlı bir artış olmuştur [2]. Yenilenebilir enerjinin yıllara göre kullanım yüzdesi ile o yıllardaki petrolün dolar cinsinden varil fiyatlarının değişimi Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2. 1990-2015 yılları arasındaki yenilenebilir enerji kullanımı ve petrolün varil fiyatının (\$) değişimi [2]

Yukarıda belirtilen nedenler yenilenebilir enerjinin ülkeler için önemini vurgulamaktadır. Avrupa Yenilenebilir Enerji Konseyi (EPEC, 2006) 2040 yılından itibaren enerji ihtiyacının yaklaşık olarak yarısının yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanacağını öngörmektedir. Ayrıca 2040 yılına kadar olan süreçte yenilenebilir enerji kaynakları içindeki en önemli gelişmeleri güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisinin göstereceği düşünülmektedir [1].

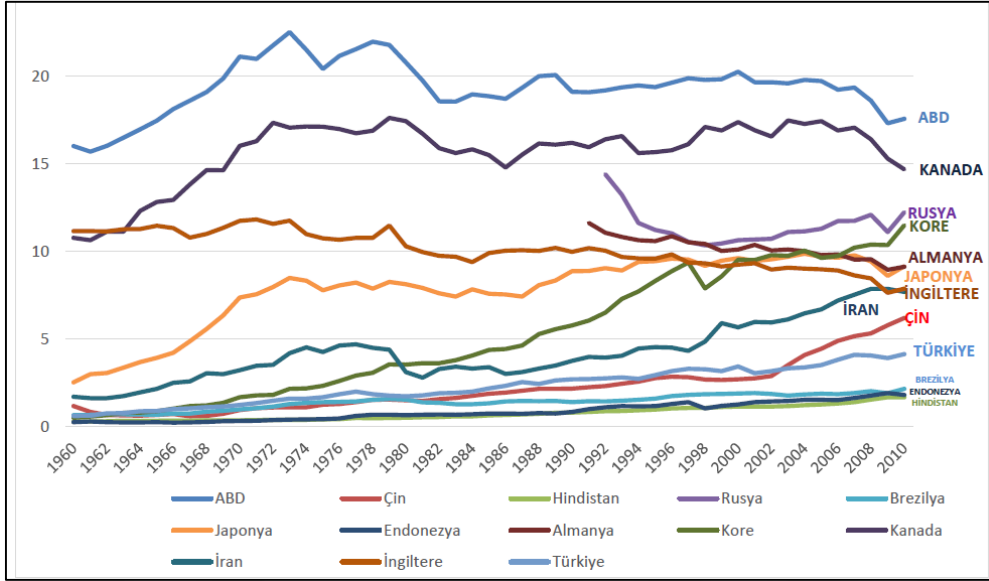
2.2. Küresel Isınma ve Çevresel Etkileri

Küresel ısınmanın temel nedeni olarak sera etkisi yaratan gazların atmosferdeki birikiminin yıllar içinde artışı gösterilmektedir. Bu nedenle küresel ısınmanın daha anlaşılır olması sera etkisinin anlaşılması ile ilgilidir. Dünya atmosferinde birçok gaz bulunmasına karşın bu gazlardan bazıları sera etkisini yaratan gazlardır. Atmosferde bulunan karbondioksit (CO₂) gazı, metan (CH₄) gazı ve azot dioksit (NO₂) gazı gibi gazlar troposfer katmanına kadar atmosferde bulunarak sera etkisi yapmaktadır. Bu gazlar, Güneş'ten gelen ısıнын bir kısmını tutarak yer kürenin ortalama sıcaklığını 15°C seviyesinde olmasını sağlamaktadır. Sera gazlarının atmosferde bulunan diğer gazlara göre oranı (%0,1'den az) çok düşük olmasına rağmen çok önemli bir görevi yerine getirmektedir. Atmosferde sera gazlarının bulunmadığı durum incelenmiş ve Dünya'nın

ortalama sıcaklığının -18°C civarında olacağı hesaplanmıştır. Buradan anlaşılabacağı üzere sera gazlarının atmosferde bulunmasının sonucu olarak sera etkisi insan yaşamı için gereklidir. Ancak küresel ısınmanın temel sebebi sera gazlarının var olması değil insan faaliyetleri sonucu sera gazlarının atmosferdeki birikiminin artmasıdır [5].

Sera gazları içerisinde %82 yoğunluğa sahip olan CO_2 gazı, bu gazlar içerisinde en belirleyici gazdır ve gün geçtikçe atmosfere salınan CO_2 gazı miktarı artmaktadır. Bu artışın temel nedeni fosil kaynakların bilinçsiz, aşırı ve verimsiz olarak kullanılmasıdır. Fosil kaynakların kullanımındaki artış ise 18.yy sonlarına doğru başlayan sanayi devrimi ile açıklanabilir. Sanayi Devriminden günümüze kadar geçen sürede yaklaşık olarak üçte bir oranında arttığı saptanmıştır. Küresel ısınmaya etkisi bakımından enerji tüketimi ilk sırada olmakla beraber bunun nedeni fosil yakıt kaynaklarının enerji üretiminde kullanılmasıdır [5].

Sera gazı salımının azaltılması için Dünya genelinde çalışmalar ve anlaşmalar yapılmasına rağmen, CO_2 salımı yüksek olan ülkeler, salımı azaltmak için ortaya konulması gereken eylemlerin ekonomilerine zarar vereceğini öne sürmekte ve eyleme geçme konusunda gecikmeler yaşanmaktadır. Yüksek CO_2 gazı salımı yapan bazı ülkeler ve bu ülkelerdeki kişi başına düşen salım miktarı Şekil 2.3’de verilmiştir. Kişi başına düşen CO_2 gazı salımında ABD ilk sırada yer alırken nüfus yoğunluğu göz önünde bulundurulduğunda en yüksek sera gazı salımında Çin öndedir. Türkiye CO_2 salımını sıfırlasa bile bu oran Çin’in sadece %5 oranında CO_2 salımını azaltılmasına denk gelmektedir. Bu sebeple ABD, Çin, Brezilya, Rusya ve Hindistan gibi emisyon miktarları yüksek olan ülkelerin ciddi önlemler alarak sera gazı emisyonlarını azaltması gerekmektedir [6].



Şekil 2.3. Kişi başına düşen CO₂ gazı salımı (1960-2010) [6]

Dünya var olduğundan beri büyük doğal afetler nedeniyle çok uzun süren iklim değişikliğine maruz kalmıştır. Küresel ısınma ise insan faaliyetleri sonucu dünya ikliminde oluşan doğal olmayan değişime neden olmaktadır. Küresel ısınma ile beraber kutuplarda ve yüksek dağ zirvelerinde bulunan buzullarda erimeler meydana gelmiş ve hala erime devam etmektedir. Bu erimenin doğal sonucu olarak deniz seviyesinde büyük artışa neden olmuştur. Hollanda ve Danimarka gibi ülkelerin gelecekte deniz seviyesinin altında kalması olası bir küresel ısınmanın sonucudur. Küresel ısınma ile ülkeler sadece sular altında kalmayacak aynı zamanda bazı ülkeler kavurucu sıcaklar ile uğraşacak ve çölleşme ile yüzleşecektir. Kavurucu sıcakların neden olacağı orman yangınları sonucu kuraklaşma artacak ve atmosfere CO₂ gazı salımına neden olacaktır. Atmosferin ısınması ile eriyen buzullar bünyelerinde bulunan CO₂ gazını atmosfere salacaklar, denizlerden ve okyanuslardan da atmosfere CO₂ gazı salımı artacaktır. Kasırga ve hortum gibi atmosfer felaketlerinde de artış gözlenecektir. Birçok nehir ve göl havzaları küçülerek kuraklık artacaktır [5]. Kuraklığın artması beraberinde birçok sorunu da getirecektir. Bu sorunlar temel olarak ekonomik, çevresel ve sosyal sorunlar olmak üzere üç ana başlıkta toplanmaktadır. Oluşacak sorunlar birbirlerini etkileyecektir. Örneğin, kuraklık sonucu olarak tarımsal ürün üretiminde azalma gözlenecektir. Bunun sonucu olarak işsizlik, hükümetlerin vergi gelirinde düşüş ve çiftçi gelirlerinde düşüş olmasının yanı sıra yiyecek üretiminde düşüşe neden olacağı açıktır. Yiyecek üretiminde meydana gelecek azalma beraberinde birçok sosyal etkiyi doğuracaktır. Bu sorunların ise sosyal huzursuzluk, kıtlık ve göç olaylarını tetikleyeceği tahmin edilmektedir [7].

2.3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Çeşitleri

Elektrik enerjisi üretiminde kullanılan fosil yakıtlar sera etkisini artıran CO₂ gazı salımının en yüksek orana sahip olduğu sektör olduğundan çevre dostu olan yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır [8]. Sera etkisini arttırmasının yanında, fosil kaynaklar birçok coğrafyada bulunmadığından ülkeler dışa bağımlı şekilde yüksek ithalat masrafları ile karşı karşıya kalmaktadır. Ayrıca azalan fosil kaynak rezervleri, dünyanın her ülkesinde değişik türleri bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini gözler önüne sermektedir [9]. Fosil kaynak rezervleri bakımından fakir olan ülkemiz, bunun aksine yenilenebilir enerjinin birçok çeşidinde oldukça yüksek potansiyele sahiptir [10]. 21.04.2019 tarihi ile ülkemizin yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak üretim yapan tesislerinin toplam kurulu gücü 38.907,9 MW olup Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün internet sitesinde sunulmaktadır [11].

2.3.1. Güneş enerjisi

En önemli ve güçlü enerji kaynağı olan güneş, yeryüzüne her sene dünyanın ihtiyacı olan toplam enerjiden çok daha fazla enerjiyi radyasyon yolu ile yollamaktadır. Güneş enerjisi sürekli olmakla beraber bedava bir enerji kaynağıdır [12]. Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi dışında birçok alanda faydalanılmaktadır. Başlıca güneş enerjisinin kullanım alanları; kont ve iş yerlerinin iklimlendirilmesinde, ülkemizde de popüler olarak sıcak su temini, seraların ısıtılmasında ve tarım ürünlerinin kurutulmasında, güneş fırınlarında, sinyalizasyonda, ulaşım ve iletişim araçlarında şeklinde sıralamak ve örnekleri arttırmak mümkündür [13, 28]. Güneşten enerji üretiminin birçok çeşidi olmakla beraber temel olarak, ısı güneş teknolojileri ve fotovoltaik (FV) piller olmak üzere iki ana gruba ayırmak mümkündür. Isı güneş teknolojilerinde ilk olarak güneş yardımıyla ısı elde edilir ve sonrasında elektrik üretiminde kullanılır. FV pillerde ise güneş ışınları yarı-iletken malzemeden yapılmış olan hücreler üzerine düşerek elektrik enerjisi üretmektedir [12]. Son yıllarda yapılan araştırmalar ile FV pillerin verimlilikleri artmıştır [8]. Bunun yanı sıra, yakıtı ihtiyaç duyulmaması, işletilmesinin kolay olması, uzun yıllar çalışabilmesi ve mekanik olarak hareket eden parçasının olmaması sebebiyle mekanik yıpranmanın olmaması FV panellere olan ilgiyi arttırmaktadır [12].

Türkiye’deki Kurulu rüzgar enerjisi santrallerinin toplam gücü 2012 yılında 2.312 MW iken bu sayı 2018 yılında 7.005 MW olmuştur. 2012-2018 yılları arasında rüzgâr santralleri kurulu gücü 2 kattan fazla artış göstermiş olmakla beraber, 2018 yılında 19.882 milyar kWh elektrik enerjisi üretilmiştir [10, 15].

2.3.3. Hidrolik enerjisi

Hidrolik enerji güneş enerjisinin dönüşmesi sonucu oluşan bir enerjidir. Bu enerji dönüşümü su döngüsü sayesinde olmaktadır. Hidroelektrik enerji santralleri suyun sahip olduğu kinetik enerji sayesinde elektrik enerjisi üretmektedir. Serbest olarak akan su kaynağı veya yüksek bir noktada depolanarak akıtılan su, türbinleri çevirerek jeneratörlere hareket verir ve dolayısıyla elektrik enerjisi üretilmiş olur [14].

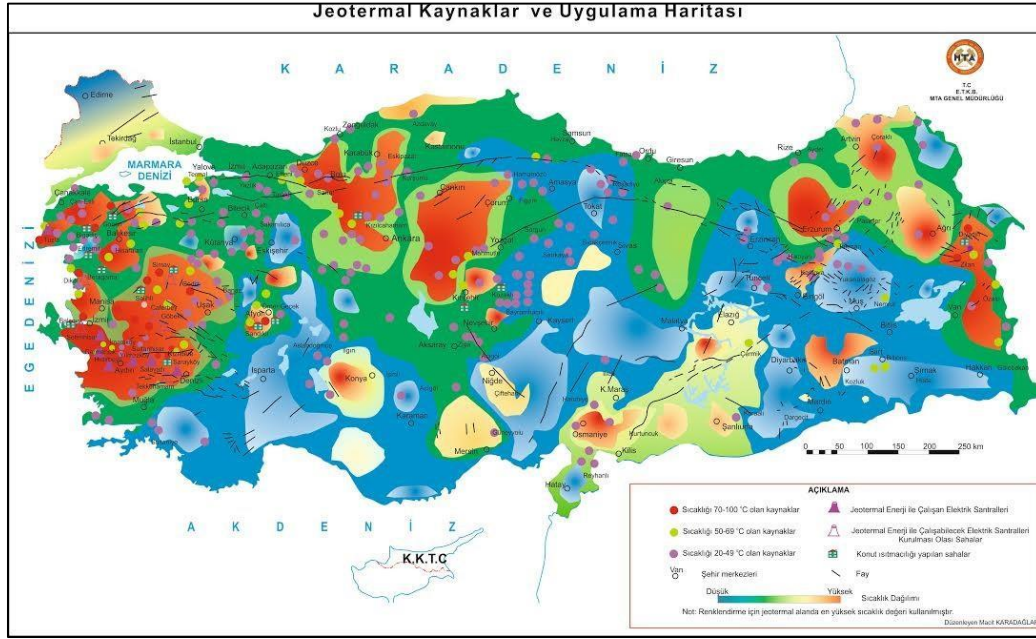
Yağış rejimindeki değişiklikler hidroelektrik santralden enerji üretimini doğrudan etkilemekte ve yıllara göre üretimde farklılıklar görülebilmektedir. Bunun yanı sıra barajların yapılmasının kullanımda olan toprakların sular altında kalması ve bu toprakların boşaltılması, arazi yapısında değişiklik, bitki varlığı ve hayvan varlığı üzerinde olumsuz etkileri olmaktadır [9, 14]. Buna karşın taşkınları önleme, akarsuların rejimlerini kontrol edebilme yeteneği sağlaması, tarımsal sulamaya olanak sağlama ve içme suyunun temini olumlu etkileri de mevcuttur [14].

Türkiye bağlamında hidrolik enerji çok büyük bir öneme sahip yenilenebilir enerji kaynağıdır. Ülkemiz 140 milyar kWh/yıl gibi ekonomik hidroelektrik potansiyeline sahiptir. 2017 yılında üretilen enerjinin 58,2 milyar kWh’lik kısmı hidroelektrik santrallerde üretilmiştir. Türkiye’nin toplam kurulu gücünün %32’lik kısmını 2018 yılı Haziran ayı ile birlikte hidroelektrik santralleri oluşturmaktadır. Bu oran toplam güçleri 27.912 MW olan 636 adet hidroelektrik santrali sayesinde sağlanmıştır [17].

2.3.4. Jeotermal enerjisi

Yer kabuğunun altında doğal olarak bulunan, atmosferik sıcaklıktan daha fazla sıcaklığa sahip olan doğal su kaynakları jeotermal enerjiyi oluşturur. Bunun yanı sıra yer kabuğunda sıcak kuru kayalar bulunmaktadır. Yapılan düzenekler ile su, buhar veya gazlar sıcak kuru kayalara yollanarak ısının elde edilmesiyle enerji üretilebilir [14]. Aktif fayların çok olduğu Türkiye, buna bağlı olarak jeotermal enerji bakımından zengin bir konumdadır.

Yapılan incelemelere göre, Türkiye’de 1000 kadar sıcak su kaynağı barındırmakla beraber en büyük potansiyele sahip bölge Batı Anadolu Bölgesidir [10]. Türkiye jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası Harita 2.2’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere, Batı Anadolu’dan sonra İç Anadolu Bölgesi, Marmara Bölgesi ve Doğu Anadolu Bölgesi jeotermal enerji bakımından zengindir [10, 18].



Harita 2.2. Türkiye jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası [18]

Türkiye’de bulunan jeotermal enerji kaynaklarının büyük çoğunluğu elektrik enerjisi üretiminden ziyade ısıtma uygulamaları için elverişlidir. Elektrik enerjisi üretimine uygun olan sıcaklık yaklaşık 150°C’dir ve yaklaşık olarak ülkemizdeki jeotermal enerji kaynaklarının %5’lik kısmına denk gelmektedir [9, 10].

Jeotermal enerji kaynakları yüksek verimlilikte enerji dönüşümüne sahip olmakla beraber yenilenebilir enerji kaynaklarının birçoğunda dezavantaj olan zamana bağımlılık jeotermal enerjide bulunmamaktadır. Jeotermal kaynaklar bünyelerinde barındırdıkları mineraller nedeniyle kurulan tesislerde önlemler alınması gerekebilir. Bunun haricinde ülkemizde de yoğun olarak kullanılan geri basım tekniği ile jeotermal enerji kaynaklarının sürdürülebilirlik özelliği korunmaktadır [14].

2.3.5. Biokütle enerjisi

Biokütle enerjisi, temelinde güneş enerjisini fotosentez yoluyla kimyasal enerjiye dönüştüren bitkilerin bünyesinde bulundurduğu enerji olarak tanımlanabilir. Biokütle enerjisi çeşitli olmakla beraber temel olarak üç kısımdan oluşmaktadır. Birinci nesil biokütle enerjisi, tarımsal atıklar, evsel atıklar, orman ve ahşap endüstrisi atıklarının doğrudan yakılması ile oluşan enerjidir. İkinci nesil biokütle enerjisi, tarımsal atıklardan, evsel atıklardan ve enerji bitkilerinden biyolojik yöntemler kullanılarak alkol veya biodizel gibi ürünlere dönüştürülmesi ile oluşan enerjidir. Son olarak üçüncü nesil biokütle enerjisi ise algler kullanılarak elde edilmesiyle oluşmaktadır [8].

Biyogaz, biokütle enerjisinin dönüşümü ile meydana gelmektedir. Hayvansal, evsel, bitkisel, endüstriyel ve şehir atıkları gibi organik maddeler olan anaerobik bakteriler tarafından mayalanma işlemi ile oluşan gazdır [10]. Oluşan bu gazın bileşimi yoğun olarak metan gazı barındırmaktadır. Biyogaz içerisinde barındırdığı metan gazı oranına bağlı olmak üzere, ısı değeri 4700 ile 6000 kcal/m³ kadardır [14].

Biodizel, biokütle enerjisinin bir başka formudur. Kanola ve soya gibi yağlı tohum bitkilerinin yağlar veya hayvansal yağlar kullanılarak yapılan işlemler sonucu elde edilen üründür. Dizel motorlarda herhangi bir değişiklik yapılmadan biyodizelin kullanılabilir olması bir avantaj olmakla beraber bazı ülkelerde akaryakıt istasyonlarında satışta bulunmaktadır [14]. Yetiştirilen enerji bitkilerinin kolay depolanabilir olması büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bunun yanı sıra yakılan bitkilerin karbon gazı salımının miktarı fotosentez yaparken kullandığı karbon gazı miktarına eşit olduğundan toplam emisyonunda değişikliğe neden olmamaktadır [14].

Türkiye’de bulunan biokütle kaynaklı enerji santrallerinin toplam kurulu gücü 811 MW olmakla beraber 2018 yılında toplam 3.216 GWh’lik elektrik enerjisi üretimi yapılmıştır [19].

2.3.6. Dalga enerjisi

Dalga enerjisi bazı diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha yeni bir teknoloji olmakla beraber yapılan araştırmalar ile gelişimini sürdürmektedir. Önemli bir potansiyele

sahip olan dalga enerjisi Arşimet prensibi ve yer çekimi ile oluşmaktadır. Enerji yoğunluğu bakımından birçok yenilenebilir enerji kaynağına göre üstün yönleri bulunmaktadır [14].

Türkiye kıyı uzunluğu bakımından zengin olmasına rağmen turizm ve balıkçılık gibi nedenlerden dolayı sahip olunan kıyı uzunluğunun yaklaşık %20'lik kısmı dalga enerjisi için uygundur ve yaklaşık olarak 18.5TWh/yıl düzeyinde enerji elde edilebilecek bir potansiyele sahiptir [9].



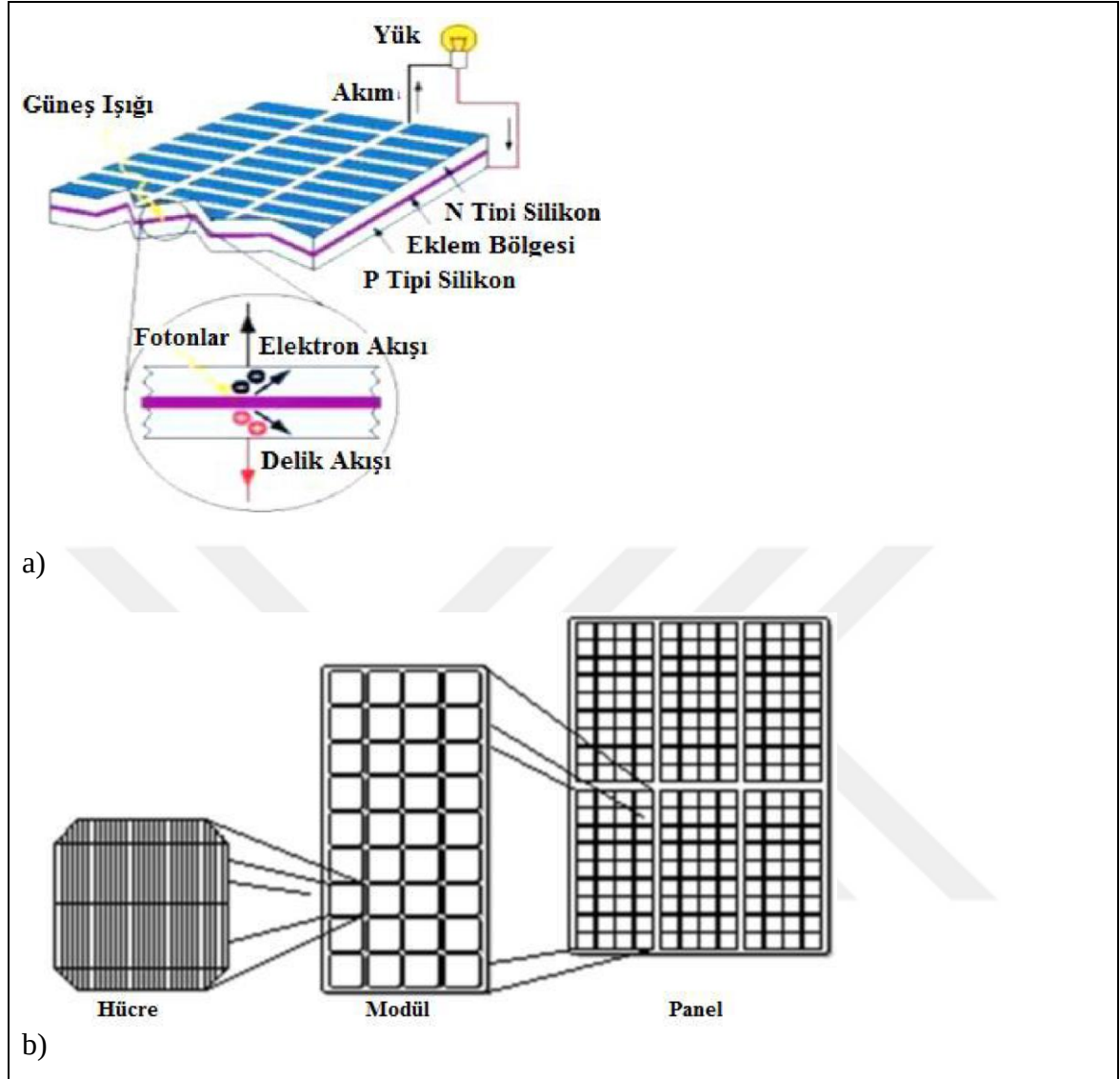


3. GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş enerjisine yenilenebilir enerji kaynakları içinde değinilmiş olup bu bölümde daha kapsamlı anlatılmıştır. Bu bölüm; FV paneller, güneş enerjisinin kullanım alanları, dünyada ve Türkiye’de güneş enerjisi, güneş enerjisi üretiminin hesabı ve güneş enerjisi santralinin enerji analizi alt başlıklarında incelenmiştir.

3.1. FV Paneller

FV piller veya hücreler sistemlerin en küçük parçalarıdır. Silisyum ve amorf silisyum gibi yarı iletkenler kullanılarak üretilen hücreler, kare, dikdörtgen veya daire formunda olabilir. Güneş ışınlarının FV hücrenin yüzeyine çarpmasıyla kopan elektronların oluşturduğu hareket sonrası enerji üretilir. Fakat hücrelerin çıkış voltajları düşük olması sebebiyle hücreler birbirlerine paralel veya seri bağlanarak modüller oluşturulur. Bu modüller birleştirilerek paneller ve panellerin birleştirilmesiyle diziler oluşturulur. Böylece çıkış gücü istenilen miktarda arttırılmış olur [20]. FV hücre kesiti ise Şekil 3.1(a)’da ve FV hücre, modül ve panel yapısı Şekil 3.1(b)’de verilmiştir.



Şekil 3.1. FV yapı, a) FV hücrenin kesiti, b) FV hücre, modül ve panel yapısı [21]

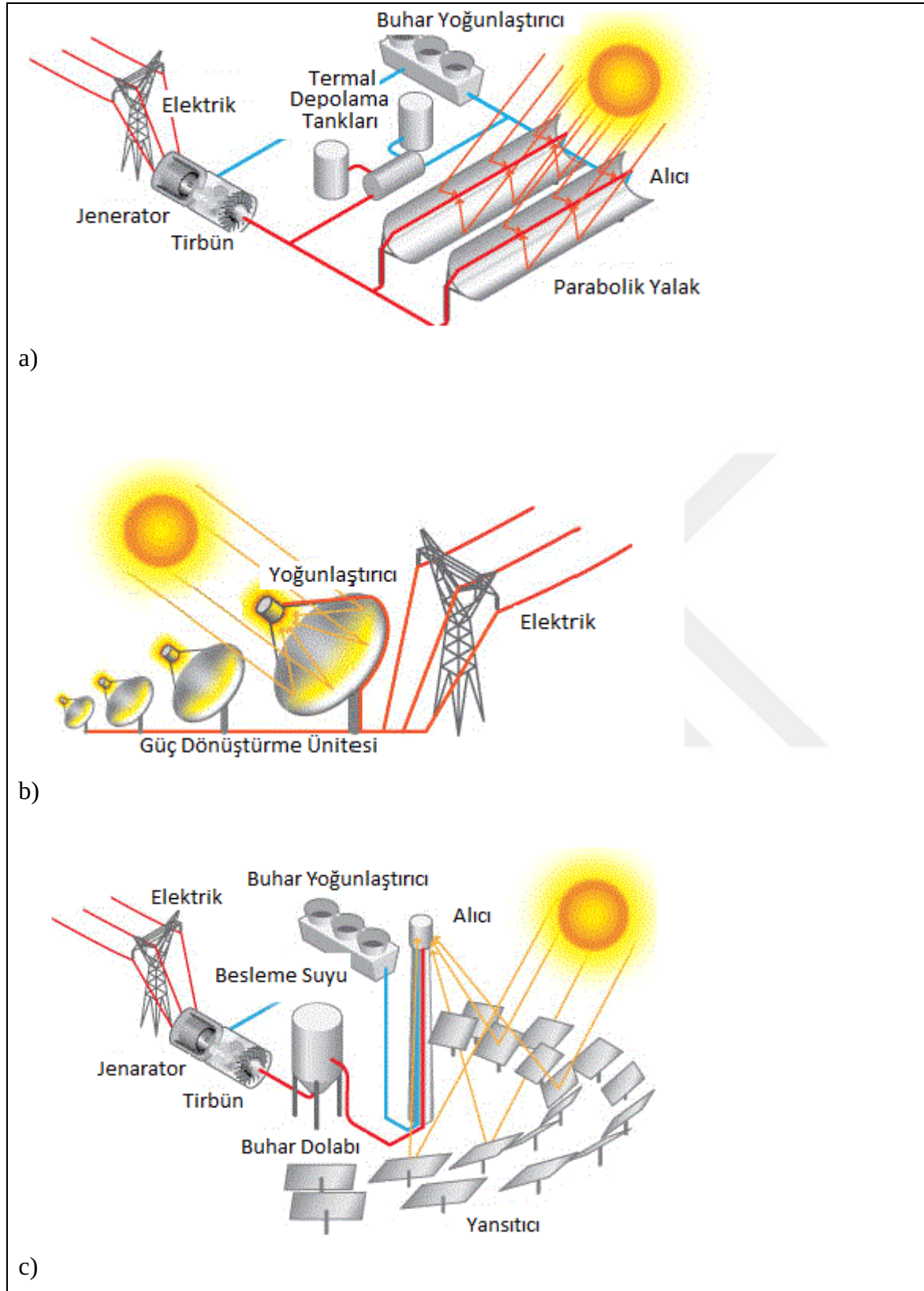
FV panellerin konumlandırılması, konumlandırılan yüzeyin eğimi ve panel tipi gibi FV panellerin ürettiği enerjiyi etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Sonraki bölümlerde üretime etki eden faktörler belirtilerek etkilerinden bahsedilmiştir.

3.2. Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları

Güneşten elektrik enerjisi üretiminden birçok alanda faydalanılmaktadır. Güneş enerjisi çeşitli tip kolektörler sayesinde dünyanın birçok ülkesinde özellikle sıcak su temini için kullanılmaktadır. Sıcak su temini için güneş enerjisi kullanımı kişi başlı değerlendirildiğinde Yunanistan, İsrail ve Avusturya en çok kullanan ülkelerdendir. Buna

ek olarak ülkemiz güneş kolektörü üretimi ve tüketimi açısından önemli bir konumdadır [13].

Güneşten elektrik enerjisi üretilmesinde temel olarak kullanılan iki yöntem vardır. Bu yöntemlerden ilki FV pillerin kullanıldığı sistemler ve ikincisi ise güneş enerjisinden üretilen ısı ile elektrik enerjisi üretimidir. Isıl yollar ile enerji üretimi, ışıyım odaklamalı veya ışıyım yansıtmalı sistemler ile gerçekleştirilir [13]. Şekil 3.2’de sırasıyla çizgisel odaklamalı, noktasal odaklamalı ve ışıyım yansıtmalı sistemlerin genel yapısı verilmiştir. FV piller ışıyım odaklamalı ve yansıtmalı sistemlerin aksine üzerine düşen ışıyım sayesinde elektrik enerjisi üretmektedir. FV sistemler maliyet bakımından daha ucuz olduğundan bu tür santrallerin kurulumu gün ve gün artmaktadır.



Şekil 3.2. Odaklamalı sistemlerin genel yapısı, a) çizgisel odaklamalı, b) noktasal odaklamalı, c) ışınlam yansıtıcı [22]

FV sistemler sabit olarak konumlandırılabilir gibi güneş ışınlarını daha fazla absorbe edebilmek için iki veya üç eksenli hareket eden sistemler olarak kurulabilir. Hareketli sistemlerde verim %34'e kadar artış gösterebilmektedir. Şekil 3.3 (a)'da sabit sistemler ve Şekil 3.3 (b)'de hareketli FV sistemler verilmiştir [13].



a)

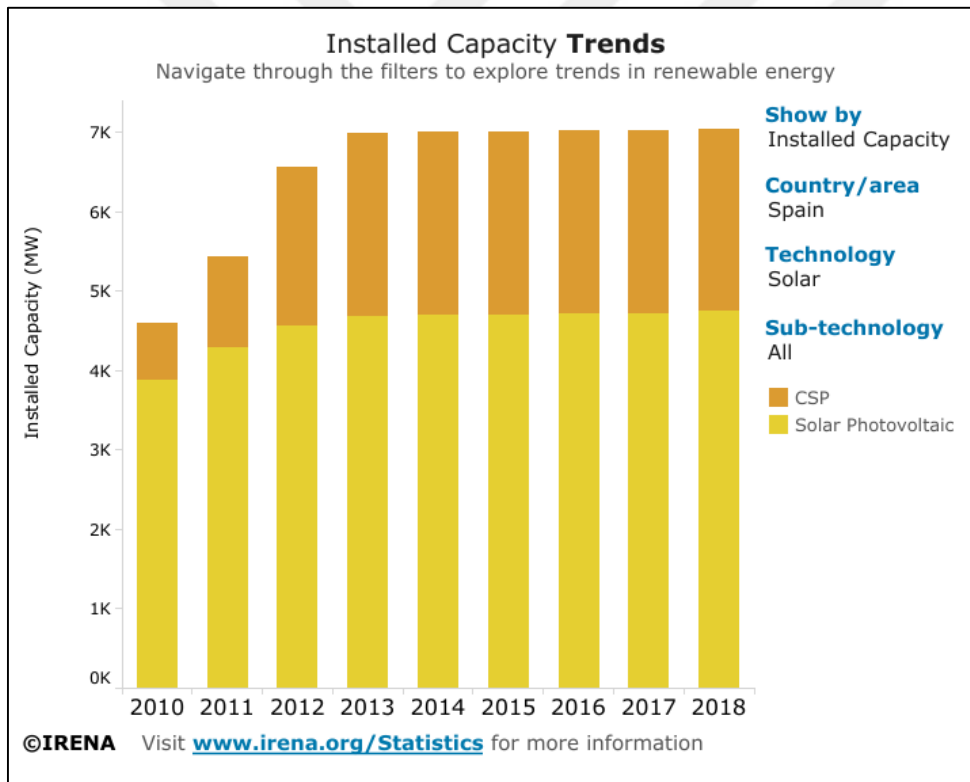


b)

Şekil 3.3. a) Sabit [23] FV Sistemler ve b) hareketli [24] FV sistemler

3.3. Dünyada Güneş Enerjisinin Durumu

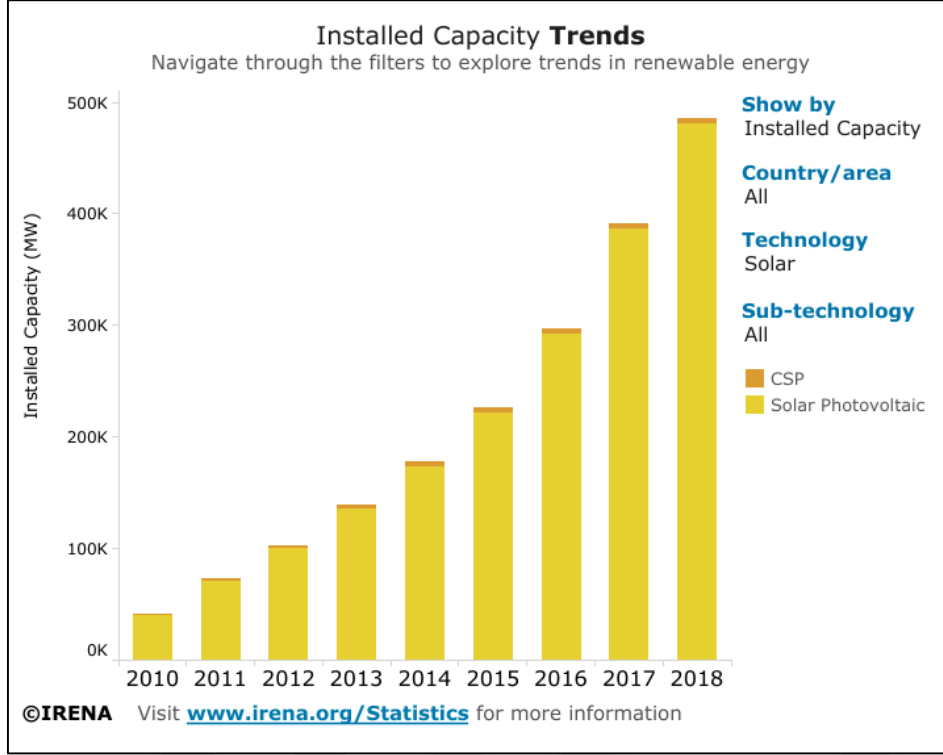
Dünyada kurulu olan güneş enerjisi santralleri içerisinde ısıll yollar ile enerji üretiminde yararlanılan noktasal ışınım, çizgisel ışınım ve ışınım yansıtımlı sistemler küçük bir orandadır. Dünyadaki bu küçük kullanım oranına karşın özellikle İspanya’da ısıll yollar kullanılarak güneşten elektrik enerjisi üretilmesi de popülerdir. Bu sistemlerin kurulu gücü 2018 yılı Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı’nın (IRENA) verilerine göre İspanya’da 2.304 MW’lık kurulu güce sahip iken dünya genelindeki kurulu güç 5.469 MW’dır. İspanya’da yer alan güneş santrallerinin 2010-2018 yılları arasındaki kurulu gücünün yıllara göre değişimi Şekil 3.4.’de verilmiştir. Bu grafiğe göre ısıll işlemler sonucu elektrik üreten santrallerin 2010 yılı ile 2013 yılı arasında büyük miktarda arttığı görülmüştür [25].



Şekil 3.4. İspanya yer alan güneş santrallerinin 2010-2018 yılları arasındaki kurulu gücünün yıllara göre değişimi [25]

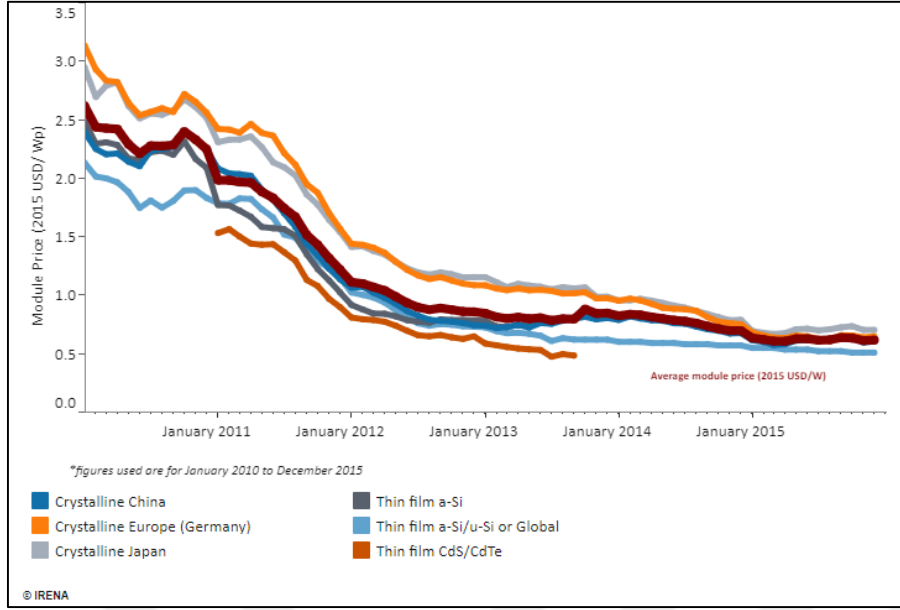
Dünya genelinde FV teknoloji kullanılarak enerji üretimi yapan santrallerin kurulu gücü son yıllarda büyük miktarlarda artış göstermiştir. 2018 yılı IRENA verilerine göre FV teknoloji santrallerin kurulu gücü 480.357 MW’ dır. Bu sayı 2010 yılında 39.603 MW iken sadece sekiz yılda yaklaşık olarak 440.000 MW artış göstermiştir. Dünya genelinde

güneş enerjisi santrallerinin kurulu gücünün 2010 yılı ile 2018 yılları arasındaki değişimi Şekil 3.5’de verilmiştir [25].



Şekil 3.5. Dünyadaki güneş enerjisi santrallerinin kurulu güçlerinin yıllara göre değişimi [25]

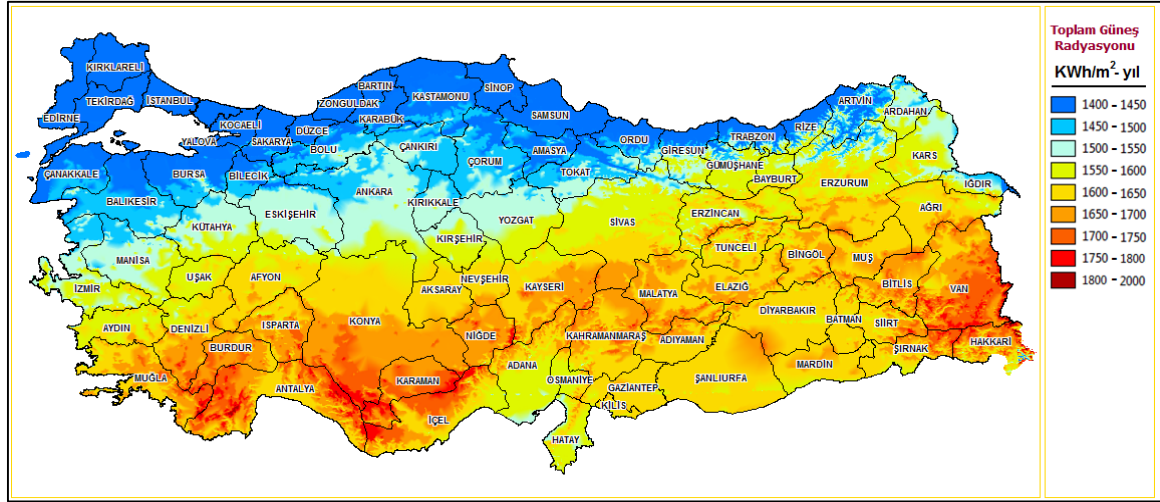
FV teknolojisine olan ilginin artmasının nedeni gelişen teknoloji ile birlikte düşen maliyetlerdir. Bu düşüş özellikle 2010-2011 yıllarında dramatik olarak gerçekleşmiştir. FV modüllerin maliyetinin değişimi Şekil 3.6’da verilmiştir [25].



Şekil 3.6. FV modüllerin maliyetinin değişimi [25]

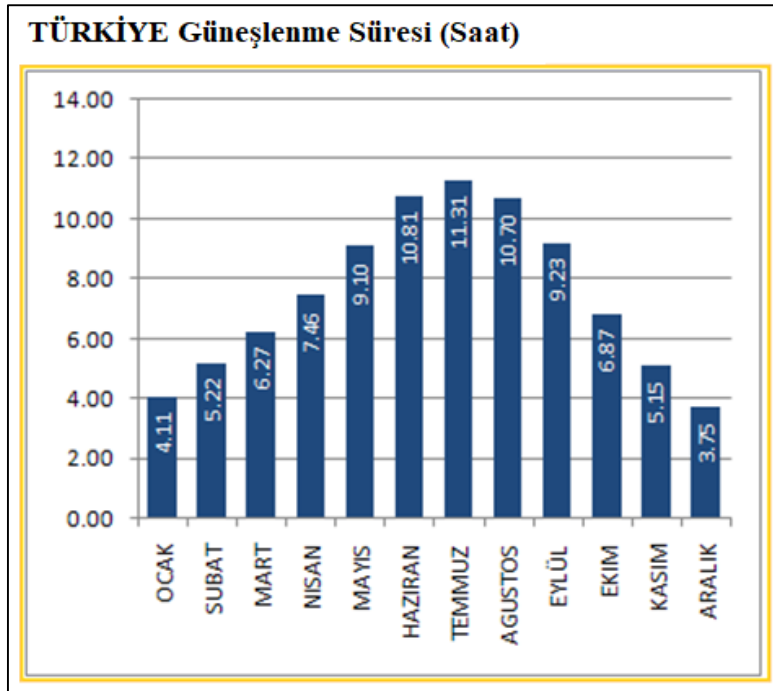
3.4. Türkiye’de Güneş Enerjisinin durumu

Ülkemizde güneş enerjisinin en yaygın kullanım alanı sıcak su teminidir. Buna ek olarak güneş enerjisinden elektrik üretiminde de artış görülmektedir [12]. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın verilerine göre 2018 yılında güneş enerjisi kurulu gücümüz 5.063 MW’ dır. Bu kurulu gücün 4.981,2 MW’ını lisansız olarak üretim yapan güneş enerjisi santralleri oluşturmaktadır [26]. Ülkemiz konumu gereği güneş enerjisi bakımından zengindir. Türkiye’nin toplam güneş radyasyonu haritası Harita 3.1’de verilmiştir. Mavi renkten kahverengiye doğru artan güneş radyasyonu seviyesine göre ülkemizin birçok bölgesinin güneş enerjisi için elverişli olduğu görülmektedir [27]. Güneş enerjisinin üretim potansiyeli yüksek olan bölgeden düşük olana doğru sıralandığında ilk sırada Güneydoğu Anadolu Bölgesi yer almaktadır. Ardından Akdeniz Bölgesi, Doğu Anadolu Bölgesi, İç Anadolu Bölgesi, Ege Bölgesi, Marmara Bölgesi ve son sırada Karadeniz Bölgesi bulunmaktadır [10, 12].



Harita 3.1. Türkiye'nin toplam güneş radyasyonu haritası [27]

Ülkemiz yıllık ortalama 2640 saatlik güneşlenme süresine ve 1311 kWh/m²'lik güneş radyasyonu değerine sahiptir [10]. Türkiye'nin aylara göre güneşlenme süreleri Şekil 3.7'de verilmiştir [27]. Haziran, Temmuz, Ağustos ayları on saatten fazla güneşlenme süresine sahipken, Kasım, Aralık ve Ocak ayları ise yılın en az güneşlenme saatlerine sahip olan aylardır. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) internet sitesinden il ve ilçe bazında olmak üzere güneşlenme sürelerine, güneş radyasyonuna ulaşmak mümkündür [27].



Şekil 3.7. Türkiye'nin aylara göre güneşlenme süreleri [27]

3.5. Güneş Enerjisi Üretiminin Hesabı ve Güneş Enerjisi Santralinin Enerji Analizi

Güneş enerjisi santrallerinde üretime etki eden birçok etmen olmakla birlikte bu etmenlerin birçoğu verimi düşürmektedir. Bu sebeple ilk etapta güneş enerjisi üretiminin hesabı ve ardından güneş enerjisi santralinin enerji analizi incelenmiştir.

3.5.1. Güneş enerjisi üretiminin hesabı

Güneş enerjisi üretiminin hesabı FV modül, gölgelenmenin enerji üretimindeki etkisi, FV panellerde gölgelenme analizi, güneş radyasyonu tahmini ve FV sistemler ve performansı, FV coğrafik bilgi sistemi ve radyasyon veri tabanı alt başlıklarında incelenmiştir.

FV modül

Elektrik enerjisi kilowatt-saat (kWh) cinsinden ölçülür. 1 modül 1 saat boyunca 100 W gücünde ise bu durumda üreteceği enerji 100 Wh ya da 0,1 kWh olacaktır. Herhangi bir günde bir FV modülün üreteceği toplam enerji genel olarak konumuna, gölgelenmeye ve modül yerleşimine (oryantasyon ve açısına) bağlıdır. FV modülün yerleşimi ve enerji üretimi arasındaki ilişki için Arizona ve New York örnek gösterilebilir. Örneğin, güneşlenme süresi yüksek olan ve yerleşimi iyi yapılmış olan Arizona gibi eyaletlerde 100 W güce sahip bir modül, açık bir hava da günlük ortalama Ocak ayında 0,5 kWh ve Haziran ayında 0,8 kWh enerji üretebilmektedir. Aynı modülün New York gibi güneşlenme süresi az olan bir yerde kullanılması ile bu üretim Ocak ayında 0,25 kWh ve Haziran ayında 0,6 kWh olarak ölçülmüştür. Bu nedenle modülün özellikleri ve uygun yerleşimi dışında konum bilgisinde enerji üretiminde oldukça önemli bir yere sahiptir. FV sistemden üretilen enerji Eşitlik 3.1 ile hesaplanır.

$$E = A \times v \times R \times PO(1) \quad (3.1)$$

Burada; E enerji (kWh), A toplam güneş paneli alanı (m^2) ve v sabit panel verimidir. Sabit panel verimi panel gücünün panel alanına bölünmesi ile bulunur ve m^2 başına toplam gücü gösterir. R gölgelenme durumunun göz ardı edilen ortalama yıllık güneş radyasyonudur (kWh/m^2). PO sabit performans oranı ve kayıp katsayısını belirtir. 0,5 ile 0,9 arasında değişir. Varsayılan sistem performansı için 0,75 ile çalıştığı kabul edilir.

FV sistemden üretilecek enerjiyi bir sayısal örnek ile açıklanmıştır. Alanı 1,6 m² ve nominal gücü 250 W olan bir panelin yüzdelik verimi 15,6 olarak ölçülmüştür. Nominal güç, çevresel tüm koşulların en iyi olduğu ortamda, sıcaklığın 25°C ve rüzgâr hızının 1m/s olarak ölçüldüğü, gölgelenmenin olmadığı, güneşin en dik açıyla panele geldiği ve radyasyonun 1 kWh/m² olarak kabul edildiği durumu tanımlar.

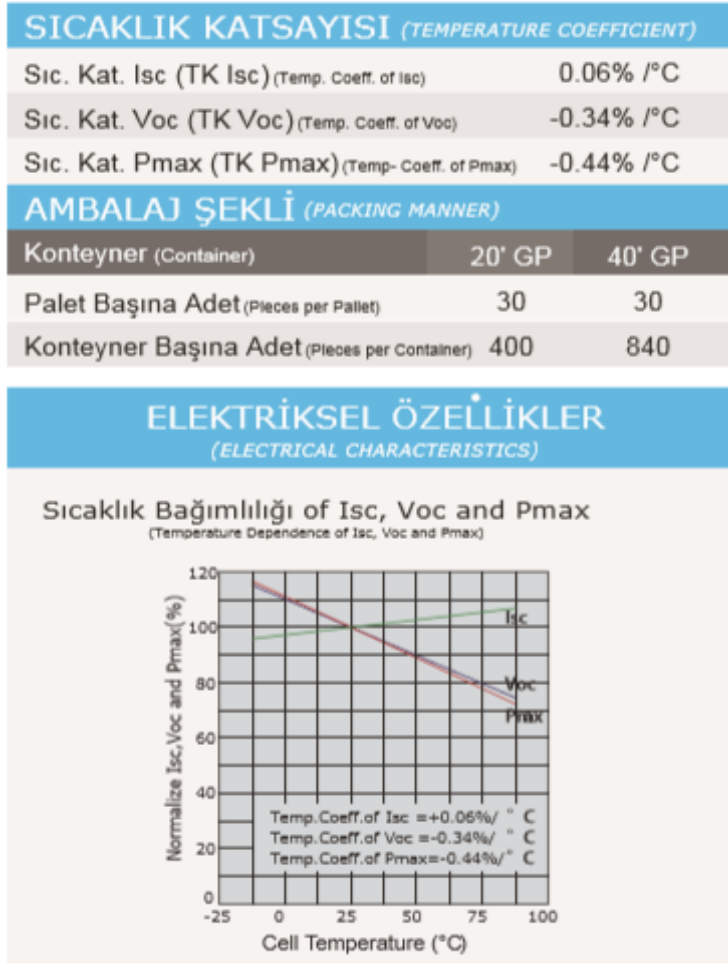
Radyasyon ölçümü bölgesel olarak ölçümlerin yapıldığı ve tüm araştırmacılara açıldığı veri tabanlarından öğrenilebilir. Bu veri tabanları radyasyon bilgisinin yanında modülün optimum eğim açısı, oryantasyonu ve gölgelenme gibi bilgileri de sunabilmektedir. Performans oranı ise tüm santralin kurulum kalitesini göstermesi açısından önemli bir parametredir. Nitekim panelin oryantasyonu ve eğimi dışında etki eden diğer çevresel ve kurulumla ait kayıpları da göz önünde bulundurmaktadır. Bir güneş enerjisi santralindeki bileşen bazındaki kayıpların nedenleri ve kayıp oranları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Bir güneş enerjisi santralindeki bileşen bazındaki kayıplar

Kayıpların nedenleri	Kayıp oranları
İnvertör dönüşümü	%4 - %15
Yüksek sıcaklık	%5 - %18
DA kabloları kayıpları	%1 - %3
AA kabloları kayıpları	%1 - %3
Gölgelenmeler	%0 - %80
Toz ve kar kaynaklı kayıplar	%2

Bir güneş enerjili sistemde modüllere gelen radyasyon miktarı ile üretilecek enerji konuma, hava durumuna ve kurulumla bağlı olarak değişkenlik gösterir. Panellerin oryantasyonu ve eğim açısına bağlı olan yerleşimi, ağaç, dağ veya elektrik direği gibi cisimler sebebiyle panel üzerinde oluşan gölgelenme, güneş radyasyon yoğunluğu ve güneşlenme süresi konuma bağlı değişkenlerdir. Panel yerleşiminin güneş ışınlarını en uzun ve doğru açıda dik bir şekilde alması ise kurulum ile ilgili parametrelerdir. Panel yerleşiminde arazi büyüklüğü açı için önemli bir parametredir. Lisansız yönetmeliğinde Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından istenen teknik değerlendirme formunda arazinin köşe sınırları verilir ve bu sınırlar 20.000 m² araziye geçmeyecek şekilde izin

verilir. Bu sınırlar içerisine yapılan yerleşimlerde birbirine paralel olan masalar arasında gölgelenme önemlidir. Gölgelenmeye neden olacak diğer etmenler ise; ağaç, dağ veya enerji nakil hatları direği kısmı gölgelenmelere neden olabilir. Sahada gölgelenmeye sebep olan bu etmenlerden başka çatı projelerinde çatı üzerinde bulunan antenler, havalandırma ve bacalar gölgelenmeye sebep olmaktadır. Tasarımı yapılacak projelerde bu tür dış etkenler dikkate alınmalı ve gölgelenmelerden kaçınılmalıdır. Havanın açık ya da kapalı olması ise meteorolojik bir durumdur. Meteorolojik olarak radyasyonu etkileyen havanın açık ya da kapalı olması durumu ülkemizde güneyden kuzeye doğru gidildikçe hissedilir bir etmendir. Örneğin ülkemizde güney bölgede yer alan Antalya'nın güneş radyasyonu kuzey bölgede yer alan Trabzon'un güneş radyasyonuna göre daha fazladır. Bunun en büyük nedeni havanın açık olması ve güneşlenme süresidir. Ayrıca meteorolojik olarak havanın sıcaklığı da panel verimliliğini etkilemektedir. Panel kataloglarında sıcaklığın üretime etkisini belirtmek amacıyla sıcaklık katsayıları verilmektedir. CW enerjiye ait 250-280 Wp polikristal panel katalogunda verilen sıcaklık katsayıları Şekil 3.8'da verilmiştir. Sıcaklık katsayılarından nominal sıcaklık kabul edilen 25°C dışındaki sıcaklıkta panelin tepkisini anlamakta yararlanır.



Şekil 3.8. Bir panel katalogunda verilen sıcaklık katsayıları

Sıcaklık katsayılarına göre akım sıcaklık ile doğru orantılıyken gerilim ve güç sıcaklık ile ters orantılı olarak değişmektedir. Buradan hareketle yüksek sıcaklığın panelin enerji üretimini olumsuz etkilediği sonucuna varılır. Sıcaklığın gerilim üzerindeki etkisi Eşitlik 3.2 ile verilmiştir.

$$k_{max} = 1 + (\text{Sıcaklık Farkı} \times \text{Gerilim Katsayısı}\%) \quad (3.2)$$

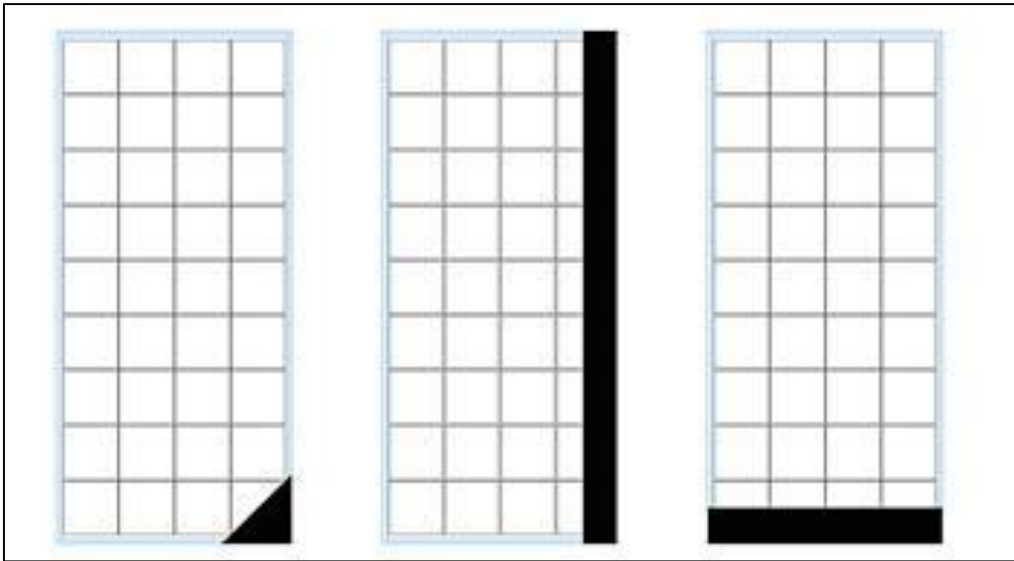
$$\text{Sıcaklık Farkı} = T_o - T_n \quad (3.3)$$

Burada; k_{max} sıcaklık katsayısı, T_o panel sıcaklığı ve T_n ise 25°C'dir. Örneğin P_{max} 280 Wp, V_{mp} 31,6 V, V_{oc} 38,5 V, I_{mp} 8,86 A, I_{sc} 9,29 A elektriksel parametrelerine sahip olan bir panel için sıcaklık katsayısı Voc -%0,34/C olarak katalog değerinden elde edilmiştir. Bu panelin -10°C'deki gerilim değerini için Eşitlik 3.2 ile sıcaklık katsayısı

1,119 olarak hesaplanır. Hesaplanan sıcaklık katsayısı panelin maksimum güç noktasındaki gerilim değeri ile çarpılarak -10°C 'deki gerilim değeri 35,3604 V olarak bulunur. Bu sonuçtan sıcaklık ile gerilimin ters orantılı olarak değiştiği sonucuna varılır.

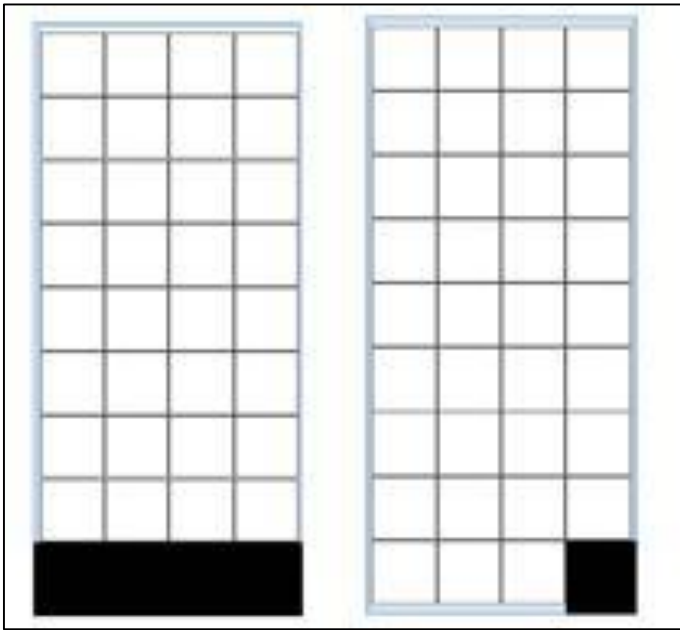
Gölgelenmenin enerji üretimindeki etkisi

Güneş enerjisi santrallerinde gölgelenme, enerji üretimini direkt olarak etkiler. Bu sebeple gölgelenmenin etkisi kurulum esnasında göz önünde bulundurulması gereken en önemli problemlerdendir. Gölgelenme iki şekilde incelenebilir. İlki, bulut veya ağaç yapraklarının neden olduğu hafif gölgelenmelerdir. Güneş paneli üzerine düşen güneş ışınlarının miktarını azalttığından üretimi azaltıcı bir yönde etki edecektir. İkinci gölgelenme etkisi ise doğrudan panel üzerinde yer alan ve ışınları tamamen engelleyen keskin gölgelerdir. Gölgelenmenin etkisine örnek vermek gerekirse; 36 hücreli bir panelde, hücrenin yarısında bu şekilde bir gölgelenmenin oluşması panelin kendini koruması için voltajı yarıya düşürmesine ve üretiminde yarı yarıya düşmesine neden olmaktadır. Panel üzerinde hafif gölgelenmelerde oluşabilir ve oluşan bu farklı parçalı gölgelenmeler Şekil 3.9'da verilmiştir. Güneş paneli tasarımı gereğince hücreler seriler şeklinde bağlandığından üretimin en az olduğu hücre diğer hücreleri negatif etkilemekte ve üretimi yarı yarıya düşürmektedir.



Şekil 3.9. Panel üzerinde oluşan farklı parçalı gölgelenmeler

Farklı parçalı gölgelenmelere ek olarak bir hücrenin tamamen gölgelendiği durumlarda mevcut olup Şekil 3.10'da verilmiştir. Bir hücre gölgelendiğinde, diğer hücrelerden üretilen enerjiyi kendini korumak için kullanmaya başlar. Sağ şekilden görüldüğü üzere bir hücrenin tamamen gölgelenmesi, bu seriye bağlı tüm hücreleri olumsuz etkileyeceğinden enerji üretimi ya yarıya ya da tamamen sıfırlanacak bir duruma dönüşebilir. Sol şekilde yer alan gölgelenme durumunda ise panel üretimini durdurabilecek bir etki yapabilir. Gölgelenmenin önüne geçilerek enerji üretimini düşüren veya durduran bu olumsuz etkiler azaltılmış olur.

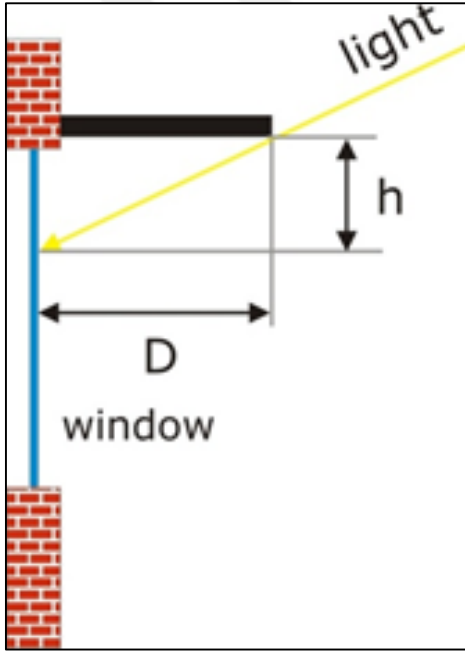


Şekil 3.10. Panel üzerindeki hücrelerin tamamen gölgelenmesi durumu

Merkezi evirici tasarımlarında bir hücrenin aynı panelde diğer hücrelerdeki üretimi etkilemesi gibi aynı seri de yer alan bir panelin diğer panellerin üretimini de düşürecek şekilde etki yapmasına neden olmaktadır. Bu nedenle bu tür yaklaşımlara alternatif olarak mikro evirici gibi çözümler uygulanabilmektedir. Bu çözümle seri içerisinde yer alan her bir panelin birbirinden bağımsız çalışması ve üretimin en yüksek olacak şekilde yapılması sağlanır. Herhangi bir güneş panelindeki gölgelenme, diğer paneller üzerindeki üretimi etkileyerek tam kapasite çalışmalarına engel olamaz.

FV panellerde gölgelenme analizi

Güneş panellerinde gölgelenme oldukça önemli olan ve kaçınılması gereken bir durumdur. Telefon direkleri, elektrik direkleri ve bacalar gibi objelerin neden olacağı küçük gölgelerin bile etkileri göz önünde bulundurulmalıdır. Gölgelenmeden kaçınmak için çeşitli çözümler üretilmektedir. Ticari yazılımlar ile simülasyonlar yapılarak üç boyutlu olarak panel üzerinde gölgelenme gösterilebilmektedir. Bunun yanında basit formüllerle de gölgelenme analiz edilebilir ve buna göre panellerin yerleşimi ve kurulumu yapılabilir. Şekil 3.11’de dikey olarak yerleştirilen bir panelin üzerinde yer alan bir cismin neden olacağı gölge gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Dikey gölgelenme ve gölge boyu hesabı

Gölgelenme açısı, yılın zamanına göre değişen güneş açısına ve boyu ise zaman içerisinde değişen güneşin yüksekliğine bağlı olarak değişmektedir. Gölge boyunun hesabı Eşitlik 3.4 ile verilmiştir.

$$h = \frac{D \cdot \tan \alpha}{\cos(\Phi - \Psi)} \quad (3.4)$$

Burada; h gölge boyunu, α güneş yüksekliğini belirtir açısı, Φ güneş geliş açısını ve Ψ ise hangi yerkürede yer aldığına göre değişen açısı temsil etmektedir.

Güneş radyasyonunun tahmini

Güneş radyasyonu global yatay radyasyon, dağınık yatay radyasyon ve doğrusal normal radyasyon olmak üzere üç başlık altında toplanır. Global yatay radyasyon; yatay düzleme güneş, bulut ve gökyüzü üzerinden gelen tüm yayılımları tanımlar. Dağınık yatay radyasyon; yatay düzleme güneş haricinde bulut ve gökyüzünden gelen yayılımları tanımlar. Doğrusal normal radyasyon ise doğrudan güneş tarafından düzleme dik bir şekilde gelen yayılımları tanımlar. Güneş enerjisi santrallerinde üretimin kalitesi güneş radyasyonuna doğrudan bağlıdır. Bu nedenle dünyada farklı konumlarda bu ölçümler farklı yaklaşımlarla ölçülmüş ve oluşturulan veri tabanları kullanıma sunulmuştur. Ölçümler, yer istasyonları ve uydular kullanılmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Yer istasyonları, bulunduğu noktalarda ölçüm yapabilmektedir. Coğrafi olarak farklı merkezde kurulmuş olan bu istasyonlardan yapılan ölçümler, belirli alanları kapsadığından kapsam dışı kalan yerlerde İnterpolasyon gibi tahminleme yöntemleri kullanılmaktadır. Ancak istasyondan olan uzaklık arttıkça doğruluk oranı düşmektedir. Ayrıca ölçümler konuma bağlı olmakla birlikte mevcut iklim koşullarına da bağlıdır. O anki iklim koşulları başka bir istasyondaki ölçümleri değiştirebilmekte bu da tahminlenen değerlerin performansını oldukça düşürebilmektedir. Ölçümlerin tüm istasyonlardan homojen şekilde ve aynı periyotlarla yapılması gerekmektedir. European Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), bu şekilde ölçümleri yapmış ve kullanıcılara sonuçlarını sunmuş büyük bir veri tabanıdır. Bu yaklaşıma alternatif uydular kullanılmaktadır. Uyduların avantaj ve dezavantajları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Uyduların avantaj ve dezavantajları

Avantajları	Dezavantajları
Homojen çözünürlükle geniş bir kapsama alanına sahiptir. Yıllar boyu sürekli ölçüm yapabilir. Veriler tutarlıdır. Veri kaynağı azdır ve ticari olmayan araştırmalar için ücretsizdir.	Zeminde olan radyasyonu doğrudan ölçemez. Güneş radyasyonunun hesaplanabilmesi için çeşitli matematiksel modeller gerektirir. Modellerin kalitesi konuma göre değişebilmektedir. Terabayt mertebesinde çok büyük veriler üretmektedir.

Güneş radyasyonu tahmininde takip edilen bu iki yaklaşım karşılaştırıldığında; kurulumun yapılacağı yerde yer istasyonu üzerinden yapılan ölçümler uyduya göre daha doğru sonuçlar verir. Ancak, istasyondan 30 km uzakta yer alan bir bölge için yapılan radyasyon ölçümlerinde yer istasyonuna göre uyduların sonuçları daha iyidir. Uydular kar yağışı gibi hava olaylarından olumsuz etkilenmektedir. Her iki yaklaşımda dağlar gibi karmaşık coğrafyalardaki yer şekillerinden olumsuz etkilenilmekte ve başarılı sonuçlar alınamamaktadır.

FV Sistemler ve performansları

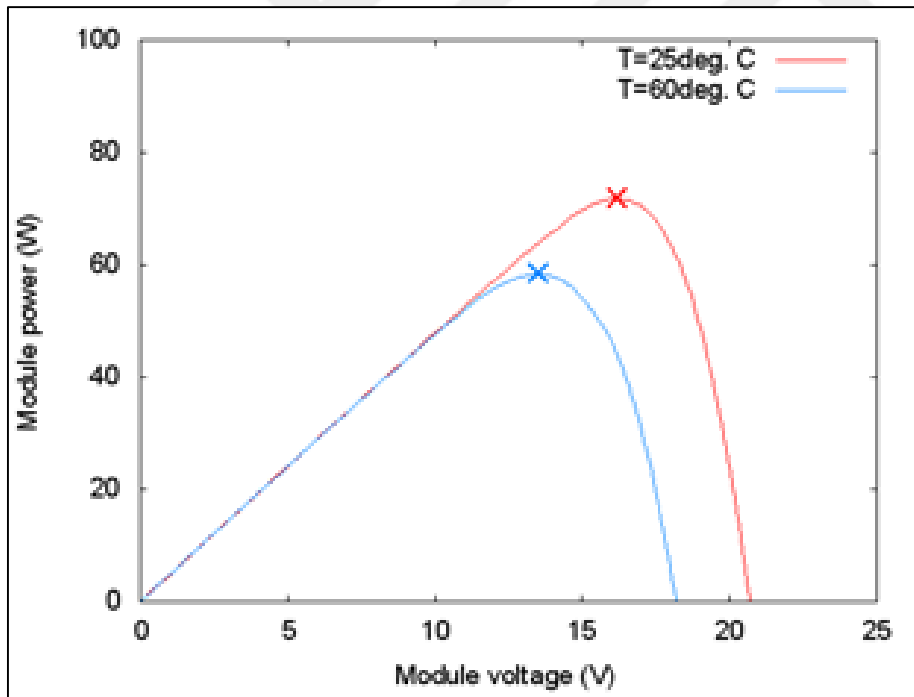
FV sistemler şebekeye bağlantılı ve şebekeden bağımsız olarak iki formda gerçekleştirilir. Şebekeye bağlantılı sistemlerde panellerden gelen doğru akım (DA) evirici aracılığıyla alternatif akıma (AA) çevrilir. Eviriciler modüllerde üretilen gücü optimize ederler ve bu güç şebekeye yönlendirilir. Şebekeden bağımsız sistemlerde ise genelde kapasitesi 1kWp'in altında ve elektrik şebekesinden bağımsız olan FV sistemlerdir. Bu sistemler bünyelerinde enerji depolama birimini bulundurur. Genelde enerji depolama birimi olarak batarya yer alır. Evirici ise daha çok DA'yı depolamak için basit denetleyici konumundadır. Şebekeden bağımsız sistemler genellikle telekomünikasyon, sokak aydınlatması, küçük evler veya su pompalarında kullanılırlar.

Güneş panellerinin performansını büyük oranda panel yüzeyine gelen güneş ışınlarının miktarı etkiler. Güneş ışınlarının miktarına ek olarak sistemin türü, panellerin tipi, sabit platformdaki panellerinin platformların oryantasyonu ve eğim açısı, hareketli platformdaki panellerin platform türü gibi faktörlerde güneş panellerinin performansını etkilemektedir.

Modül sıcaklığının 25°C ve güneş radyasyonunun 1000W/m² olduğu ortamda güneş panelinin gücü teorik olarak Eşitlik 3.5 ile hesaplanır.

$$G = G_{nom} \times R / 1000 \quad (3.5)$$

Burada; G_{nom} güneş panelinin nominal değerini (kWp), R güneş radyasyonunu (W/m²) tanımlar. Bu formül, teoride bir güneş panelinden alınabilecek en yüksek verimi göstermektedir. Bu teorik değer, 1 saat boyunca yapılan ölçümle üretilen değerle kıyaslanır ve panelin performansı yüzde olarak hesaplanabilir. Benzer yaklaşımla sistem performansı da hesaplanır. FV panellerin performansına etki eden bir diğer etmen ise sıcaklıktır. Modül sıcaklığının enerji üretimine etkisi Şekil 3.12’de verilmiştir. 25°C’de üretim gücü en yüksek ölçülmektedir.

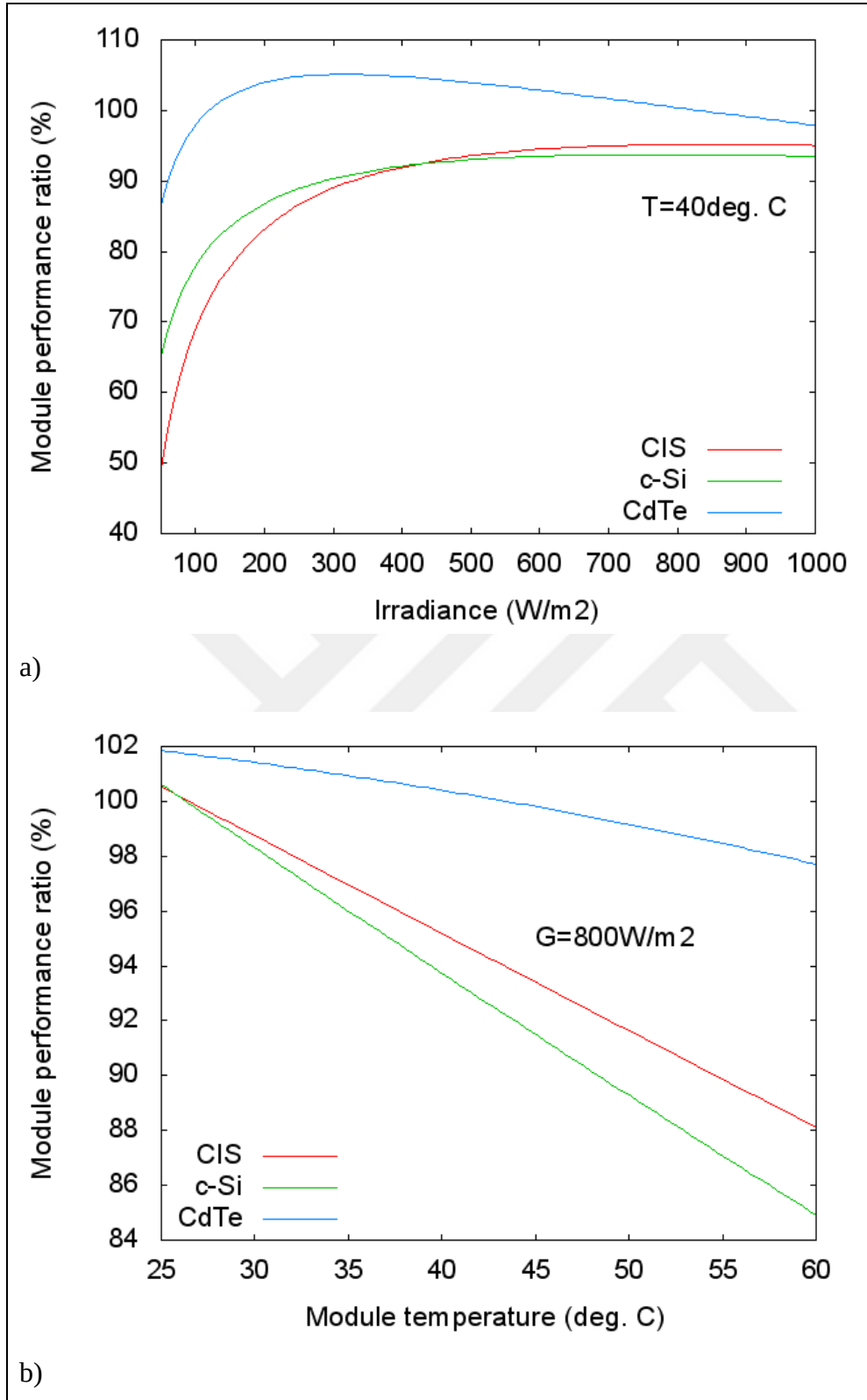


Şekil 3.12. Modül sıcaklığının enerji üretimine etkisi

Sıcaklığın yanında panel türleri de üretime etki eden faktörlerdendir. Kadmiyum tellür, kristal silikon ve bakır indiyum selenid gibi farklı panel türleri için güneş radyasyonunun modül performans oranına etkisi Şekil 3.13(a)’da, sıcaklığın modül performans oranına etkisi ise Şekil 3.13 (b)’de verilmiştir. Buradan hareketle güneş radyasyonunun yüksek olduğu yerlerde, 40°C panel üretiminde kullanılan malzemelerin önemi azalmaktadır.

Ancak radyasyonun düşük olduğu yerlerde kadmiyum malzemesi üretimde olumlu etki yapmaktadır. Benzer şekilde ortalama sıcaklığın 25°C olduğu yerlerde panel türlerinin üretimde ciddi bir farkı bulunmamaktadır. Ancak modül sıcaklığı arttıkça üretimdeki en az kayıp yine kadmiyum kullanıldığında oluşmaktadır. Bu durum kurulumlarda radyasyonun ve sıcaklığın lokasyona bağılı değıştiğı yerlerde panelin malzeme türünün seçiminde bilgi vermektedir.





Şekil 3.13. Farklı panel türlerinin modül performans oranına etkisi, a) Güneş radyasyonunun etkisi, b) Modül sıcaklığının etkisi

FV Coğrafiik bilgi sistemi-radyasyon veri tabanı

Bu bölümde, Avrupa Komisyonu tarafından desteklenen ve kullanıcının Avrupa veya Afrika üzerinde herhangi bir bölge için güneş radyasyonunu ve güneş paneli performanslarını görebileceği bir web uygulaması olan PVGIS uygulamasından bahsedilmiştir. Bu uygulama üzerinden konuma bağılı olarak alttaki bilgiler alınabilmektedir.

- Şebekeye bağılı sistemlerde enerji verimliliği
- Aylık güneş radyasyonu ve ilgili veri ölçümleri
- Ortalama günlük verilen güneş radyasyon profilleri
- Tepe ve dağ gibi yer şekillerinin oluşturduğu gölgelenmeye bağılı radyasyon hesabı
- Sabit platform üzerine kurulan panellerde, eğim ve oryantasyona bağılı radyasyon hesaplama
- Yıl boyunca olabilecek en optimum eğim açısı ve oryantasyon
- Sıcaklık, düşük radyasyon, güneş paneli teknolojilerin modellenmesi
- Grafiksel ve tablolar içerisinde sonuçların sunulması

Bu çalışmada güneş radyasyonu ve panelin performansı konusunda bilgi alabilmek için Ankara ili seçilmiştir. Ankara, 39,921 derece kuzey paralelleri (enlem) ve 32.854 derece doğu paralelleri (boylam) arasında yer almaktadır. Deniz seviyesi yüksekliği ise 874 metredir. Kristal silikon malzeme kullanılarak yapılmış, 1m² için 1 kWp gücü olan bir güneş paneli kullanıldığı varsayılmıştır. Ayrıca evirici, kablo ve vb. sistemin toplam kaybının %14 olduğu varsayılmıştır. Ankara ili için enerji üretiminin veri tabanı kullanarak ay bazında öğrenilmesi için parametrelerin girildiği ekran Şekil 3.14'de verilmiştir. Güneş panelinin düz bir zeminde kapalı bir yapı yerine, sıcaklığın modül performansını düşürmesini engellemek için çelik yapı üzerinde tutulduğu kabul edilmiştir. Panellerin yönünün güneşe bakması için oryantasyon açısı 0° olarak belirlenmiştir. Bu uygulama üzerinden panellerin maliyeti ve yıllık faiz miktarı gibi bilgilerde girilerek maliyet hesapları da elde edilebilmektedir.

Cursor: 39.937, 32.829
 Selected: 39.921, 32.854
 Elevation (m): 874

Use terrain shadows:
☒ Calculated horizon
☐ Upload horizon file

[Download CSV](#)
 Dosya Seç Dosya seçilmedi

GRID CONNECTED

TRACKING PV
 OFF-GRID
 MONTHLY DATA
 DAILY DATA
 HOURLY DATA
 TMY

PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV

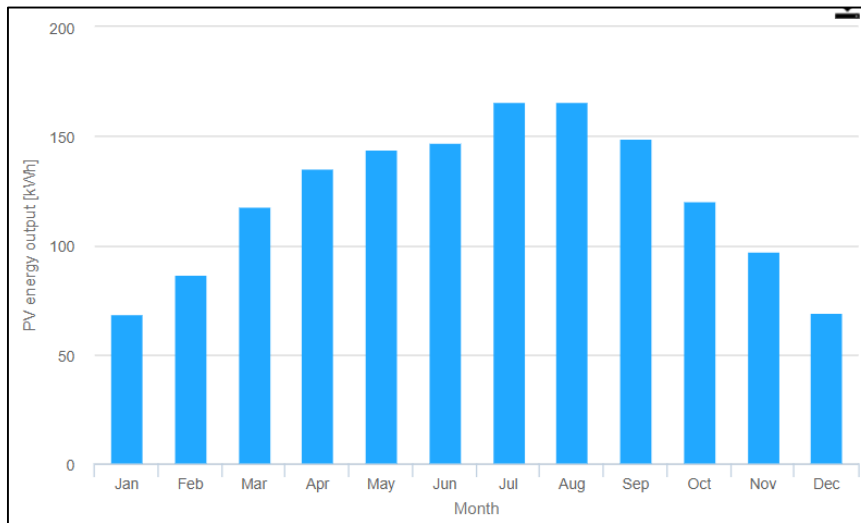
Solar radiation database* PVGIS-CMSAF
 PV technology* Crystalline silicon
 Installed peak PV power [kWp]* 1
 System loss [%]* 14

Fixed mounting options
 Mounting position* Free-standing
☐ Optimize slope
☐ Optimize slope and azimuth

☐ PV electricity price
 PV system cost (your currency)
 Interest [%/year]
 Lifetime [years]

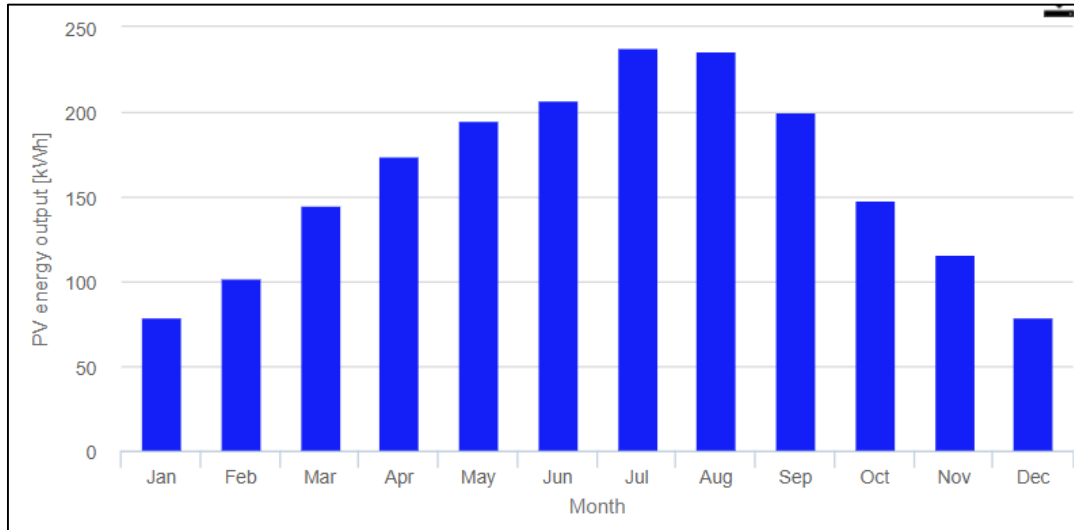
Şekil 3.14. Ankara ili için enerji üretiminin veri tabanı kullanılarak ay bazında öğrenilmesi

Bu bilgiler doğrultusunda Ankara'da enerji üretimi yıllık 1470 kWh ve güneş radyasyonu ise 1870 kWh/m² olarak tahmin edilmiştir. Sistemde varsayılan %14 kayba ek olarak güneşin geliş açısından kaynaklı %2,7, sıcaklık ve düşük radyasyondan kaynaklı yüzde 6,5 ek kayıp yaşanmıştır. Ankara için güneş panellerinden üretilen enerjinin ay bazında gösterimi Şekil 3.15'te verilmiştir. Şekle göre en yüksek enerji üretimi temmuz ve ağustos aylarında gerçekleşirken, kış aylarında üretilen enerjide yaklaşık %50'lik bir azalma görülmüştür.



Şekil 3.15. Ankara için güneş panellerinden üretilen enerjinin ay bazında gösterimi

PVGIS uygulaması üzerinden sabit bir platform üzerine kurulan güneş panellerinin yıl boyunca en yüksek üretimi yapabilmesi için yerleştirilmesi gereken açı ve oryantasyon bilgisi de sorgulanabilmektedir. Kurulum sabit bir platforma yapılacaksa eğim açısı 33° ve yönü güney doğu yönünde -11° olarak ayarlanmalıdır. Sabit platformlu güneş enerjisi santrallerinin kurulumlarında eğim açısı ve yön dereceleri oldukça önemlidir. Sabit platform üzerine yapılan kurulumlara ek olarak güneşin hareketini de takip edebilen hareketli bir platform üzerine yapılacak çözümler mevcuttur. Bu veri tabanı kullanılarak hareketli platformda Ankara'da ki enerji üretimine cevap aranmıştır. Hareketli platform üzerine kurulu bir panelin aylar bazında enerji üretimi Şekil 3.16'da verilmiştir. Kış aylarında yapılan üretim her iki platformda da yaklaşık olarak benzerdir. Ancak, temmuz ve ağustos gibi üretimin en yüksek olduğu yaz aylarında üretim yaklaşık %30 oranında artış göstermiştir. Sabit ve hareketli sistemler değerlendirildiğinde; yıllık toplam üretim sabit sistemde 1470 kWh iken hareketli sistemde 1920 kWh'a çıkmıştır. Radyasyon ise sabit sistemde 1870 kWh/m^2 iken hareketli sistemde bu değer 2420 kWh/m^2 seviyesine yükselmiştir. Ankara için panel hareketli bir sistem üzerine kurulduğunda sabit yerleşime göre enerji üretiminde %13 artış olmuştur. Bu oran özellikle büyük enerji santrallerinde oldukça önemli olup panel kurulumlarında değerlendirilecek bir etmendir.



Şekil 3.16. Hareketli platform üzerine kurulu bir panelin aylar bazında enerji üretimi

FV coğrafik bilgi sisteminden yıl, ay ve saat bazında da konuma bağlı detaylı bilgi alınabilmektedir. Güneş radyasyonu, global doğrusal ve dağınık radyasyon grafiksel olarak zamana bağlı sunulabilmektedir. Ayrıca, en optimum açıda zamana bağlı radyasyon

ölçümü de gösterilebilmektedir. Enerji üretimi ve güneş radyasyonu gibi önemli parametrelerin yanında sıcaklık gibi o bölgeye ait detaylı profilde bu veri tabanı tarafından sağlanabilmektedir [28].

3.5.2. Üretime etki eden faktörler

FV sistemlerde üretime etki eden ilk faktör konumdur. Yer kürenin şekli geoittir ve bundan dolayı güneş ışınlarının düşme açısı konuma göre değişmektedir. FV piller üzerine düşen güneş ışınlarından direkt olarak elektrik enerjisi ürettiğinden konum faktörü verime büyük oranda etki etmektedir. FV panellerin yerleştirildiği yerin enlem bilgisi ve panelin yerleştirilen yüzey ile yaptığı açı bu nedenle önemlidir. Ülkemiz için en uygun yerleştirme açısı 30°'dir. FV sistemlerde üretime etki eden ikinci faktör gölgelenme sorunudur. Performans üzerinde büyük etkisi olan gölgelenme özellikle şehir merkezine yakın olan yerlerde veya şehir içindeki bina çatılarında yapılabilecek üretimi etkilemektedir. Bu sebeple projelendirilme aşamasında gölgelenme yapabilecek ağaç, binalar ve iletim hattı direkleri gibi etmenler incelerken analiz edilmelidir. Üretime etki eden bir diğer faktör ise panelin tipidir. FV hücrelerin üretildiği madde ve panel yapısı sistemin verimini değiştirmektedir. Örneğin, verim bakımından mono kristal silisyum FV hücreler polikristal silisyum panellerden daha verimlidir. Kırsal kesimlerde veya şehir merkezlerinde yapılan panel uygulamalarında panel yüzeyi toz ve kir gibi kirletici maddeler ile kaplanabilmekte ve üretim performansında düşüş görülmektedir. Yüzey kirleri doğal yollardan yağmur ile temizlenebilmesine rağmen panellerin yüzey temizliğinin belirli periyotlarda insan eliyle yapılması verim kaybının önüne geçecektir. Meteorolojik verilerde üretime etki etmektedir. Sıcaklık en önemli meteorolojik etmenlerden biridir. FV paneller üzerlerine düşen güneş ışınlarının yalnızca %5 ile %25 aralığında değişen kısmını elektrik enerjisine çevirirken, geriye kalan büyük kısmı ise ısı enerjisi olarak ortaya çıkar ve panellerin ısınmasına neden olur. Sıcaklıktan doğan verim kaybı FV hücrelerin tiplerine göre farklılık göstermekle birlikte kristal silisyum hücrelerin verimi amorf silisyum hücrelere nazaran daha fazla etkilenmektedir. Özellikle yaz aylarında artan dış ortam sıcaklığı ile birlikte panellerin sıcaklığı 70°C'lere kadar çıkabilmektedir. Üretici firmalar katalog değerlerinde panelin sıcaklığının üretime etkisinin katsayılarını vermişler ve bu değerler tasarım yapılırken göz önüne alınmaktadır. Ayrıca rüzgâr ve rakım üretimi olumlu yönde etkilemektedir. Panellerin havalandırılması da verim için önemlidir. Panellerin montajında

dikkat edilmesi gereken bir husus olmak ile beraber, eğer panellerin havalandırılması iyi yapılmazsa arka yüzeylerinde artan sıcaklıktan dolayı verimde düşüş olmaktadır [20].



4. GÜNCEL TEDAŞ 1MWe GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMİ PROJELERİNİN ONAY AŞAMASI İÇİN GEREKLİ İÇERİK

Ülkemizde yaygın olarak lisansız güneş enerjisi santralleri kurulmaktadır. Bu nedenle kurulan santrallerin üst sınırı 1 MW olmakta ve devlet tarafından 13,3 Cent/Watt ile ücretlendirilmektedir. Bölgelere ve illere göre güneşlenme süresi ve radyasyon değerleri farklılık göstermektedir. Ayrıca üretici firma çokluğu proje çeşitliği sağlamaktadır. Bu nedenle tasarımlarda birçok farklılık oluşmaktadır.

Ülkemizde Güneş Enerji projeleri için Enerji Bakanlığınca yetkilendirilen kuruluş TEDAŞ'tır. TEDAŞ ilgili dağıtım şirketinden "Çağrı Mektubu" iznini almış olan yatırımcıların, santral kurulumunda hazırladıkları projelerin incelenmesini, kontrol edilmesini ve son aşamada da sahanın etüdünü yaparak uygulamanın da projeye uygun yapılıp yapılmadığını kontrol eden kurumdur. Güneş Enerjisi projesi ilgili TEDAŞ'ın izin verdiği "Çağrı Mektubu" sürecinden sonra başlamaktadır. Tasarıma başlamadan önce Çağrı Mektubu ve sahanın sınırlarını belirten YEGM koordinatları proje için gerekli ön bilgileri vermektedir. Bu bölümde Çağrı Mektubu alınmış 1 MWe Lisansız GES projesinin tasarlanması ve hesaplarının nasıl yapıldığı hakkında bilgi verilecek ve amortisman sürecinde üretim tahmininin ne kadar önem arz ettiği anlatılacaktır.

4.1. TEDAŞ Proje Onayı Sırasında Gerekli Olan Evraklar

4.1.1. Bağlantı anlaşmasına çağrı mektubu

Ülkemizde elektrik dağıtım hizmetleri TEDAŞ 02.04.2004 tarih ve 2004/22 sayılı Özelleştirme Yüksek Kurulu Kararı ile özelleştirme kapsamına alınmış ve dağıtım bölgeleri belirlenerek 21 dağıtım bölgesine ayrılmıştır.

Çizelge 4.1. Dağıtım şirketleri ve kapsadığı iller

	Dağıtım Şirketinin Adı	Şirketin Kapsadığı İller
1	TREDAŞ(Trakya Edaş)	Kırklareli, Edirne, Tekirdağ
2	BEDAŞ(Boğaziçi Edaş)	İstanbul Avrupa Yakası
3	AYEDAŞ	İstanbul Anadolu Yakası
4	Sakarya Edaş	Sakarya, Bolu, Kocaeli, Düzce
5	UEDAŞ (Uludağ Edaş)	Bursa, Balıkesir, Yalova, Çanakkale
6	GDZ (Gediz Edaş)	İzmir, Manisa
7	AYDEM	Aydın, Denizli, Muğla
8	OEDAŞ(Osmangazi Edaş)	Eskişehir, Bilecik, Kütahya, Afyon, Uşak
9	Akdeniz EDAŞ	Antalya, Isparta, Burdur
10	BEDAŞ (Başkent Edaş)	Ankara, Bartın, Çankırı, Zonguldak, Kastamonu, Kırıkkale, Karabük
11	MEDAŞ (Meram Edaş)	Konya, Karaman, Niğde, Nevşehir, Kırşehir, Aksaray
12	Toroslar Edaş	Adana, Mersin, Hatay, Osmaniye, Gaziantep, Kilis
13	AKEDAŞ	Adıyaman, Kahramanmaraş
14	KCETAŞ	Kayseri
15	ÇEDAŞ (Çamlıbel Edaş)	Sivas, Tokat, Yozgat
16	YEDAŞ (Yeşilırmak Edaş)	Ordu, Sinop, Amasya, Çorum, Samsun
17	Çoruh Edaş	Trabzon, Artvin, Giresun, Gümüşhane, Rize
18	Aras Edaş	Erzurum, Kars, Ağrı, Ardahan, Iğdır, Erzincan, Bayburt
19	Fırat Edaş	Malatya, Bingöl, Elazığ, Tunceli
20	Dicle Edaş	Diyarbakır, Şanlıurfa, Batman, Mardin, Siirt, Şırnak
21	VEDAŞ (VangölüEdaş)	Van, Bitlis, Hakkari, Muş

Santral kurulmadan önce yukarıda belirtilen dağıtım şirketlerinin hangisinin kapsamında kurulacaksa o dağıtım şirketine başvuruda bulunup o alan için izin alınmalıdır. Kurulum sahada gerçekleşecek ise sahanın Marjinal Kuru Tarım Arazisi olması; yani tarıma elverişsiz olması gerekmektedir. Başvurusu kabul edilen proje için dağıtım şirketi

tarafından “Bağlantı Anlaşmasına Çağrı Mektubu” verilecektir. Bu belgede tesisin bağlantı noktası ve bağlantı koşulları belirtilmektedir.

SAMSUN İL KOORDİNATÖRLÜĞÜ
İŞLETME VE YATIRIMLAR MÜDÜRLÜĞÜ

Samsun, 24/11/2015
Sayı: Y.D.55.01.04.01/

ÇAĞRI MEKTUBU

MEHMET

İLKADIM/SAMSUN

Konu: Çağrı Mektubu
İlgi : 27.10.2015 tarihli Lisanssız Elektrik Üretimi Başvurunuz

02.10.2013 tarih ve 28783 sayılı Resmi Gazete’ de yayımlanan “*Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik*” uyarınca, Şirketimizin sorumluluk bölgesinde bulunan Samsun ilinde 800 kW gücündeki Güneş enerjisine dayalı lisanssız elektrik üretim tesisi ile ilgili olarak yapmış olduğunuz bağlantı başvurunuz Şirketimizce değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Tarafınızca tesis edilecek 800 kW gücündeki lisanssız elektrik üretim tesisinin Kavak TM irtibat merkezi ve DR55024112 referans numaralı direk üzerinden ekte sunulan bağlantı şartıyla Şirketimizin dağıtım sistemine bağlanması uygun görülmüştür.

Hidrolik kaynaklara dayalı başvurular dışındaki başvurular arasından bağlantı başvurusu kabul edilenlere, bağlantı başvurusu kabul edilen ve edilmeyen başvuru sahiplerinin listesinin Şirketimizin

Şekil 4.1. Bağlantı anlaşmasına çağrı mektubu örneği

Resim 4.1’de YEDAŞ tarafından verilen bir Çağrı Mektubu gösterilmiştir. Bu belge ile Samsun ilinde 800 kW gücünde GES kurulmasına izin verilmiştir. Kurulacak GES Kavak Trafo Merkezine ve DR55024112 numaralı direğine irtibatlanacaktır. Çağrı mektubunun ilk sayfasının dışındaki sayfalarda da bağlantı koşulları, kullanılması gereken akım gerilim trafoları ile ölçü sayaçlarının özellikleri ile scada içeriği yer almaktadır. Projenin YG (Yüksek Gerilim) projesi tasarımı ve ürün seçiminde çağrı mektubu içeriği referans alınmalıdır.

4.1.2. Teknik değerlendirme formu (YEGM)

Çağrı Mektubu çıkarabilmek için gerekli olan evraklardan biridir. Çağrı mektubu sürecinde sahanın köşe UTM koordinatları ve sahanın adres bilgileri Teknik Değerlendirme Formu’na işlenir. Burada önemli olan nokta saha alanı 20000 m² geçmemeli ve parseller arasında herhangi bir boşluk olmamalıdır.

Çizelge 4.2. YEGM teknik değerlendirme formu

GÜNEŞ ENERJİSİNE DAYALI ÜRETİM TESİSİNE İLİŞKİN TEKNİK DEĞERLENDİRME FORMU			
BAŞVURU SAHİBİNİN ADI ve İLETİŞİM BİLGİLERİ			
TESİS ADI			
DAĞITIM ŞİRKETİNE BAŞVURU TARİHİ			
ÜRETİM TESİSİNİN YERİ	İLİ		
	İLÇESİ		
	KÖY/MAHALLE		
	ADA / PARSEL NO		
TEKNOLOJİ TÜRÜ	FOTOVOLTAİK SİSTEMLER: “ Optimum açıda sabitlenmiş fotovoltaik sistemler “ Tek eksenle güneşi takip eden fotovoltaik sistemler “ Çift eksenle güneşi takip eden fotovoltaik sistemler TERMAL SİSTEMLER: “ Parabolik oluklu doğrusal odaklayıcı sistem (ısı depolama ünitesi kullanılan) “ Parabolik oluklu doğrusal odaklayıcı sistem (ısı depolama ünitesi kullanılmayan) “ Doğrusal odaklayıcı düzlemsel aynalar kullanılan sistemler (Fresnel) “ Kule ve üzerinde buhar üreten reaktör hücresi bulunan merkezi odaklayıcı sistemler “ Stirling motoru kullanan merkezi odaklayıcı çanak tipi sistemler DİĞER SİSTEMLER: “ Hibrit (.....kaynağı ile)		
UYGULAMA YERİ	“ Çatı “ Arazi		
FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE KULLANILAN HÜCRE TÜRÜ	“ İnce film veya organik yapılı “ Çok Kristalli yapı “ Tek Kristalli yapı “ Çok katmanlı yapı		
Ünite/Modül gücü (Wp)			
Ünite/Modül sayısı (adet)			
Evirici gücü (W)			
Evirici sayısı (adet)			
Tesis toplam kurulu gücü DA (kWp)			
Tesis toplam kurulu gücü AA (kWe)			
Tercih edilen trafo merkezinin (bağlantı noktası) adı			
Santral Sahası Alanı (m ²)			
Projeksiyon Sistemi			
TESİSİN KURULAAĞI ALANIN KÖŞE NUMARASI	Doğu (sağa değer)	Kuzey (yukarı değer)	Dilim Orta Boylamı
K1			
K2			
K3			
...			
Kn			

Çizelge 4.2’de gösterildiği üzere proje başvurusu sırasında projenin ada, parsel bilgileri dahil olmak üzere adres bilgisi ve UTM köşe koordinatları, kullanılacak invertör sayısı ve gücü, panel sayısı ve gücü, uygulama yeri, teknoloji türü ve trafo merkezinin adı bu formda belirtilmelidir. Bu form aslında ön proje hazırlığı için gerekli olan bütün bilgileri kapsamaktadır. Proje tasarımının yapılması ve TEDAŞ proje onayında bu formun fotokopisi gerekmektedir. Aslı ilgili EDAŞ’ta kalmaktadır. Bu formda kullanılan teknoloji, panel ve invertör bilgileri dışında bir değişikliğe gidilecekse formun revize edilmek üzere tekrar ilgili EDAŞ’a başvurusu yapılmalıdır.

4.1.3. GES uygundur yazısı

Kurulacak tesis ilgili bağlı bulunduğu il özel idaresi veya belediyeden GES’in yapılacağı alan için; yapılmasında sakınca olmadığını içeren bir yazı almalıdır.

	T.C. FOÇA BELEDİYE BAŞKANLIĞI İmar ve Şehircilik Müdürlüğü
Birim : 24605066. Konu :	24.02.2015
İLETİŞİM TİC. LTD.ŞTİ. Konak/İZMİR	
İlgi: 18.02.2015 tarih ve sayılı dilekçeniz.	
İlgi dilekçeniz ile, adresindeki 22.005 m2 lik arazinin 19.000 m2 sini kiraladığınızı ve bu araziye 1 MWA gücünde Güneş Enerjisi Santrali yapmak istediğinizi belirterek, uygunluk yazısı talep edilmektedir. İzmir Büyükşehir Bütünü 1/25000 Ölçekli Çevre Düzeni Planında Mera Alanında kalan, 22 Ada 1 parselde yapılması planlanan Yenilenebilir Güneş Enerji Sistemi için, Büyükşehir Bütünü 1/25000 ölçekli Çevre Düzeni Plan Uygulama Hükümlerinin 7.28 maddesine uyulması kaydıyla uygun olarak değerlendirilmektedir. Bilgilerinizi rica ederim.	

Şekil 4.2. “Ges Uygundur” örnek yazısı

Yukarıdaki resimde de görüldüğü gibi Foça’da yer alan bu tesis için şartlı (1/25000 Ölçekli Çevre Düzeni Planı yapılması koşuluyla) olarak santral yapılmasında sakınca bulunmadığı belirtilmiştir.

4.1.4. Çevresel etki değerlendirme formu

Çevre ve Şehircilik bakanlığınca istenen bu form TEDAŞ Genel Müdürlüğü, Proje Tesis Daire Başkanlığının 14.09.2015-E Evrak Tarih ve Sayısı ile yayınladığı duyuruda belirttiği üzere; “Bir parselde ait 1 MW tan küçük üretim santralleri için yapılacak başvurularda ve aynı parsel içerisinde birden fazla farklı gerçek ve tüzel kişi için yapılacak başvurularda hiçbir kurum veya kuruluştan ÇED Raporu ya da ÇED raporuna gerek olmadığına dair herhangi bir belge talep edilmemesi hususunda bilgilendirilme verilmiştir.” Bu duyuru ile ÇED belgesi proje onayları için artık gerekmemektedir.

T.C. ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI

T.C. ADANA VALİLİĞİ
Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü

27 Kasım 2015

Sayı : 90438820
Konu : Güneş Enerji Santrali Kurulması

SOLAR ENERJİ LTD.ŞTİ.
Mah.383 Sok.no:25)
Ceyhan/ADANA

İlgi : 26/11/2015 tarihli ve 47407 Referans No'lu Başvuru

Adana İli, Yumurtalık İlçesinde
Parsel adresinde Solar Enerji Ltd.Şti. tarafından yapılması planlanan Güneş Enerji Santrali Kurulması (999 KW.) projesi, 25/11/2014 tarih ve 29186 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren ÇED Yönetmeliği Listelerindeki eşik değerden az olduğu için kapsam dışı olarak değerlendirilmiştir.

Ancak, planlanan yatırım ile ilgili olarak, 5491 sayılı kanunla değişik 2872 sayılı Çevre Kanunu ile bu Kanuna istinaden çıkarılan Yönetmeliklerin ilgili hükümlerine uyulması ve diğer mer'i mevzuat çerçevesinde öngörülen gerekli izinlerin alınması, ekolojik dengenin bozulmamasına, çevrenin korunmasına ve geliştirilmesine yönelik tedbirlere riayet edilmesi gerekmektedir.

Şekil 4.3. “ÇED Belgesi” örnek yazısı

4.1.5. Vekaletname

Her alanda olduğu gibi projelerin çizilebilmesi için projede yer alacak kişilere yatırım sahibi tarafından yetkilendirme verilmelidir. Bu yetkilendirmenin kapsamı proje kapsamına göre değişiklik gösterebilir. TEDAŞ onay sırasında noter tarafından verilmiş

Vekaletnameyi ve veren kişi bilgileri ile imza sirkülerini kontrol etmektedir. Yetkilendirilen mühendis bu işi yapabilecek evraklara sahip olması gerekmektedir.

Türkiye Cumhuriyeti		Tarih: 22/03/2018 Yev.No: (A)
VEKALETNAME		
2 Ekim 2013 tarihli 28783 sayılı Resmî Gazetede yayınlanan Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik ve 2 Ekim 2013 tarihli Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliğin Uygulanmasına Tebliğ uyarınca "TEDAŞ(DİCLE Elektrik Dağıtım A.Ş.)" firmasına, yapılacak olan GÜNEŞ Enerjisi Üretim Tesisi Kurmak için müracaat etmeye, bu müracaat sonrasında projenin onaylatılması için TEDAŞ Genel Müdürlüğü'ne müracaat etmeye, her tür projeleri hazırlatmaya, projeleri sunmaya, onaylatmaya, sunulan dosyaları incelemeye gerektiğinde suret almaya, aynı projenin Sivil Havaçılık Genel Müdürlüğü, Çevresel Etki Değerlendirmesi İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu nezdinde Başvuru ve izinlerin alınması için gerekli başvuruları yapmaya, yapılan başvuruları incelemeye, suret almaya, konuya alakalı ilgili Tapu Sicil Müdürlüklerinde GÜNEŞ Enerji Üretim Tesisi kurulması için gerekli işlemleri yaptırmaya, tescil ettirmeye, gerekli belgeleri incelemeye, suret almaya, resmi belge ve yazıları almaya, icabında üretim artırımı ve ilave talebinde bulunmaya, projelerini onaylattırmaya, ilgili mercilere müracaata, vergi resmi harçları yatırmaya, fazla yatan bedeli iadeye, ilgili Tapu Kadastro Müdürlüğünde ölçümleri yaptırmaya harita ve belgeleri incelemeye gerekli resmi belge ve yazıları almaya, vergi resim harçları yatırmaya, fazla yatırılan bedeli geri almaya, ilgili Belediye Başkanlıklarında gerekli izinlerin alınması için başvuruda bulunmaya, gerekli projeleri sunmaya, onaylatmaya, dosyaları incelemeye, her tür vergi resim ve harçları yatırmaya, fazla yatırılan harçları geri iade almaya, konuyla ilgili tüm resmi dairelerde ilgili iş takiplerini yapmaya, başvuruda bulunmaya, başvuruyu geri çekmeye, feragat etmeye, ibraya, ilgili yazı ve belgeleri almaya, gerekli belge ve dosyaları incelemeye suret almaya, harç ve vergileri yatırmaya, fazla yatan bedelleri iadeye, tüm bu konularda tebliğ ve tebellüğe, icabı halinde uygun göreceği başka birini aynı konuda tevkil, tesrik ve azle birlikte veya ayrı ayrı vekaleti ifaya yetkili olmak üzere 006275 ETİMESGUT vergi dairesinde kayıtlı 6130838317 vergi numaralı MEDLAB ENERJİ MÜHENDİSLİK ARGE DANIŞMANLIK İTHALAT İHRACAT SANAYİ VE TİCARET LİMİTED ŞİRKETİ, baba adı : doğum tarihi 18/3/1991 olan : T.C.Kimlik Numaralı NURAN AKKOYUN, baba adı : loğum tarihi 16/12/1991 olan : T.C.Kimlik Numaralı DİLEK, baba adı Sedat doğum tarihi 20/8/1989 olan : T.C.Kimlik Numaralı TUNAY, baba adı Seyfi doğum tarihi 15/2/1985 olan : T.C.Kimlik Numaralı tarafından vekil tayin edildi.		
VEKİL EDEN Doğu Mah./semt Malatya Cad. No: 51 / 1 YETKİLİSİ: Berlin/Almanya Federal Cumhuriyeti		

Şekil 4.4. "Vekâletname" örneği

4.1.6. Sistem tasarımcı bilgileri

Sistem tasarlayan firma veya şahısların bilgileri, irtibat numaraları proje dosyasında yer almalıdır. Ayrıca ilgili Elektrik ve İnşaat mühendislerinin mevzuata uygun belgelere sahip olmaları gerekmektedir.

4.2. TEDAŞ Proje Onayı Sırasında Gerekli Olan Hesaplamalar

4.2.1. Kablo akım ve gerilim kontrol hesapları

DA Kablo hesapları

Bu bölümde projede kullanılan DA kabloların güç kaybı, gerilim düşümü ve akım taşıma kontrolünü gösterir doğru akım kablo hesapları gösterilmelidir. Gerilim düşümü ve güç kaybı hesabı yapılırken aşağıda yer alan formüller kullanılır:

$\%e$: Yüzde Gerilim Düşümü, L : Kablo Boyu, V : Gerilim, X : Öziletkenlik, q : Kablo kesiti,

ΔV : Gerilim Düşümü, I : akım, P : Güç, ΔP : Güç Düşümü, $\%P$: Yüzde Güç Düşümü olmak üzere

$$\%e = \frac{2 \times 100 \times L \times P}{V \times V \times X \times q} \quad (4.1)$$

$$\Delta V = \frac{\%e \times V}{100} \quad (4.2)$$

$$\Delta P = 2 \times \frac{I \times I \times L}{X \times q} \quad (4.3)$$

$$\%P = \frac{\Delta P}{P} \times 100 \quad (4.4)$$

Eşitlik 4.1 ile kabloda oluşan yüzde gerilim düşümü, Eşitlik 4.2 ile gerilim düşümü, Eşitlik 4.3 ile güç kaybı, Eşitlik 4.4 ile yüzde güç kaybı bulunmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken alınacak bütün değerler dizi üzerinde oluşacak değerlerdir.

Kablo akım taşıma hesabı yapılırken IEC-60364 de yer alan tablolar kullanılmaktadır. Bu tablolardan “Tablo A.52-17 (IEC 60364-5-52) birden fazla devre ya da birden çok çok çekirdekli kablo grupları için indirgenme faktörleri” ile indirgenme katsayısı, Tablo A.14 30 C⁰ sıcaklıktan farklı hava sıcaklıklarında döşenmiş kablolar için düzeltme faktörleri” tablosundan da düzeltme katsayısı alınmalıdır.

Aşağıda tablo olarak verilmiş Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4 değerleri tasarıma ve bölgeye göre belirlenen değerler ile kablo katalogunda yer alan akım taşıma kapasitesi çarpılır. Tavada döşemesi yapılan bir DA kablo için kablonun düzeltilmiş akım taşıma kapasitesini hesabı aşağıda verilen formül ile yapılır.

$$I_{\text{düzeltilmiş}} = \text{İndirgenme Katsayısı}(K1) \times \text{Düzeltilme Katsayısı}(K2) \times \text{Kablo Katalog Akım Taşıma Kapasitesi} \quad (4.5)$$

Eşitlik 4.5 ile kablonun düzeltilmiş akım değeri bulunur. Bu değer artık kablonun taşıyabileceği maksimum akım değerini vermektedir. DA kabloda genellikle bakır kablo tercih edilmektedir.

Çizelge 4.3. Tablo A.52-17 (52-E1) birden fazla devre ya da birden çok çok çekirdekli kablo grupları için indirgenme faktörleri (IEC 60364-5-52)

	Kablo Montaj Şekil	Devre Sayısı								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Havada demet halinde bir yüzey üzerine yerleşik veya üzeri kaplı	1	0,8	0,7	0,65	0,6	0,57	0,54	0,52	0,5
2	Duvar zemin veya deliksiz tava üzerinde katmanlı	1	0,85	0,79	0,69	0,73	0,72	0,72	0,71	0,7
3	Ahşap tavan altında sabitlenmiş tek katmanlı	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,64	0,62	0,61
4	Tek katmanlı delikli yatay veya dikey tepsi üzerinde	1	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72
5	Kablo Merdiveninde tek sıra kablo	1	0,87	0,82	0,8	0,8	0,79	0,79	0,78	0,78

Çizelge 4.4. Tablo A.14 30 C sıcaklıktan farklı hava sıcaklıklarında döşenmiş kablolar için düzeltme faktörleri

Ortam Sıcaklığı (C)	Yalıtım			
	PVC	XLPE VE EPR	Mineral	
			PVC kılıflı yahut çıplak ve dokunma etkisine açık 70 C	Çıplak dokunma etkisine açık değil 105 C
10	1,22	1,15	1,26	1,14
15	1,17	1,12	1,2	1,11
20	1,12	1,08	1,14	1,07
25	1,06	1,04	1,07	1,04
35	0,94	0,96	0,93	0,96
40	0,87	0,91	0,85	0,92
45	0,79	0,87	0,87	0,88
50	0,71	0,82	0,67	0,84
55	0,61	0,76	0,57	0,8
60	0,5	0,71	0,45	0,75
65	-	0,65	-	0,7
70	-	0,58	-	0,65
75	-	0,5	-	0,6
80	-	0,41	-	0,54
85	-	-	-	0,47
90	-	-	-	0,4
95	-	-	-	0,32

Formülleri örnek bir hesapta açıklamak gerekirse;

Çizelge 4.5. Panel katalog değerleri

Panel Verileri		
Panel Gücü	285	Wp
Nominal Gerilim	31,81	V
Açık Dev. Gerilimi	38,6	V
Nominal Akım	8,96	A
Kısa devre Akımı	9,2	A
Ger. Sıcaklık Kat.	0,35	-
Akım Sıc. Kat.	0,07	-

Çizelge 4.5 de projede kullanacağımız panelin katalog değerlerini gösterilmektedir. 285 Wp polikristal panel kullanıldığını düşünüldüğünde ve dizilerimiz 22'lik Kablo uzunluğu 50 metre, kullanılan kesit ise 6 mm² olduğunu kabul edelim.

22 adet seri bağlanan panel için oluşan akım değeri katalogda verilen nominal akım değeri ile aynıdır. Güç ve gerilim ise nominal değerlerin 22 ile çarpılması ile elde edilir. Bu durumda yukarıda yer alan eşitlikleri kullandığımızda;

$$\%e = \frac{2 \times 100 \times L \times P}{V \times V \times X \times q} = \frac{2 \times 100 \times 50 \times (22 \times 285)}{(22 \times 31,81) \times (22 \times 31,81) \times 56 \times 6} \cong 0,38$$

$$\Delta V = \frac{\%e \times V}{100} = \frac{0,38 \times (22 \times 31,81)}{100} \cong 2,66 \text{ V}$$

$$\Delta P = 2 \times \frac{I \times I \times L}{X \times q} = 2 \times \frac{8,96 \times 8,96 \times 50}{56 \times 6} \cong 23,893 \text{ W}$$

$$\%P = \frac{\Delta P}{P} \times 100 = \frac{23,893}{22 \times 285} \times 100 \cong 0,38$$

Gerilim ve güç kaybı yönünden yukarıdaki formüller ışığında hesap yapılmıştır. Genel olarak kayıpların %2 üzerinde olmaması istenir. Kullandığımız kablonun katalogdan akım taşıma kapasitesini alıp düzeltilmiş akım değerinin taşıma için uygun olup olmadığını kontrol edelim. $1 \times 6 \text{ mm}^2$ PV-F1 (Dizi kablosu olduğu için PV-F1 kablo seçilmiştir.) kablonun akım taşıma kapasitesi 72 Amperdir.

Eşitlik 5.5 de belirtildiği üzere indirgenme ve düzeltme katsayılarını belirlemek gerekmektedir. Sahalarda C profil içinden giden DA kablolar için montaj şekli olarak “Tek katmanlı delikli yatay veya dikey” 5 devre geçtiği ve ortam sıcaklığının da 50 C° olduğunu projede tasarımınızdan ve bölge sıcaklığından bulunur. Bu durumda $K1=0,75$; $K2=0,71$ olacaktır. Formülde yerine yazılır;

$$I_{\text{düzeltilmiş}} = K1 \times K2 \times \text{Kablo Katalog Akım Taşıma Kapasitesi} = 0,75 \times 0,71 \times 72 \\ = 38,34 \text{ A}$$

olarak bulunur. Kablonun taşınması gereken akım önceden de belirttiğimiz gibi nominal panel akımı olup düzeltilmiş akım değeri büyük olduğu için seçilen kesit uygundur.

AA Kablo hesapları

Bu bölümde projede kullanılan AA kabloların güç kaybı, gerilim düşümü ve akım taşıma kontrolünü gösterir alternatif akım kablo hesapları gösterilmelidir. Gerilim düşümü ve güç kaybı hesabı yapılırken aşağıda yer alan formüller kullanılır:

%e: Yüzde Gerilim Düşümü, L: Kablo Boyu, V: Gerilim, X: Öziletkenlik, q: Kablo kesiti,

ΔV : Gerilim Düşümü, I: akım, P: Güç, ΔP : Güç Düşümü, %P: Yüzde Güç Düşümü olmak üzere

$$\%e = \frac{100 \times L \times P}{V \times V \times X \times q} \quad (4.6)$$

$$\Delta V = \frac{\%e \times V}{100} \quad (4.7)$$

$$\Delta P = 3 \times \frac{I \times I \times L}{X \times q} \quad (4.8)$$

$$\%P = \frac{\Delta P}{P} \times 100 \quad (4.9)$$

Eşitlik 4.6 ile kabloda oluşan yüzde gerilim düşümü, Eşitlik 4.7 ile gerilim düşümü, Eşitlik 4.8 ile güç kaybı, Eşitlik 4.9 ile yüzde güç kaybı bulunabilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken alınacak bütün değerler kullanılan invertörün katalogda belirtilen AA değerleridir.

Kablo akım taşıma hesabı yapılırken DA kablolarda da olduğu gibi IEC-60364 de yer alan çizelgeler kullanılmaktadır. Kablonun tava gibi bir sistemde taşınması durumunda DA kablo seçiminde olduğu gibi düzeltilmiş akım bulunur ve o akım ile karşılaştırılma yapılır. Lakin toprakta taşınacaksa bu sefer aşağıda yer alan çizelgeler kullanılmaktadır.

Çizelge 4.6. 20 C dan farklı toprakta kanal içindeki kabloların akım taşıma kapasitelerine uygulanacak düzeltme faktörleri

Toprak Sıcaklığı (C)	Yalıtım	
	PVC	XLPE ve EPR
10	1,1	1,07
15	1,05	1,04
25	0,95	0,96
30	0,69	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,8
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65	-	0,6
70	-	0,53
75	-	0,46

Çizelge 4.7. Toprağın termik direncinin 2,5 k-m/W den farklı olduğu yerlerde gömülü kanal içindeki kablolarla D yöntemi için akım taşıma kapasitelerine uygulanacak düzeltme faktörleri

Termik direnç, K-m/W	1	1,5	2	2,5	3
Kanala gömülü kablolar için	1,18	1,1	1,05	1	0,96
Doğrudan gömülü kablolar	1,5	1,28	1,12	1	0,9

Çizelge 4.8. Toprağa gömülü kanal içinde bir devreden fazla kablolar için zayıflatma faktörleri Tablolar A.2-A.5 de D tesisat yöntemi için

B) Tek gözlü kanalda çok damarlı kablolar

Kablo Sayısı	Gözler arası açıklık (a)			
	Gözler bitişik	0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,85	0,9	0,95	0,95
3	0,75	0,85	0,9	0,95
4	0,7	0,8	0,85	0,9
5	0,65	0,8	0,85	0,9
6	0,6	0,8	0,8	0,9

B) Tek gözlü kanalda tek damarlı kablolar

Kablo Sayısı	Gözler arası açıklık (a)			
	Gözler bitişik	0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,8	0,9	0,9	0,95
3	0,7	0,8	0,85	0,9
4	0,65	0,75	0,8	0,9
5	0,6	0,7	0,8	0,9
6	0,6	0,7	0,8	0,9

Yukarıdaki tablolar IEC 60364 de yer alan akım düzeltme için tablolardır. Bu tablolarda kanalda kablo döşemesi yapılacaksa düzeltilmiş akım;

$$I_{düzeltilmiş} = \text{İndirgenme Katsayısı}(K1) \times \text{Düzeltilme Katsayısı} (K2) \times \text{Sıcaklık Faktörü} (K3) \times \text{Kablo Katalog Akım Taşıma Kapasitesi} \quad (4.10)$$

Sıcaklık faktörü seçimi için Çizelge 4.6, indirgenme faktörü için Çizelge 4.8 ve düzeltme faktörü içinse Çizelge 4.7 kullanılmaktadır.

Formülleri örnek bir hesapta açıklamak gerekirse;

Çizelge 4.9. İnvertör AA katalog verileri

İnvertör AA Katalog Verileri	
Mak. AA Nominal Çıkış Güç Değeri	50 kW
Nominal Voltaj	400 V
Mak. Çıkış Akımı	74 A
AA Bağlantı	3 faz/N/PE

Çizelge4.9 da projede kullanacağımız invertör ile alakalı katalog verileri yer almıştır. Kablo cinsini belirlemede ve kullanılacak koruma ekipmanlarını belirlemede “AA Bağlantı” olarak verilen içerik önemlidir. Burada 3 Faz/N/PE olduğu için 5 damarlı bir kablo kullanmak gerekmektedir. Şebeke aydınlatmaları, güç dağıtım panoları gibi yerlerde yaygın olarak kullanılan NYY kablo tipi seçilecektir. Lakin yangın riski olan bina, hastane, alışveriş merkezi gibi kapalı bir alan olsaydı N2XH kablo kullanılmalıdır. Kablonun bakır ya da alüminyum olarak seçilmesi teknik olarak herhangi bir sorun teşkil etmemektedir. Alüminyum kablolar maliyet olarak uygun olduğundan birçok projede alüminyum kablo kullanılmaktadır.

Örnek hesabımızda kablo malzemesinin cinsini bakır kesiti 5x35 mm² NYY kablo için hesapları kontrol edilir. Kablo toprakta akım taşıması 157 A katalog değeri, en uzun mesafemizin de (L) 50 m olduğunu proje metraj bilgisinden bulunur.

$$\%e = \frac{100 \times L \times P}{V \times V \times X \times q} = \frac{100 \times 50 \times 50000}{(400) \times (400) \times 56 \times 35} \cong 0,80$$

$$\Delta V = \frac{\%e \times V}{100} = \frac{0,8 \times 400}{100} \cong 3,2 V$$

$$\Delta P = 3 \times \frac{I \times I \times L}{X \times q} = 3 \times \frac{72,2 \times 72,2 \times 50}{56 \times 35} \cong 398,94 W$$

$$\%P = \frac{\Delta P}{P} \times 100 = \frac{398,94}{50000} \times 100 \cong 0,80$$

Gerilim ve güç kaybı yönünden yukarıdaki formüller ışığında hesap yapılmıştır. Genel olarak kayıpların %3 üzerinde olmaması istenir. Düzeltilmiş akım ise;

$$I_{düzeltilmiş} = (K1) \times (K2) \times (K3) \times \text{Kablo Katalog Akım Taşıma Kapasitesi}$$

Formülünden toprak sıcaklığını 25 derece, termik direncinin 2,5 k-m/W’den farklı olarak 2 k-m/W ve doğrudan kanala gömülü olarak alındığında Çizelge 4.8 de yer alan “Tek gözlü kanalda çok damarlı kablolar” tablosunda da 0,25m açıklık olduğu durumda;

$$I_{düzeltilmiş} = 0,8 \times 1,12 \times 0,95 \times 131 = 133,64 A$$

bulunur. $133,64 > 74$ A olduğu için akım yönünden uygundur. Burada 50 kW invertör için 4 kutuplu termik manyetik şalter kullanılmaktadır. Kullanılacak şalter 100 A olup bu değeri düzeltilmiş akım değeri taşımalıdır.

Kablo seçimlerinde önemli unsurlar;

- Uzun kablolar için gerilim düşümü kontrolü, kısa kablolar için ise akım kontrolü yapılır.
- AA kablo seçimlerinde kullanılan koruma ekipmanlarının (Termik manyetik şalter, NH Sigorta vb.) değerlerini düzeltilmiş akım değerinden küçüktür
- Kullandığımız kablo cinsi ve gerilim değeri uygun olarak seçilir.
- Ayrıca kablo döşemeleri için “Elektrik Dağıtım Şebekeleri Enerji Kabloları Montaj(Uygulama) Usul ve Esasları” TEDAŞ tarafından yayınlanan şartnameye uygun yapılır.

4.2.2. Panel invertör uyumluluk hesabı

Panel karakteristiği sıcaklık ile değişim gösterir. Bu nedenle TEDAŞ panelde sıcaklığa bağlı olarak değişen değerlerin invertör değerleri ile uyumlu olup olmadığını göstermenizi ister.

Aşağıda yer alan çizelgede panel ve invertör katalog değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.10. Panel ve invertör katalog verileri

Panel Verileri		İnvertör Verileri	
Nominal Güç (P _{mpp})	310 Wp	Nominal Güç	60 kW
Nominal Voltaj (V _{mpp})	36,38 V	Maksimum AA Güç	60 kW
Açık Devre Gerilimi (V _{oc})	45,79 V	İnvertör max. Voc Ger.	1000 V
Nominal Akım (I _{mpp})	8,52 A	İnvertör min. Voc Ger.	565 V
Kısa Devre Akımı	8,99 A	İnvertör max.Mpp Ger.	800 V
PV Sıcaklık Gerilim Katsayısı(k ₁)	-0,32 %	İnvertör mini. Mpp Ger.	570 V
PV sıcaklık Akım Katsayısı(k ₂)	+0,059%	İnvertör max. Kısa Devre Akımı	150 A
Test Sıcaklık Koşulları(t)	25 °C	İnvertör max. Giriş Akımı	110 A
Dizideki Panel Sayısı(N)	18	İnvertör Mppt Sayısı	1
Paralel Dizi Sayısı (M)	12	İnvertör Giriş Sayısı	12
Bölge maksimum sıcaklık değeri(t _{max})	65 °C	Bölge minimum sıcaklık değeri (t _{min})	-40°C

Yukarıda verilen çizelgede görüldüğü gibi sıcaklık ile gerilim ters, akım doğru orantılı olarak değişmektedir. Tesisin kurulacağı bölgede oluşan sıcaklık aralığı -40/65 °C arasındadır. Uç değerler ile kontrolü sağlandığında diğer koşullar da sağlanmış olunur bu nedenle hesaplamalarda uç değerler kullanılır.

Bir panelde oluşabilecek maksimum açık devre gerilimi için $kocmax$ değerini bulalım.

$$kocmax = 1 + [(k_1 \times (t_{min} - t_{nom}))]/100 \quad (4.11)$$

$$kocmax = 1 + \left[\frac{(-0,32 \times (-40 - 65))}{100} \right] = 1,208$$

Bir panelde oluşacak açık devre gerilimi;

$$Vocmax(\text{Bir panelde ki açık devre gerilimi}) = Voc \times kocmax = 45,79 \times 1,208 = 55,31$$

Dizide oluşan açık devre gerilimi;

$$V_{ocdizimax}(\text{Dizide oluşan açık devre gerilimi}) = V_{ocmax} \times N = 55,31 \times 18 \\ = 995,58 \text{ V}$$

Maksimum oluşabilecek açık devre dizi gerilimi 995,58 V olup bu değer invertör katalog değeri olan “invertör max. Voc Ger.” küçüktür. Bu durumda açık devre gerilimi yönünden seçilen 18 li dizi uygundur. Diğer bir yaklaşımla son dan başa gidildiğinde, bu invertöre bağlanabilecek maksimum dizi nedir? Bu durumda;

$$N_{max}(\text{Maksimum dizi sayısı}) = \frac{\text{invertör.Voc Ger}}{V_{ocmax}} = \frac{1000}{55,31} = 18,08 \text{ bulunurdu.}$$

Bir panelde oluşabilecek maksimum nominal gerilimi için k_{max} değerini bulunur.

$$k_{max} = 1 + [(k_1 \times (t_{min} - t_{nom}))]/100 \\ k_{max} = 1 + \left[\frac{(-0,32 \times (-40 - 65))}{100} \right] = 1,208 \quad (4.12)$$

Bir panelde oluşacak açık devre gerilimi;

$$V_{max}(\text{Bir panelde ki mpp gerilimi}) = V_{mpp} \times k_{max} = 36,38 \times 1,208 = 43,95 \text{ V}$$

Dizide oluşan MPP gerilimi;

$$V_{dizimax}(\text{Dizide oluşan mpp gerilimi}) = V_{max} \times N = 43,95 \times 18 = 791,1 \text{ V}$$

Maksimum oluşabilecek nominal dizi gerilimi 791,1 V olup bu değer invertör katalog değeri olan “İnvertör max.Mpp Ger.” Küçüktür. Bu durumda nominal gerilimi yönünden seçilen 18 li dizi uygundur. Diğer bir yaklaşımla son dan başa gidildiğinde, bu invertöre bağlanabilecek maksimum dizi nedir? Bu durumda;

$$N_{max}(\text{Maksimum dizi sayısı}) = \frac{\text{invertör.MPP Ger}}{V_{ocmax}} = \frac{800}{43,95} = 18,20 \text{ olarak bulunurdu.}$$

Panelde oluşabilecek maksimum gerilim değerlerinin kontrolünü yapıldı. Şimdide maksimum sıcaklıkta panelde oluşabilecek minimum gerilimleri kontrol edilmeli;

$$kocmin = 1 + [(k1 \times (tmax - tnom))/100] \quad (4.13)$$

$$kocmin = 1 + \left[\frac{(-0,32 \times (60 - 25))}{100} \right] = 0,888$$

Bir panelde oluşacak açık devre gerilimi;

$$Vocmin(\text{Bir panelde ki açık devre gerilimi}) = Voc \times kocmin = 45,79 \times 0,888$$

$$= 40,66$$

Dizide oluşan açık devre gerilimi;

$$Vocdizimin(\text{Dizide oluşan açık devre gerilimi}) = Vocmin \times N = 40,66 \times 18$$

$$= 731,88 \text{ V}$$

Minimum oluşabilecek açık devre dizi gerilimi 731,88 V olup bu değer invertör katalog değeri olan “invertör min. Voc Ger.” büyüktür. Bu durumda açık devre gerilimi yönünden seçilen 18 li dizi uygundur. Diğer bir yaklaşımla sondan başa gidildiğinde, bu invertöre bağlanabilecek minimum dizi nedir? Bu durumda;

$$Nmin(\text{Minimum dizi sayısı}) = \frac{\text{Invertör min.Vocc Ger}}{Vocmin} = \frac{565}{40,66} = 13,9 \text{ Bulunurdu.}$$

Minimum nominal gerilimi kontrol edersek;

$$kmin = 1 + [(k1 \times (tmax - tnom))/100] \quad (4.14)$$

$$kmin = 1 + \left[\frac{(-0,32 \times (60 - 25))}{100} \right] = 0,888$$

Bir panelde oluşacak açık devre gerilimi;

$$Vmin(\text{Bir panelde ki açık devre gerilimi}) = Vmpp \times kocmin = 36,38 \times 0,888$$

$$= 32,30 \text{ V}$$

Dizide oluşan açık devre gerilimi;

$$V_{dizimin}(Dizide \text{ oluşan mpp gerilimi}) = V_{min} \times N = 32,3 \times 18 = 581,4 \text{ V}$$

Minimum oluşabilecek nominal dizi gerilimi 581,4 V olup bu değer invertör katalog değeri olan “invertör min. Mpp Ger.” büyüktür. Bu durumda nominal gerilimi yönünden seçilen 18 li dizi uygundur. Diğer bir yaklaşımla sondan başa gidildiğinde, bu invertöre bağlanabilecek minimum dizi nedir? Bu durumda;

$$N_{min}(\text{Minimum dizi sayısı}) = \frac{\text{Invertör min.mpp Ger}}{V_{min}} = \frac{565}{32,3} = 17,5 \text{ Bulunurdu.}$$

Yukarıda gerilim yönünden kontrol yapılmıştır. Akım katsayısı çok küçük olduğundan ihmal edilip doğrudan kontrol yapılır. Bu durumda;

$$I_{topsc} = I_{sc} \times M \quad (4.15)$$

$$I_{topmpp} = I_{mpp} \times M \quad (4.16)$$

ile bulunur. Bu durumda $I_{topsc} = 107,88 \text{ A} < 150 \text{ A}$ invertör kısa devre akımından ve $I_{topmpp} = 102,24 \text{ A} < 110 \text{ A}$ olduğundan uygundur.

$$P_{top}(\text{Toplam DC Giriş Gücü}) = M \times N \times P_{mpp} \quad (4.17)$$

$P_{top} = 66960 \text{ Watt}$ bulunur. Birçok invertör üreticisi DA gücü AA güce oranla %20 fazla yüklemeye kadar izin verir. Bunun en önemli nedeni kayıpları tolere edebilmektir. Bu nedenle toplam güç uygundur.

Çizelge 4.11. Panel invertör uyum hesabı özeti

Tasarım Değeri	İlişki Durumu	Katalog Değeri	Uygunluk Durumu
$V_{ocdizimax} = 995,58 \text{ V}$	<	İnvertör max. Voc Ger =1000 V	Uygundur
$V_{ocdizimin} = 731,88 \text{ V}$	>	İnvertör min. Voc Ger.=565 V	Uygundur
$V_{dizimax} = 791,1 \text{ V}$	<	İnvertör max.Mpp Ger.=800 V	Uygundur
$V_{dizimin} = 581,4 \text{ V}$	>	İnvertör mini. Mpp Ger.=570 V	Uygundur
$I_{topsc} = 107,88 \text{ A}$	<	İnvertör max. Kısa Devre Akımı=150 A	Uygundur
$I_{topmpp} = 102,24 \text{ A}$	<	İnvertör max. Giriş Akımı= 110 A	Uygundur
$P_{top} = 66960 \text{ W}$	<	$60 \text{ kW} \times 1.20 = 72 \text{ kW}$	Uygundur

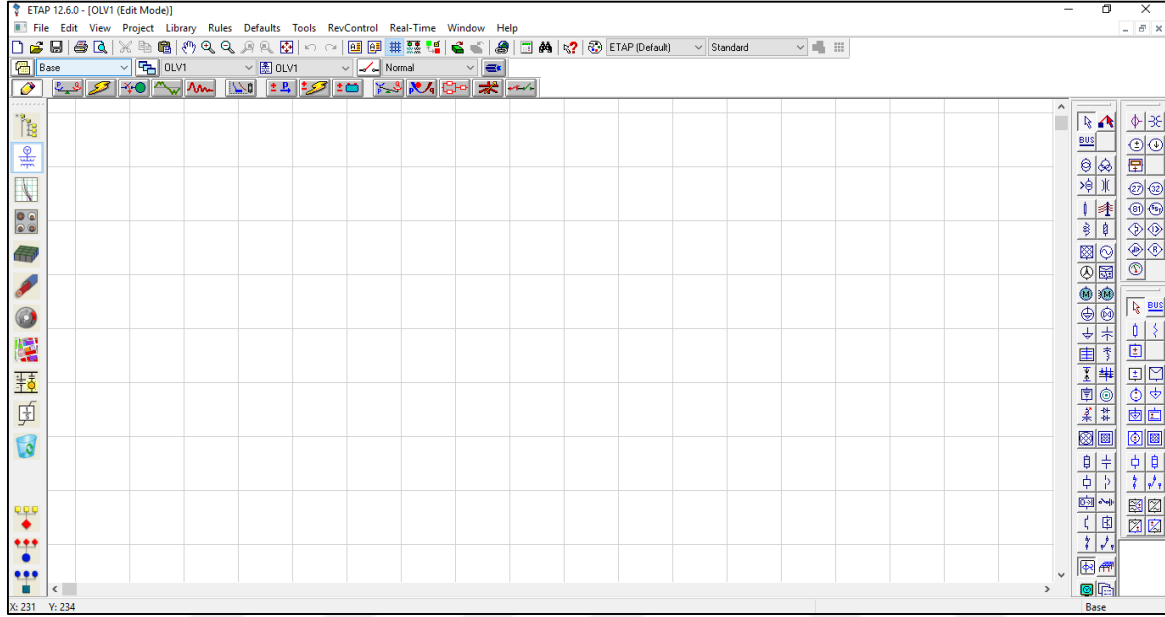
Çizelge 4.11 de görüldüğü üzere yapılan seçim uygundur. Seçim yapmadan önce bir panelde oluşan gerilim değerleri bulunup bu değerler ışığında dizi aralığı belirlenir. Örnek hesapta dizi doğrudan verilmiştir. Belirlenen aralık değerlerinde akım ve güç kontrolü kontrol edilir. Uygun olması durumunda tasarımda bir sakınca yoktur.

4.2.3. Kısa devre hesapları

TEDAŞ proje onaylarında kısa devre hesaplarını da istemektedir. IEC 60909 standartlarına göre kısa devre hesabı yapılır. Bu kısımda bu standarda göre hesaplama yapan ve TEDAŞ tarafından da kabul gören lisanslı bir yazılım olan ETAP üzerinden kısa devre hesabı yapılacaktır. Güç elektriği sistem analiz programı olan Etap programı geniş bir içeriğe sahip olup, kısa devre analizleri, yük analizleri, topraklama, motor ivme analizleri, harmonik analiz, geçici kararlılık analizi... gibi bir çok konuda hesaplama olanağı sağlamaktadır. Bu nedenle lisansta öğrenilen ve Elektrik Mühendisleri Odası kaynaklarında da rahatlıkla bulabileceğiniz kısa devre hesabı yerine daha faydalı olunacağı düşünülen ETAP üzerinden kısa devre hesabını anlatılacaktır.

Resim 4.5’de görüldüğü üzere ETAP açılış sayfası bu şekildedir. Sayfanın üst kısmında “File” tıklayıp yeni bir proje oluşturulur. “Project” kısmına tıklayıp proje bilgileri girilir ve orada yer alan “Standarts” ile projede standardı belirlenir. Önceden de belirtildiği üzere

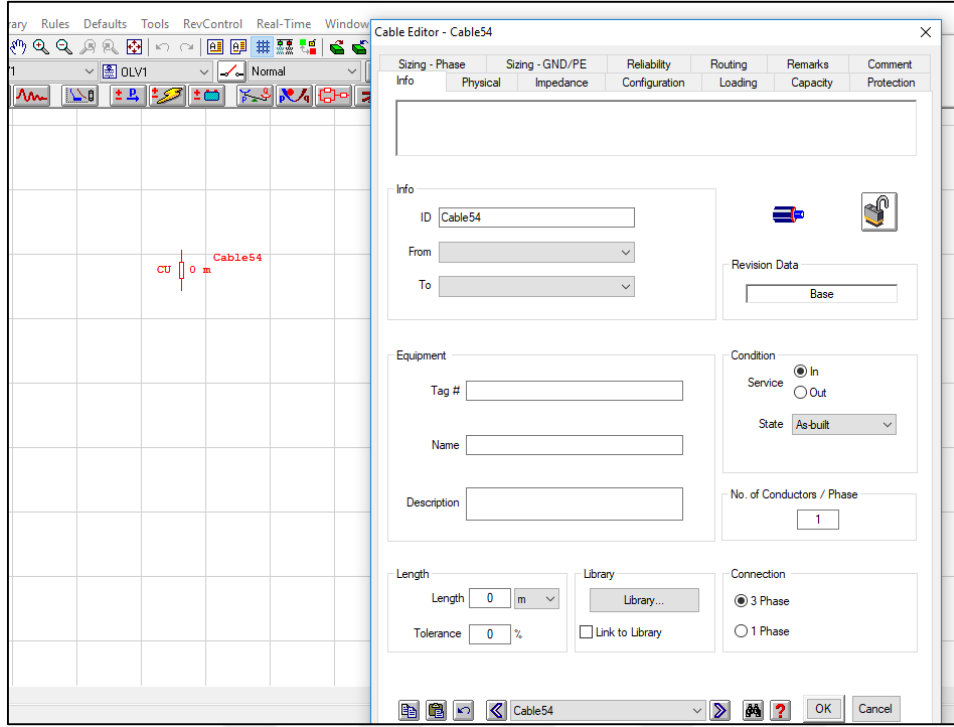
TEDAŞ IEC standartlarını kullanmaktadır bu nedenle IEC standardı seçilir. Etap açılış sayfasında da görüldüğü üzere ekranın sağ tarafında projenin tek hat şemasını oluşturmak için “Bara,Trafo,Kablo,dağıtım hattı,jeneratör...” vardır. Projenin tek hat şeması burada yer alan malzemeler ile doldurulur.



Şekil 4.5. Etap açılış sayfası

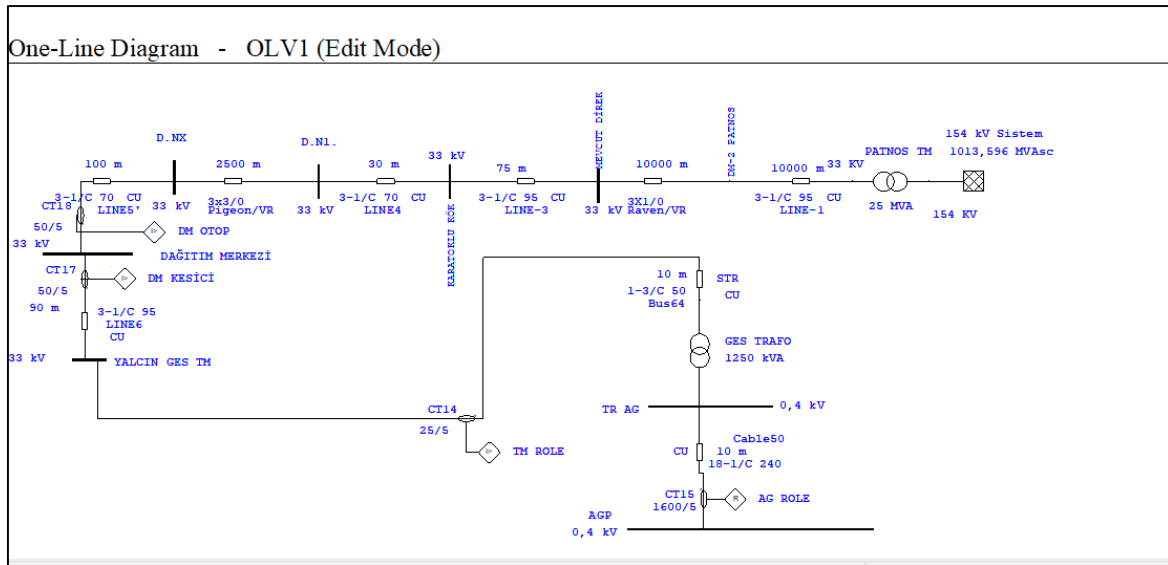
Malzemeleri seçildikten sonra ekranda malzemelerin olduğu görülecektir. Şekil 4.6’da da görüldüğü üzere seçilen malzemeye çift tıklandığında “Malzeme Editörleri” açılır. Buradan malzemeye ait özellikler girilir.

Şekil 4.6’da örnek olması amacıyla kablo seçilmiştir. Çift tıklandığında kablonun editörü açılmış kablo özellikleri girilir. Geniş bir kütüphaneye sahip olan ETAP kütüphanelerini kullanmak çoğu zaman kazandırır ve hatayı önler. Bu nedenle sol altta yer alan “Library” tıklayıp kullanılacak kabloyu kendi kütüphanesinden seçmek daha kolaydır.



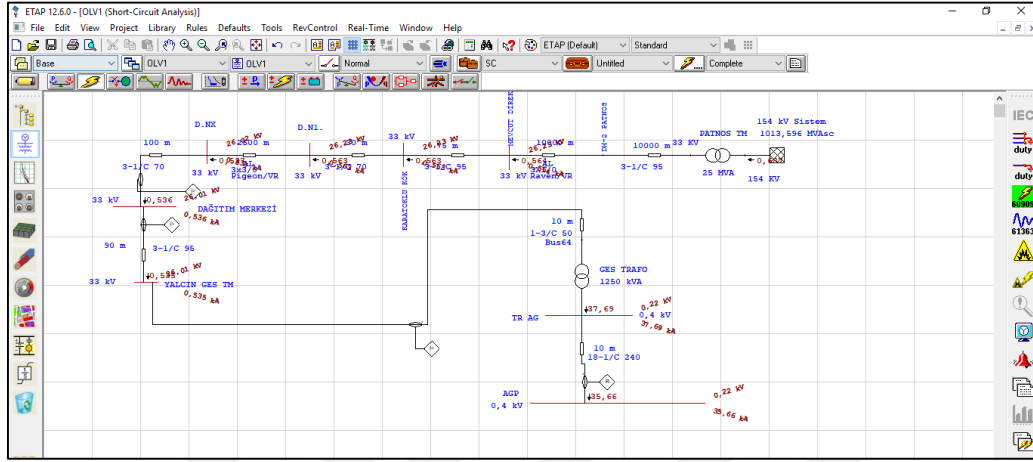
Şekil 4.6. Örnek malzeme seçimi

Tüm malzemeleri seçip bağlantıları tamamlandığında projenin prensip tek hat şeması hazır olur. Etap her iki malzeme bağlantısına otomatik olarak bara oluşturur. Bu baralara isim vermek çıkan sonuçları yorumlamakta yardımcı olacaktır. Ayrıca bütün ekipmanlara isim vermek (ID tanımlamak) sonuçları yorumlamada yardımcı olacağı gibi projenin bir başka mühendis tarafından kolayca okunmasını da sağlar.



Şekil 4.7. Örnek tek hat

Malzemeleri tamamladıktan sonra Şekil 4.7’de görüldüğü üzere bir tek hat projesi olacaktır. Sol üst köşede yer alan  “ShortCircuit Analysis” sekmesine tıkladığında sağ yan tarafta standart açılacak ve projenin kısa devre hesabını yapılmış olacaktır.



Şekil 4.8. Kısa devre analizi

Şekil 4.8 de görüldü üzere ekranın sağ yan tarafında bulunan  (IEC 60909) tıkladığında baralar da oluşan arıza akım değerleri görülür. Yukarı sağ üst köşede yer alan  Complete tıkladığında da kısa devre ile alakalı tüm rapor dökülür. Bu raporun son sayfalarında özet olarak baralarda oluşabilecek kısa devre akım değerleri “3 faz arıza akımı, Faz-Faz Arıza Akımı, Faz-Toprak Arıza Akımı” olarak verilir.

KISA DEVRE ve ROLE KOORDİNASYON

Short-Circuit Summary Report

3-Phase, LG, LL, LLG Fault Currents

Bus	3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault				Line-to-Line Fault			*Line-to-Line-to-Ground						
	ID	kV	I ^{3k}	I _p	I _k	I ^{3k}	I _p	I _b	I _k	I ^{3k}	I _p	I _b	I _k	I ^{3k}	I _p	I _b	I _k
33 KV	33.000	3.238	8.695	3.238	0.848	2.277	0.848	0.848	2.804	7.530	2.804	2.804	3.012	8.088	3.012	3.012	3.012
154 KV	154.000	3.800	9.383	3.800	0.687	1.696	0.687	0.687	3.291	8.126	3.291	3.291	3.296	8.139	3.296	3.296	3.296
AGP	0.400	32.734	53.436	32.734	35.658	58.210	35.658	35.658	28.348	46.277	28.348	28.348	34.574	56.441	34.574	34.574	34.574
Bus64	33.000	1.438	2.364	1.438	0.535	0.880	0.535	0.535	1.245	2.047	1.245	1.245	1.324	2.177	1.324	1.324	1.324
D.N1.	33.000	1.572	2.604	1.572	0.563	0.932	0.563	0.563	1.361	2.255	1.361	1.361	1.449	2.401	1.449	1.449	1.449
D.NX	33.000	1.443	2.375	1.443	0.537	0.883	0.537	0.537	1.250	2.057	1.250	1.250	1.329	2.188	1.329	1.329	1.329
DAĞITIM MERKEZİ	33.000	1.440	2.369	1.440	0.536	0.881	0.536	0.536	1.247	2.052	1.247	1.247	1.326	2.182	1.326	1.326	1.326
DM-2 PATNOS	33.000	2.651	5.122	2.651	0.723	1.397	0.723	0.723	2.296	4.436	2.296	2.296	2.451	4.736	2.451	2.451	2.451
KARATOKLU KÖK	33.000	1.573	2.607	1.573	0.563	0.933	0.563	0.563	1.362	2.257	1.362	1.362	1.450	2.403	1.450	1.450	1.450
MEVCUT DİREK	33.000	1.575	2.611	1.575	0.564	0.934	0.564	0.564	1.364	2.261	1.364	1.364	1.452	2.407	1.452	1.452	1.452
TR AG	0.400	33.923	55.435	33.923	37.685	61.584	37.685	37.685	29.378	48.009	29.378	29.378	36.275	59.279	36.275	36.275	36.275
YALCIN GES TM	33.000	1.438	2.365	1.438	0.535	0.880	0.535	0.535	1.246	2.048	1.246	1.246	1.324	2.178	1.324	1.324	1.324

Şekil 4.9. Kısa devre hesap raporu

4.2.4. Topraklama hesabı

Topraklama hesabı yapılırken “Elektrik Tesislerinde Topraklama Yönetmeliği” esas alınır. Topraklama direnç değeri önemlidir. Bir saha için örnek direnç hesabı yapılacaktır;

Çizelge 4.12. Topraklama hesabı için gerekli olan bilgiler

AÇIKLAMA	SEMBOL	DEĞER	BİRİM
Tesisin Uzunluğu	a	111	m
Tesisin Genişliği	b	87	m
Tesisin Alanı	A	7183	m ²
Toplam İletken Uzunluğu	L	990	m
Toprak özgül Direnci	r	100	ohm.m
Topraklama çubuk sayısı	n	4	adet
Topraklama Çubuğu Uzunluğu	L _ç	1,5	m
Topraklama Çubuğu Uzunluğu	d _ç	0,02	m

Çizelgede yer alan değerler sahaya özgü olup sahanın değerlerdir. Toprak özgül direnci toprak cinsine göre farklılık göstermektedir. Bataklıkta bu direnç 30 ohm.m iken taşlık zeminde 3000 ohm.m değerindedir. Bu nedenle kaya zeminler de yumuşak zeminlere oranla topraklama direnci daha yüksek çıkmaktadır.

D= Alanı topraklama ağının kapladığı alana eşit olan bir dairenin çapı olsun;

$$D = \sqrt{4 \times A / \pi} \quad (4.18)$$

$$R_g = \frac{r}{2 \times D} + \frac{r}{L} \quad (4.19)$$

$$R_{\varphi} = \left[\frac{r}{2 \times \pi \times L_{\varphi}} \times \ln \ln \left(\frac{4 \times L_{\varphi}}{d_{\varphi}} \right) \right] / n \quad (4.20)$$

Oluşturulan topraklama gözünün topraklama direnci R_g olsun. Eşitlik 4.19 dan R_g direnci;

$D = 95,66$, $R_g = 0,6237$ ohm bulunur. Topraklama çubuğu direncini bulmak $R_{\varphi} = 15,92$ ohm bulunur. Reş direnç R_{φ} / R_g olduğundan $R_{\varphi} = 0,60$ ohm bulunur.

Bunun dışında proje dosyasında varsa iç ihtiyaç trafosu güç hesabı, sabit kompanzasyon hesabı ve OG projesi dahil ise primer teçhizat seçim hesapları yapılır.

4.3. TEDAŞ Proje Onayı Sırasında Gerekli Olan Paftalar

TEDAŞ 2016 yılının sonuna kadar projelerde;

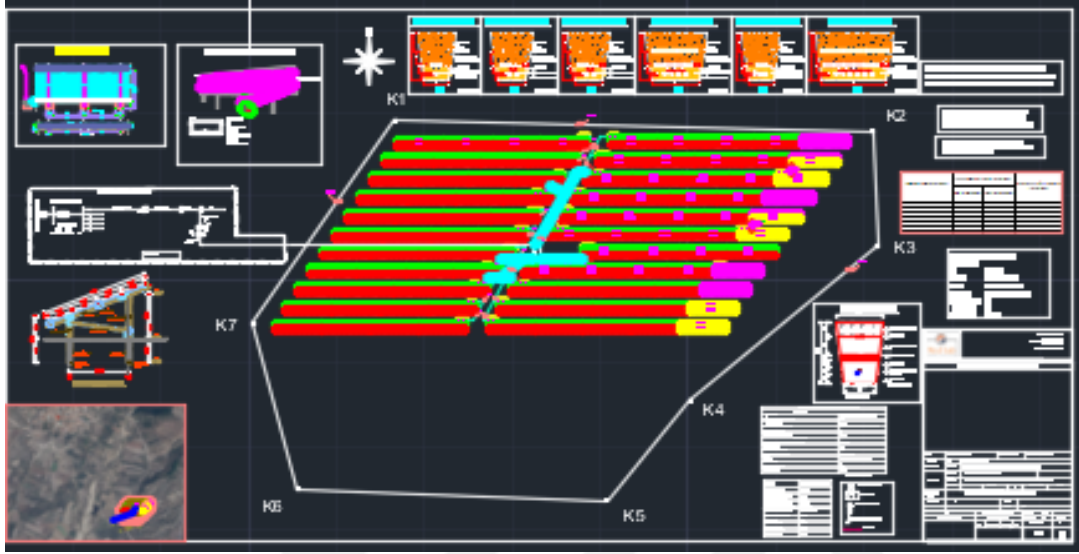
- Yerleşim Planı 1 ve 2
- Tek Hat Şeması
- Topraklama paftası
- AA-DA kanal detay paftası
- Aydınlatma Projesi
- Yangın Algılama ve Söndürme Projesi
- Hücre ve Pano Kesit Projesi

İstenmektedir. Son proje onaylarında ise sadece 2 pafta istenmektedir. Projenin yerleşimlerini ve kanal güzergâhını gösteren “Santral yerleşim planı” ve kablo AG ve OG detaylarını gösteren, trafo ve pano içeriklerinin ve kablo metrajının yer aldığı “YG-AG Tek hat şeması” paftalarını istemekte ve kavramsal olarak bu paftaları inceleyip onay yapmaktadır. Bu kısımda bu paftalar ve kurumun dikkat ettikleri üzerinde durulacaktır. Projeler AutoCAD programında çizilmektedir.

4.3.1. Santral yerleşim planı

Santral yerleşim planında önceki kısımlarda anlatıldığı üzere YEGM’e verilen UTM köşe koordinatları çizilmeli ve proje imarı yapıldıysa imar sonucunda sahada meydana gelen değişiklikler dikkate alınmalıdır. Yerleşimin yapılacağı alan belirlenmeli ve proje bu sınırlar içinde tasarlanmalıdır. Her santral güvenlik önlemi nedeniyle tel çit yapmak zorundadır. Tel çit minimum 2 metre boyunda olup gerekli olması durumunda yukarı ve aşağısına dikenli ve jiletli tel konmalıdır. Tel çit nedeniyle proje alanında en asgari 3 metre çekme payı oluşturulur ve böylelikle tel çitten kaynaklanacak gölgeler asgari seviyeye indirilir ve saha etrafında herhangi bir yangın durumunda da itfaiyenin rahatlıkla dolaşabileceği bir alan oluşturulmuş olunur. Bu paftada projenin üstten görünüşü verilmektedir. Bu nedenle proje yönünü gösteren yön pusulası, projenin ölçeği, kablo kanal güzergâhları ve kanal

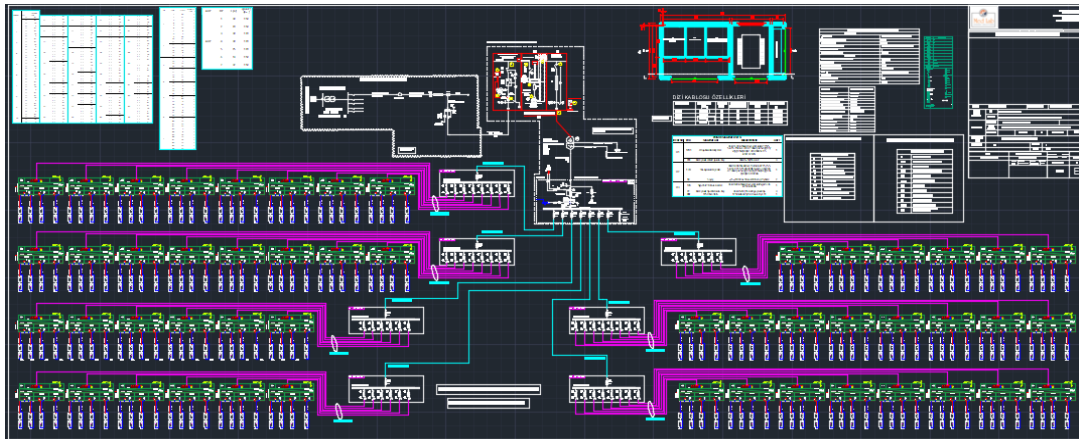
detayları, proje köşe koordinat bilgileri, tel çit ve kapı detayı, masa detayı ve CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) veya GoogleEarth tarafından etrafındaki yolları gösteren detaylı bir görüntü konulmalıdır.



Şekil 4.10. Örnek bir santral yerleşim paftası

4.3.2. YG AG tek hat şeması

Bu pafta projenin elektriksel bütün bilgilerini içeren kablo bağlantılarının nere ile yapıldığını, kullanılan malzemenin elektriksel değerini gösteren projedir. Bu paftada kablo metrajları, kablo cinsi, koruma malzemelerinin kısa devre ve nominal değerleri, eğer varsa trafo binası ve trafo binasının içeri (Akım ve gerilim trafoları, röle Ansı kodları), Alçak gerilim panosu, Dağıtım panosu bilgilerini, panel invertör bağlantılarını içermelidir.



Şekil 4.11. YG AG tek hat pafta örneği

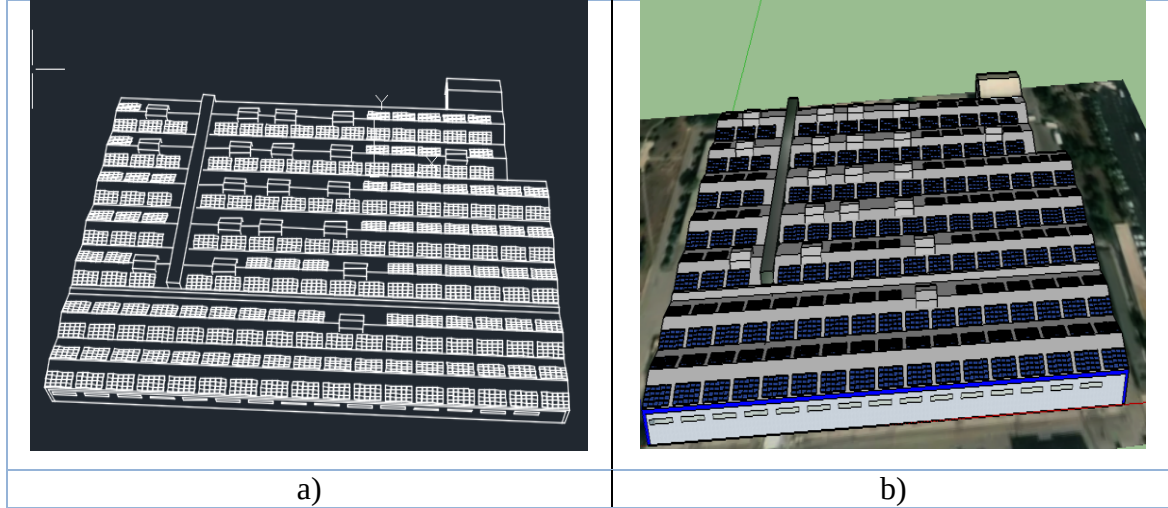
Bu paftaların dışında TEDAŞ proje dosyasında hesaplarda kullandığınız değerleri gösteren katalog ve topraklama paftasını ve kullanılan çizelgeler varsa onları istemektedir.

4.4. GES Projelerinde Kullanılan Lisansız Üretim Programları

Güneş enerji santralleri yatırımcı için bir ticari iştir. Lisansız santrallerde 10 yıl boyunca 13,3 Cent/Dolar devlet alma garantisi olan bu tesisler her ay ürettikleri enerjiye paralel fatura kesip ilgili dağıtım şirketlerinden ödemelerini almaktadırlar. Bu nedenle kurulacak santralin üretim değerinin tahmin edilmesi ve yapılan yatırımın geri dönüşüm süresi yatırımcı için önem arz etmektedir. Piyasada lisanslı ve lisansız üretim tahmini veren birçok program mevcuttur. Bunlardan PVSYST, PVGIS,PVSOL gibi programlar yaygın olarak kullanılanlar arasında yer almaktadır.

Bu kısımda lisansız veya deneme sürümü olan programlarda simülasyon yapılacak ve örnek bir amortisman süresi hesaplanacaktır. Hesaplama için çatı projesi bu kısımda örnek verilecektir. Tesis olarak Ankara Macunköy’de yer alan ekmek fabrikası seçilmiştir. Noktasal olarak yerin belirlenmesi nedeniyle saha yerine geniş alana sahip çatı projesinin tasarımı yapılmıştır. Ekmek fabrikasının çatısının alanı 18322 m²’dir. Tasarımda çatı alanına 3740 adet 280 Wp panel ve 18 adet 50 kW evirici kullanılmıştır. DA tarafı 1047,2 kWp ve AA tarafı 900 kW güce sahip bir tesis öngörülmüştür.

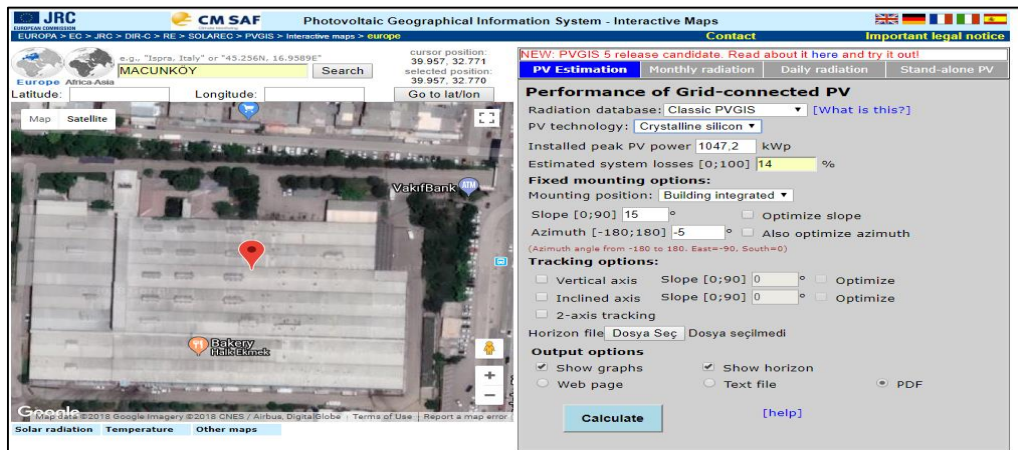
Çatı üzerine yerleşim AutoCad programında yapılmıştır. Çatı alanında yer alan havalandırmalar ölü alan olduğu için yerleşim yapılmamış ve gölge oluşumunu engellemek adına mesafeler bırakılmıştır. Ayrıca sistem bakımı ve panellerin havalandırılmasına yönelik mesafelerde tasarımda dikkate alınmıştır. Sketchup programında çatının üç boyutlu tasarımı yapılmış ve görselleştirilmiştir. Çatının programlar kullanılarak tasarlanması Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12. Çatının programlar kullanılarak tasarlanması, a) Autocad programıyla tasarım, b) Sketchup programında tasarım

4.4.1. PVGIS

Fotovoltaik performans çalışmaları ve güneş radyasyonu ile ilgili bilgi veren PVGIS Avrupa Komisyonu Ortak Araştırma Merkezinde geliştirilmiş olan çevrimiçi bir web uygulamasıdır. Coğrafi konum bilgisi GoogleMaps aracılığıyla kolayca elde edilmekte ve bu bakımdan kullanıcıya kolaylık sağlamaktadır. Amerika, Asya, Avrupa ve Afrika kıtalarında hesaplamalar yapılabilmektedir. Fotovoltaik sistemlerin yönlendirilme ve eğim açıları hesaplamada dikkat edilen parametrelerdir. PVGIS hesaplama ekranı Şekil 4.13'de verilmiş ve ay bazında sabit açılı paneller için ışıınım ve enerji üretim tahminleri gösterilmiştir. Bu ekrana Macunköy'de yer alan ekmek fabrikası ve özellikleri tanımlanmıştır.



Şekil 4.13. PVGIS hesaplama ekranı

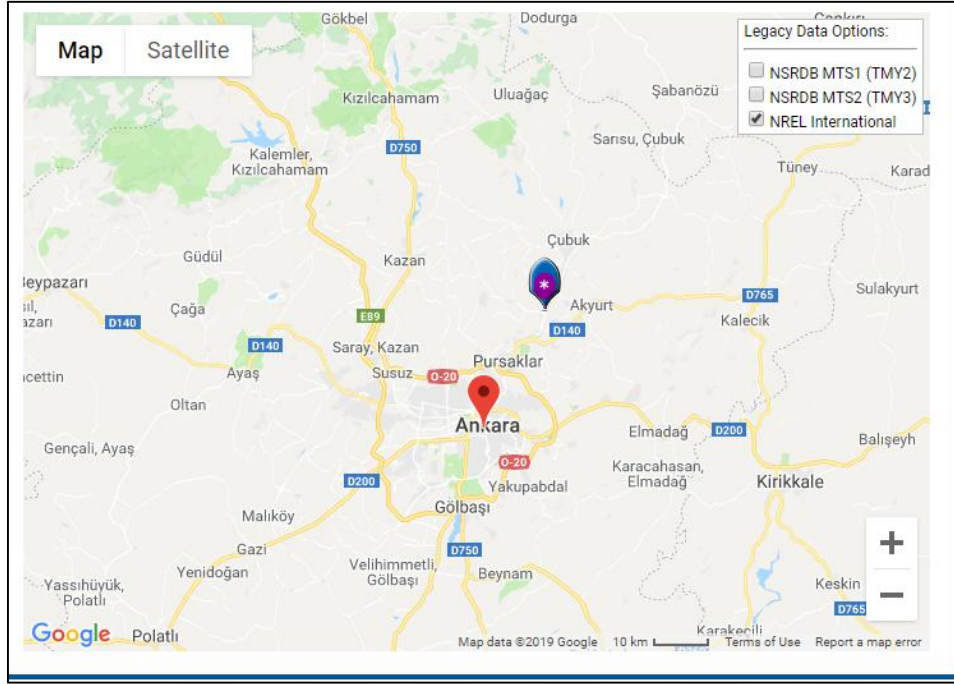
PVGIS programının simülasyon sonuçları Çizelge 4.13’de verilmiştir. Bu çizelgeye göre yıllık radyasyon miktarı 1760 kWh/m² ve yıllık üretim miktarı 1380000 kWh olarak hesaplanmıştır. Verilerin kullandığı veri tabanı PVGIS-CMSAF olup sistem kayıpları %14 olarak hesaplanmış ve Ek-2’de verilmiştir.

Çizelge 4.13. PVGIS programının simülasyon sonuçları

Ay	Aylık ortalama Üretilen Enerji (Em-kWh)	Aylık ortalama radyasyon Değeri (Hm-kWh/m ²)
Ocak	53800	62,1
Şubat	74700	87,5
Mart	106000	128
Nisan	131000	162
Mayıs	150000	193
Haziran	157000	207
Temmuz	175000	234
Ağustos	165000	221
Eylül	137000	178
Ekim	103000	127
Kasım	76600	91,7
Aralık	55300	64,6

4.4.2. PVWATT

PVWATT programı güneş enerjisi için hazırlanmış bir web uygulamasıdır ve meteorolojik verileri NREL ulusal güneş radyasyon veri tabanından almaktadır. Ankara/Yenimahalle Macunköy bölgesinde bu programın istasyonu olmadığı için ona en yakın yerden veriyi almaktadır. Tesis yeri (kırmızı) ve PVWATT programının istasyon yerinin (mavi) gösterimi Harita 4.1’de verilmiştir.



Harita 4.1. Tesis yeri (kırmızı) ve PVWATT programının istasyon yerinin (mavi) gösterimi

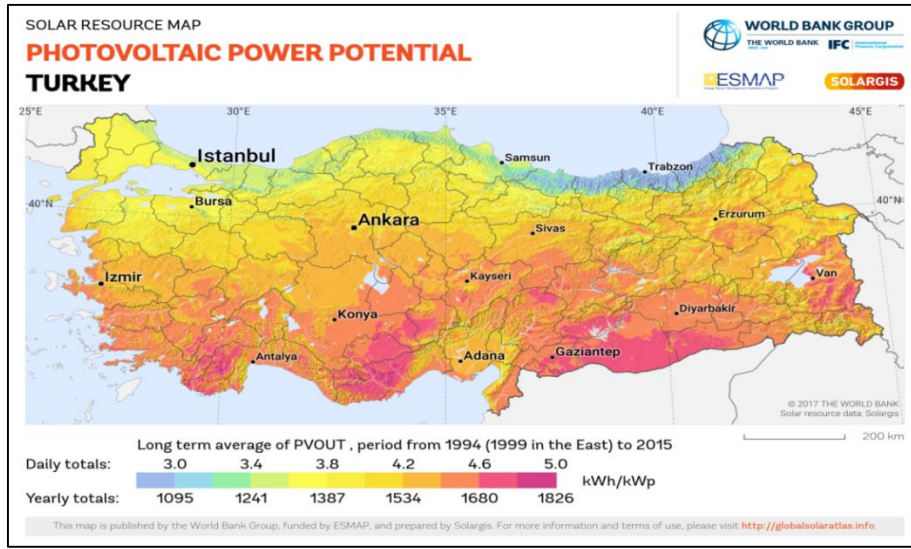
Önceki simülasyon programlarına tanımlanan veriler PVWATT programına da tanımlanmıştır. PVWATT programının simülasyon sonucu Şekil 4.14’de ve Ek-4’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere yıllık radyasyon gün 4,36 kWh/m²/gün iken yıllık ortalama olarak 1592 kWh/m² olarak hesaplanmıştır.

Month	Solar Radiation (kWh / m ² / day)	AC Energy (kWh)	Value (\$)
January	1.92	53,993	7,181
February	3.10	76,945	10,234
March	3.61	99,178	13,191
April	4.52	116,657	15,515
May	5.57	142,945	19,012
June	6.57	158,612	21,095
July	7.26	177,323	23,584
August	6.81	166,729	22,175
September	5.84	140,498	18,686
October	3.56	93,467	12,431
November	2.19	57,855	7,695
December	1.38	38,538	5,126
Annual	4.36	1,322,740	\$ 175,925

Şekil 4.14. PVWATT programının simülasyon sonucu

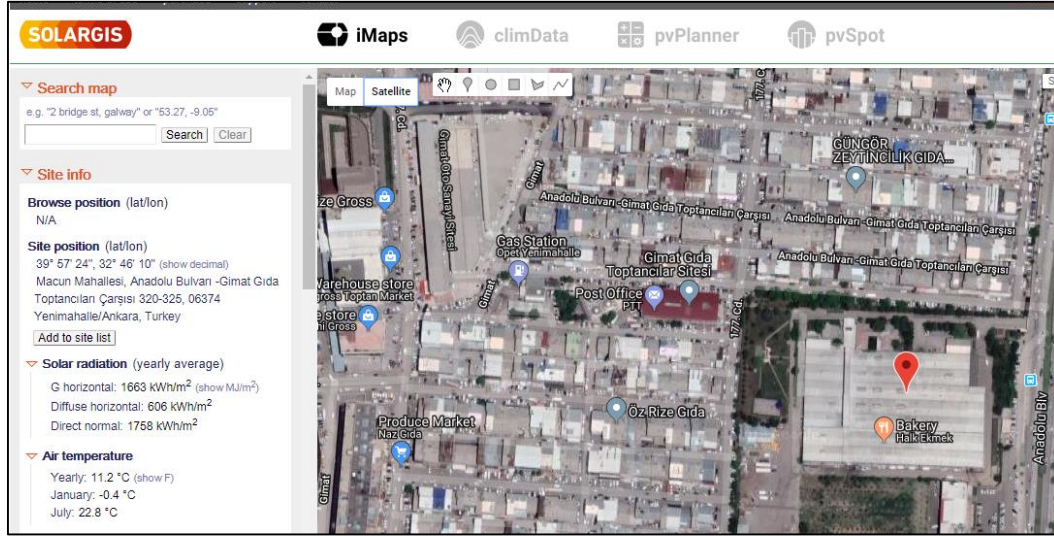
4.4.3. SOLARGIS

SOLARGIS; iMAPs, climData, pvPlanner, pvSpot olmak üzere dört bölümden oluşan güneş ışınımı ve üretim tahmini yapan bir web programıdır. Gölgeleme analizi yapılamayan programda iMAPs kullanıcının noktasal olarak yerinin belirlenmesi, climData veriyi diğer ikisi ise sistem tasarımını yapmaktadır. SOLARGIS programına ait Türkiye'nin radyasyon haritası Harita 4.2'de verilmiştir.



Harita 4.2. SOLARGIS programına ait Türkiye'nin radyasyon haritası

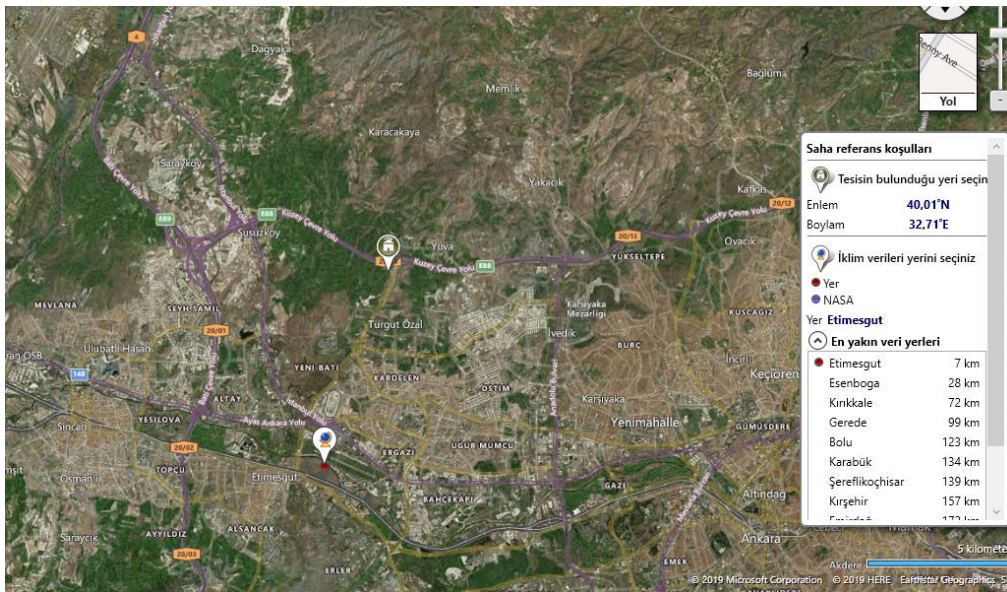
Güneş haritasından görüleceği üzere Ankara/Yenimahalle Macunköy için radyasyon değeri 1534 kWh/m² ile 1680 kWh/m² arasında değişmektedir. SOLARGIS programının simülasyon sonucu Şekil 4.15'te verilmiştir. Buradan ekmek fabrikasının konumu için radyasyon verisi 1663 kWh/m² olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.15. SOLARGIS programının simülasyon sonucu

4.4.4. RETSCREEN

Excel tabanlı proje analiz yazılımı olan RETSCREEN girdi olarak NASA verilerini kullanmaktadır. Veri seti ve ekonomik analiz kullanıcıya ücretsiz olarak Türkçe dil desteği ile sunulmaktadır. Bu programda gölgelenme analizi ve raporlama yapılamamaktadır. Tesis yeri (kırmızı) ve RETSCREEN programının istasyon yerinin (ev) gösterimi Harita 4.3'te verilmiştir. Programda NASA verisini kullanıldığında tesise en yakın istasyon verisi için Etimesgut ilçesi kullanılmıştır.



Harita 4.3. Tesis yeri (kırmızı) ve RETSCREEN programının istasyon yerinin (ev) gösterimi

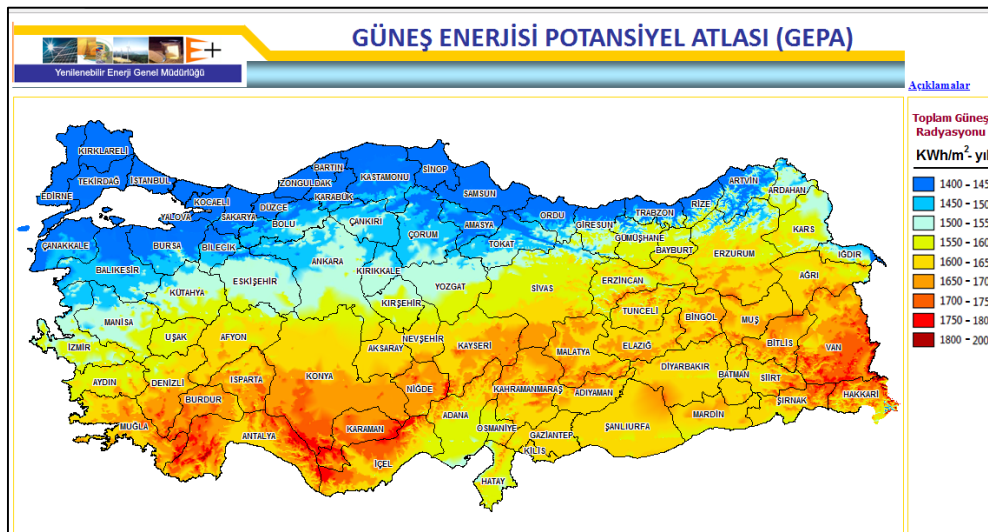
RETSCREEN programının simülasyon sonuçları Şekil 4.16'de verilmiştir. Günlük radyasyon değeri $4,40 \text{ kWh/m}^2/\text{gün}$ iken bölgedeki radyasyon miktarı 1606 kWh/m^2 olarak hesaplanmıştır.

Ay	Hava sıcaklığı °C	Bağıl nem %	Yağış mm	Günlük güneş radyasyonu - yatay kWh/M ² /g	Atmosferik basınç kPa	Rüzgar hızı M/s	Yer sıcaklığı °C	Isıtma derece-gün 18 °C	Soğutma derece-gün 10 °C
Ocak	0,0	78,7%	40,92	2,06	89,7	1,7	-1,8	558	0
Şubat	1,2	72,8%	32,20	2,87	89,6	2,4	-0,3	470	0
Mart	5,3	65,4%	35,96	4,08	89,5	2,6	4,0	394	0
Nisan	10,8	63,0%	45,60	4,85	89,4	2,6	9,8	216	24
Mayıs	15,7	59,8%	41,85	6,04	89,6	2,5	15,3	71	177
Haziran	19,6	55,8%	33,00	6,89	89,5	2,6	20,4	0	288
Temmuz	23,1	48,5%	15,81	7,16	89,5	3,0	24,6	0	406
Ağustos	23,1	47,3%	10,85	6,25	89,5	2,7	24,8	0	406
Eylül	18,1	52,4%	15,30	5,07	89,7	2,2	19,4	0	243
Ekim	12,3	63,4%	34,72	3,46	89,9	1,9	12,1	177	71
Kasım	5,5	74,0%	33,90	2,32	89,9	1,5	4,4	375	0
Aralık	1,8	80,0%	45,26	1,70	89,8	1,7	-0,3	502	0
Yıllık	11,4	63,4%	385,37	4,40	89,6	2,3	11,1	2.763	1.615
Kaynak	Yer	Yer	NASA	NASA	NASA	Yer	NASA	Yer	Yer
Ölçüm yeri:					M	10	0		

Şekil 4.16. RETSCREEN programının simülasyon sonuçları

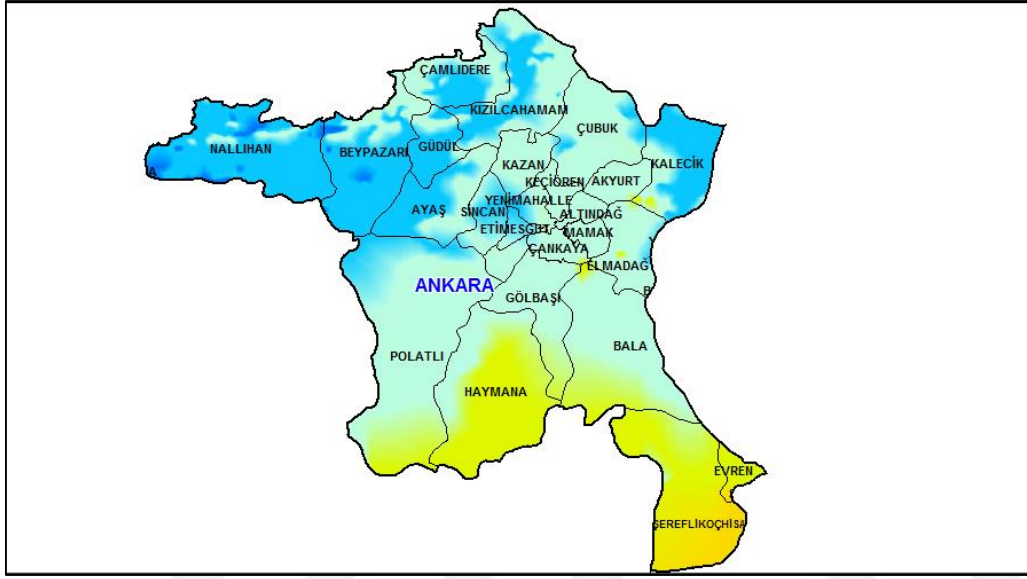
4.4.5. Güneş enerjisi potansiyeli haritası (GEPA)

Yenilenebilir Enerji Müdürlüğü tarafından hazırlanan ülkemizin illere göre yıllık güneşlenme süresi ve radyasyonu veren haritadır. Yerli herhangi bir simülasyon programının olmaması nedeniyle bu haritadan faydalanılmıştır. Harita ile il il aylık güneşlenme süresi, güneş radyasyonu ve farklı teknolojilere sahip panellerle yapılacak tasarımlardaki üretim değerleri grafiksel olarak verilmiş haritada da renk kodları ile gösterilmiştir.



Harita 4.4. GEPA Türkiye radyasyon haritası

Harita 4.4'te de görüldüğü gibi ülke genelinde ışıının en düşük olduğu bölge Karadeniz ve Marmara bölgesidir. Buna paralel İç Anadolu bölgesindeki kuzey illerimizde ve Batı bölgesinin iç kesimlerinde de ışıının değeri düşük olduğu gözlemlenmektedir. Lakin buna rağmen ülkemiz hala birçok kurulu güce sahip Avrupa ülkelerinden ışıının ve güneşlenme süresi olarak iyi konumdadır. Ankara bölgesine baktığımızda;



Harita 4.5. GEPA Ankara Radyasyon Haritası

Yukarıdaki resimde de görüldüğü gibi Yenimahalle'de bulunan tesisimiz 1450-1500 kWh/m² ışıınını sahiptir.

Son olarak aşağıdaki grafikte kullanılan simülasyon programlarının toplu olarak sonuçları gösterilmektedir. Elde edilen bu sonuçlar 900 kWe için yapılan tahminleri göstermektedir.

Çizelge 4.14. Yapılan çalışmaların radyasyon sonuçları

PROGRAMIN ADI	İŞİNİM DEĞERİ (kWh/m ²)
PVGIS	1760
PVWATT	1592
SOLARGIS	1663
RETSCREEN	1606
GEPA	1450-1500

Çizelgede görüldüğü üzere birbirinden farklı ışıınım değerleri simülasyon sonuçlarında verilmiştir. Bu sonuçların farklı olmasının en büyük nedeni ölçüm tekniklerinin, meteorolojik istasyon yerlerinin ve zaman verilerinin (yani yıllar içinde güncelleme yapılmaması mevsimsel değişiklikler paralelinde) farklılığından kaynaklanmaktadır. Amortisman hesabı yapılırken en yüksek ve en düşük üretim verisi üzerinden hesap yapılacaktır. PVGIS üretim değeri 1 380 000 kWh, PVWATT üretim değeri 1 322 740 kWh yıllık olarak simülasyon sonuçlarında verilmiştir. Amortisman hesabında kredi faizi, dağıtım bedelleri ve hat kullanım bedelleri değişkenlik gösterdiği için ihmal edilip basit bir hesaplama yapılmıştır.

$$\text{Amortisman Süresi} = \frac{\text{Toplam Ges Kurulum Maliyeti}}{\text{Yıllık Üretim Kazancı}} \quad (4.21)$$

Toplam Ges Kurulum Maliyeti 2019 yılında piyasada yaklaşık olarak 0,7 USD/Watt olarak alınmaktadır. Bu maliyette YG İletim Hattı (Havai) maliyete dahil olmayıp, GES için kurulması gereken trafo merkezi dahildir. Ekmek fabrikasına 1047,2 kWp tesis kurulacağı için toplam maliyeti 733 040 USD dir. Amortisman süresi ise;

Çizelge 4.15. Yıllık elde edilen kazanç

Program	Yıllık Üretim Değeri	Watt Başına Alış Fiyatı	Yıllık Elde Edeceği Kazanç
PVSYST	1 380 000 kWh	0,133 USD	183 540 USD
PVWATT	1 322 740 kWh	0,133 USD	175 924,42 USD

$$\text{PVSYST Amortisman Süresi} = \frac{733\,040\,USD}{183\,540\,USD} = 3,99\,yıl$$

$$\text{PVWATT Amortisman Süresi} = \frac{733\,040\,USD}{175\,924,42} = 4,2\,yıl$$

Görüldüğü üzere üretim değerlerinde oluşan farklılıklar amortisman sürelerinde farklılık meydana getirmektedir. Bu nedenle doğru bir yatırım için üretim değerlerinin doğru tahminlenmesi önemlidir. Birçok akademik çalışma kullandığı farklı yapay zekâ algoritmaları gibi tekniklerle üretim değerlerini tahmin etmeye çalışmaktadır. Canlı bir sistem olan GES için yukarıda yapıldığı gibi sabit ve sadece radyasyon verisine bağlı

Üretim değerleri ile yapılan hesaplamalar bizleri doğru sonuçlara götürmez. Canlı bir sistem olan bu santraller evre koşullarından etkilendiği için diğer etmenleri de üretim değerlerini olmasada verimliliği etkilemekte bu da üretilen enerjiyi etkilemektedir.. Bu sebeple beşinci bölümde olasılıksal yaklaşımla üretim tahmini yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

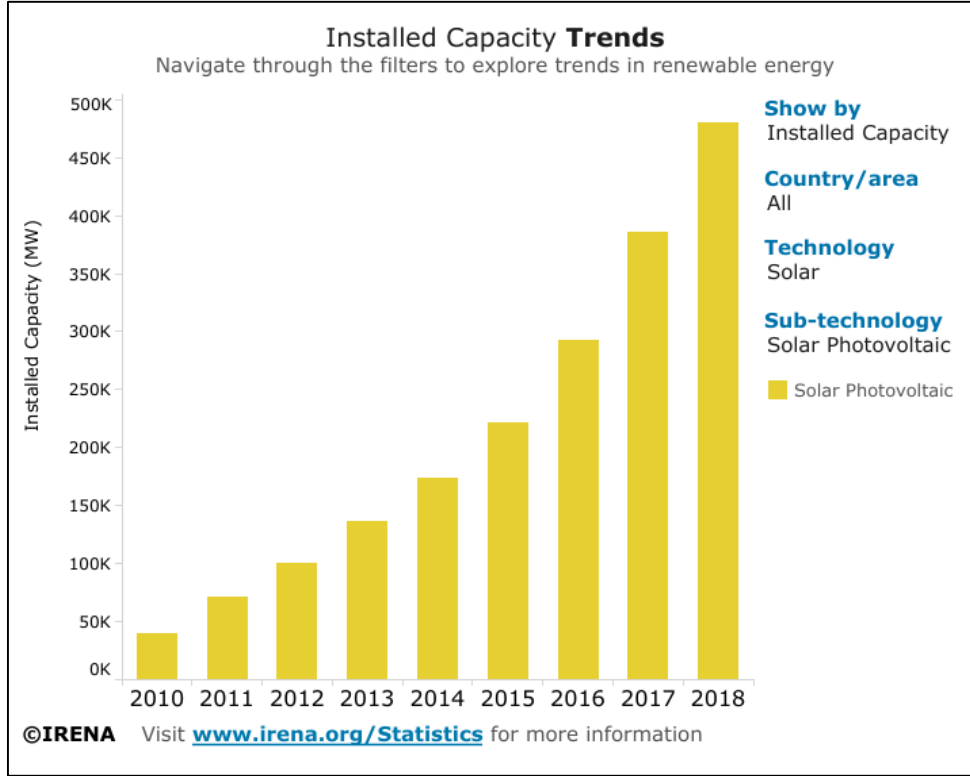




5. AKILLI ŞEBEKELERDE GÜNEŞ ENERJİSİ ÜRETİMİNİN ZAMANA BAĞLI OLASILIKSAL TAHMİNİ

5.1. Güneş Enerjisi Santralinde Tahminin Önemi

Enerji üretiminin büyük bir bölümü fosil kaynaklar ile karşılanmaktadır. Sanayi devrimi ile kullanımı artan fosil yakıtlar çevre kirliliği ve küresel ısınma gibi sorunları da beraberinde getirmiştir. Fosil yakıtların kullanımı sonunda açığa çıkan karbon gazı salımının seviyesini makul sınırlar içinde tutmak ve diğer dezavantajlarına çözüm yolu bulunması için yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma fikri gündeme gelmiştir. Güneş enerjisi su döngüsünün temel kaynağı olması ve rüzgârların oluşması sebep olması gibi Dünyada birçok formda karşımıza çıkmaktadır. Dünya'nın hayat kaynağı olması sebebiyle güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları içinde en önemlilerindendir. Güneş temiz, herkes tarafından ulaşılabilir, sınırsız ve ücretsiz enerji sağlamaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde genellikle tercih edilen FV pillerden oluşan modüllerin; işletmesinin kolay olması, kullanım ömürlerinin uzun olması ve mekanik olarak yıpranmaması gibi büyük avantajları barındırmasından dolayı kullanımı gün geçtikçe artmaktadır [5], [12]. IRENA verilerine göre 2010 ile 2018 yıllarını kapsayan dünya FV Kurulu gücünün değişimi Şekil 5.1'de verilmiştir. Dünyadaki artış trendi ülkemizde de görülmekle beraber özellikle 2015 yılı itibarıyla çok ciddi bir artış gerçekleşmiştir [25].



Şekil 5.1. 2010 ile 2018 yıllarını kapsayan dünya FV kurulu gücünün değişimi [25]

Güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artmasıyla birlikte bazı sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu sorunların en önemlisi mevcut elektrik enerjisi sistemine entegrasyondur. Mevcut sistem; kullanıcıların talep ettiği kadar yükü çekmesine olanak sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca üretimde kullanılan fosil kaynaklı jeneratörlerin kullanım zamanı tahmin edilebilmektedir. Fakat güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarında üretim meteorolojik koşullara bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bu sebeple önceden tahmin edilebilmesi çok önemlidir. Önceden üretim tahmini ile gerekli enerjinin hangi kaynaktan üretileceği planlanabilmektedir [29]. Güneş enerjisinin önceden tahmin edilmesinin öneminden dolayı bu tez çalışması yapılmıştır. Çalışma kapsamında değişen çevre koşulları ve radyasyon ölçümleri dikkate alınarak üretilecek enerjinin modellenmesi yapılmış ve santralin üreteceği enerjinin tahmini model ile sağlanmıştır.

5.2. Materyal ve Metot

Bu bölüm çalışmada kullanılan boylamsal veri, istatistiksel analiz, doğrusal regresyon analizi ve olasılıksal programlamayı içermektedir. Olasılıksal programlama bölümünde model tanıtımı, model uydurma ve rastlantısal veri üretimi, sonsal analizi ve enerji üretimi

tahmini verilmiştir. İlk olarak temel istatistik analiz metotları kullanılarak verinin zaman içindeki değişimi, ortalaması, standart sapması gibi bilgiler analiz edilmiştir. Devamında Sklearn Kütüphanesi kullanılarak farklı ölçümlerin enerji üretimini hangi ölçüde etkilediği doğrusal regresyon analizi ile incelenmiştir. Ölçümlere ek olarak günün saat bilgisi de hesaba katılarak farklı bir yaklaşıma gidilmiştir. Önce optimizasyon ile bir tahmin yapılmış sonra olasılıksal programlama ile güven aralığı içerisinde bir tahminde bulunulmuştur. Optimizasyon ve olasılıksal programlamada bir Python Kütüphanesi olan PyMC3 kullanılmıştır. Markov Chain Monte Carlo (MCMC) simülasyonu yöntemi ile veriler üretilmiş ve noktasal tahminleme yerine bir dağılım elde edilerek (normal dağılım) standart sapma ile tahmin yapılmıştır.

5.2.1. Boylamsal veri

Bu çalışmada kullanılan veri seti, elektrik sistemleri üzerine çalışmalar yapan araştırmacılara açık olan OPSD projesi tarafından sağlanmıştır [30]. Ülkemizde enerji üretimi ile ilgili bir yıl boyunca düzenli ölçümlerin yapıldığı, beraberinde meteorolojik değerlerin olduğu bir güneş enerjisi santrali bulunmadığından tüm araştırmacılara açık olan bu veri seti kullanılmıştır. Ücretsiz ve açık bir platform sunan bu proje, dünyada enerji modellemesi üzerine yapılan çalışmaların ihtiyaç duydukları verileri, zaman serisi olarak üretilen enerji ve atmosfer ölçümleri şeklinde sunmaktadır. Toplam 37 Avrupa ülkesinden toplanan bu veriler, rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi gibi kullanılan teknolojilere veya geleneksel yöntemlere göre elde edilen enerji üretimini bir veri seti olarak, yine o tarihte yapılan ölçümleri bir başka veri seti şeklinde sunmaktadır. Bu veri setlerinden ülke olarak Hollanda'ya ait veri setleri seçilmiştir. Hollanda'da Kurulu olan tüm güneş ve rüzgar enerjisi kaynaklı santrallere ait 2016 ve 2017 yılları arasındaki saatlik enerji üretimleri veri seti olarak kullanılmıştır. Veri setinde hem güneş enerjisi hem de rüzgâr enerjisinden üretilen anlık enerji verileri vardır. Ancak rüzgâr enerjisinden üretilen enerjinin modellenmesi kapsam dışı bırakılmıştır. Diğer taraftan yine aynı istasyona ait 2016 ve 2017 yıllarındaki rüzgâr hızı (m/s), sıcaklık (°C), doğrusal radyasyon (W/m²), dağınık radyasyon (W/m²) ve ölçüm aralığı (gün/ay/yıl saat) verileri incelenmiştir. Her saat farklı zamanlarda yapılan pek çok ölçüm, ortalaması alınarak incelenecek şekilde veri analiz edilmiştir. Veriler her ne kadar araştırmacının kolayca çalışabilmesi için yapısal hale getirilse de veri setleri içerisinde enerji üretimine ya da atmosferik ölçümlere ait bazı değerlerde kayıplara rastlanmıştır. Modelleme yapılırken bu zaman aralıklarına ait eksik

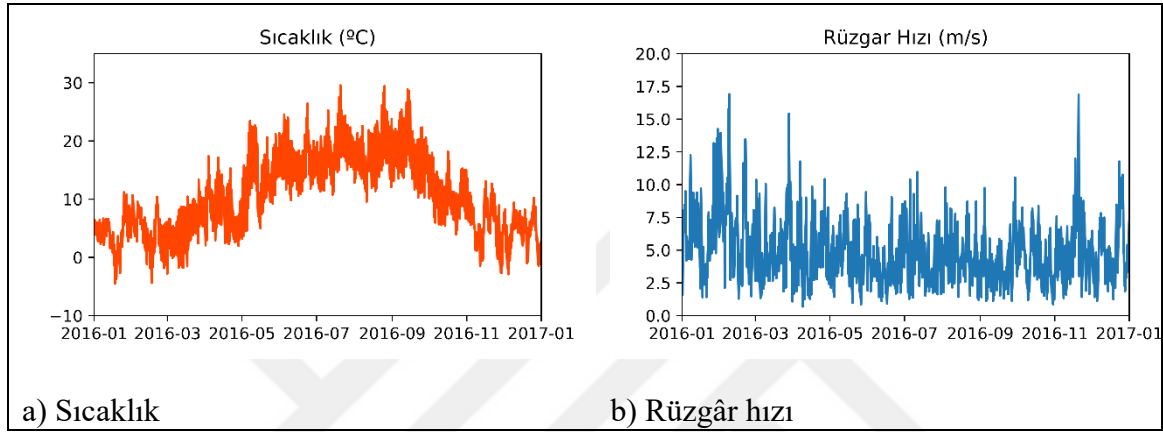
ölçümlerin performansı etkilememesi için veri setinden çıkartılması sağlanmıştır. Yıl bazında toplamda dört günlük verinin eksik olması ve çıkarılması ile 361 gün için, saat başı ve beş farklı ölçüm üzerinden toplamda 43.320 adet veri ile çalışılarak analiz yapılmıştır.

5.2.2. İstatistiksel analiz

Ön işleme aşamasında, verinin temizlenmesi ve sadece modellemede kullanılacak ölçümlerin belirlenip diğerlerinin çıkartılması işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada açık kaynak kodlu olan ve geniş kütüphane desteğine sahip Python programlama dili kullanılmıştır. Dosya formatı olarak csv uzantılı dosyalar, Panda, numpy, matplotlib, seaborn ve MCMC kütüphaneleri kullanılarak vektör ve matrisler oluşturulmuş ve grafiklerle analiz edilmiştir. Korelasyon ve regresyon analizleri yapılmış, ortalama, medyan ve çeyrek değerleri incelenmiş, yapay zeka algoritmaları ile optimizasyon ve olasılıksal programlama yapılmıştır. Verilerin karakteristiği zaman serili çalışmalarda modelin performansı açısından oldukça önemlidir. 8.664 noktada bir yılda yapılan ölçümün hakkında bilgi sahibi olmak için veriler görselleştirilmiştir. Kuzey kutbuna yakın bir konumda yer alan Hollanda'nın mevsimsel ve gün içerisinde zamana bağlı üretiminin anlaşılması açısından önemlidir. Bu sürede yapılan diğer ölçümlerinde zaman içerisindeki değişimi zamana bağlı çizdirilerek analiz edilmiştir. Şekil 5.2'de sıcaklığın ve rüzgâr hızının zamana bağlı değişimi verilmiştir. Sıcaklık, 2016 yılı içerisinde -5°C ile 30°C dereceleri arasında değişmiş, yılın başında ve sonundaki kış aylarında eksi değerler görülürken yaz aylarında yüksek sıcaklıklar gözlenmiştir. Rüzgâr hızı ise sıcaklıkta olduğu gibi mevsimlere bağlı anlamlı bir değişim göstermemiş, 2 m/s ile 17 m/s hızları arasında değişmiştir.

Ölçümlerin birbirleri ile olan korelasyonu da oldukça önemlidir. Bağımlı değişkenleri belirleyip yüksek düzeyde bağımlılık gösteren ölçümleri temizlemek için ikili korelasyon analizi yapılmış ve grafiksel analiz elde edilmiştir. Ayrıca, yapılan korelasyon testlerinin istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını anlamak için p değeri 0,05 olarak seçilmiştir. Elde edilen korelasyon katsayıları, p değerlerine de bakılarak incelenmiş ve tümü 0,05 değerinden küçük olduğundan istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir ($p < 0.05$). Santralin toplam üretimini oluşturan veriler, ortalama, standart sapma, birinci ve üçüncü çeyrek değerlerine bakılarak hesaplanmıştır. Bunun yanında günün her saati yıl boyunca

alınan ölçümlerle analiz edilmiş, benzer hesaplamalar yapılarak mevsimsel değişimin enerji üretimindeki etkisi analiz edilmiştir. Saate bağlı santral enerji üretimi kutu grafiği kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca, bu ölçümlerin histogramı çizilerek dağılımları analiz edilmiştir. Bu, günün hangi saatinde günlere bağlı olarak nasıl bir üretim yapıldığını göstermesi açısından da önemlidir. Son olarak, tüm enerji üretimi güne bağlı dağılım grafiği çizilerek özellikleri belirlenmiştir.



Şekil 5.2. Hollanda’da yer alan santrale ait mevsimsel meteorolojik ölçümler

5.2.3. Doğrusal regresyon analizi

Enerji üretimine etki eden meteorolojik ölçümlerin doğrusal bir regresyon fonksiyonu ile tahmin edilmesi bu bölümde uygulanmıştır. Sklearn kütüphanesi kullanılarak sıcaklık, doğrusal ve dağınık radyasyon ölçümleri ile enerji üretiminin tahmin edilmesi için bir fonksiyon belirlenmiştir. Eşitlik 5.1’de belirlenen bu fonksiyon ve Eşitlik 5.2’de ise β vektörü verilmiştir.

$$f: R^n \rightarrow R, y \sim f(x) = \beta^T x + \beta_0 \quad (5.1)$$

$$\beta = (\beta_1, \dots, \beta_n) \in R^n \quad (5.2)$$

Eşitlik 5.1’de gösterilen doğrusal eşitlikte y değeri bağımlı değişkeni, x değeri bağımsız değişkenleri yani ölçümleri, n bağımsız değişken sayısını ve R_n ise vektörel uzayı tanımlamaktadır. Eşitlik 5.2’de verilen β vektörü sıcaklık, doğrusal radyasyon ve dağınık radyasyonu ifade eden her bir x değişkeni için tanımlanmış katsayıyı ifade eder. Eşitlik

5.3’de tanımlanan ortalama karesel hata değerini minimize edecek parametreleri bulmak amaçlanmıştır.

$$\operatorname{argmin}_{\beta, \beta_0} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \beta^T x_i - \beta_0)^2 \quad (5.3)$$

Algoritmanın en küçük kareler yöntemi analiz performansını değerlendirmek için Sklearn Kütüphanesi kullanılmıştır. İlk etapta veri beş gruba ayrılmış, bu gruplardan dört tanesi modeli oluşturmak için algoritmayı eğitmede, kalan bir tanesi ise modelin tahmin edilmesinde test amaçlı kullanılmıştır. Bu çalışma farklı veri setleri ile beş kez tekrarlanarak bu deneylerin ortalama performans ölçümleri alınmış ve doğrulama işlemi yapılmıştır.

5.2.4. Olasılıksal programlama

Temel bir regresyon eğrisi tanımı yukarıda yapılmış olup bir veriye en uygun olan regresyon eğrisinin sıradan en küçük kareler yöntemi veya maksimum olabilirlik ile elde edilışinden bahsedilmiştir. Bu bölümde ise aynı regresyon eğrisi Bayesian yaklaşımla olasılsal olarak ele alınıp Eşitlik 1’de verilen formül Eşitlik 5.4’te olasılsal dağılımlar gözetilerek düzenlenmiştir.

$$\gamma \sim \mathcal{N}(X\beta, \sigma^2) \quad (5.4)$$

Eşitlik 5.4’e göre, zamana bağlı enerji üretimi normal dağılıma uygun şekilde rastlantısal sayılardan oluşan bir vektör olarak tanımlanmaktadır. Bu dağılımın ortalaması, Eşitlik 5.1’de verilen doğrusal regresyon fonksiyonu ile σ^2 kadar varyans hata payı ile yeniden formüle edilmiştir. Böylece, Bayesian tahmin edilme kullanılarak temelde benzer modele sahip olmasına rağmen iki noktada büyük avantaj sağlanmıştır. Birinci avantajı, hangi tahmin edicinin daha önemli olduğu ve hata oranının ne olabileceği gibi sahip olunan tecrübeler ön bilgi olarak modele dâhil edilerek performansın artırılabilmesidir. İkinci avantajı ise sadece tek bir tahminde bulunmak yerine her bir tahminin beraberinde bir olasılık değeri de sunması ve sonucun daha iyi değerlendirmesine olanak sağlamasıdır. Örneğin, varyansı yüksek bir sonsal dağılımı, tahmin edilmede geniş aralık vereceğinden sunacağı bilgi sınırlı olabilecektir.

Model tanımı

Bu çalışmada kullanılan Bayesian doğrusal regresyon modeli, normal dağılıma sahip parametreler ile tanımlanmıştır. Normal dağılıma sahip sonuç γ değerleri, sıcaklık, doğrusal ve dağınık radyasyon tahmin edicilerinin bir doğrusal fonksiyonu olarak beklenen değer μ ve gözlemsel hata oranı olan σ ile Eşitlik 5.5 ve Eşitlik 5.6'da tanımlanmıştır.

$$\gamma \sim N(\mu, \sigma^2) \quad (5.5)$$

$$\mu = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 \quad (5.6)$$

α değeri kesişim noktasını, β değerleri katsayıları ve X değerleri ise tahmin edicileri belirlemektedir. Bayesian bir model oluşturulduğundan modeldeki bilinmeyen değerler Eşitlik 5.7-5.9'da geniş bir varyans (zayıf bilgi) ile normal dağılımda verilmiştir. Gözlemsel hata oranı ise farklı olarak yarı normal dağılımla verilerek değerinin sıfırdan düşük olmasının önüne geçilmiştir.

$$\alpha \sim N(0, 10) \quad (5.7)$$

$$\beta \sim N(0, 10) \quad (5.8)$$

$$\sigma \sim |N(0, 100)| \quad (5.9)$$

Açık kaynak kodlu olan Python programlama dilinin PyMC3 kütüphanesi bu çalışmada kullanılmıştır. İstatistikte sıkça kullanılan R programlama diline benzeyen notasyonu ile kolayca istatistik dışından gelen araştırmacılar için modellenabilir bir ortam sağlamaktadır. Bayesian doğrusal modelde, her bir katsayı ve gözlemsel hata oranı stokastik rastlantısal değişkenlerdir. Bu değişkenler stokastik olarak adlandırılır çünkü değerleri bir nevi ebeveynleri tarafından rastlantısal olarak belirlenmektedir. Modelin gözlemsel stokastik olarak tanımlanan üretilecek örneklem uzayının uyacağı olasılıksal dağılım belirlenmiştir. Modele doğrudan elde olan gözlemsel veri verilir ve herhangi bir veri uydurma algoritmasında değişmeyecek değer olarak belirtilir. Böylece örneklem oluşturulacak verinin, tek bir değer yerine ortalaması tahmin edicilerin doğrusal bir fonksiyonu olan ve hata oranı varyans olarak tanımlanan normal dağılıma sahip bir vektör olması sağlanmıştır.

Model uydurma ve rastlantısal veri üretimi

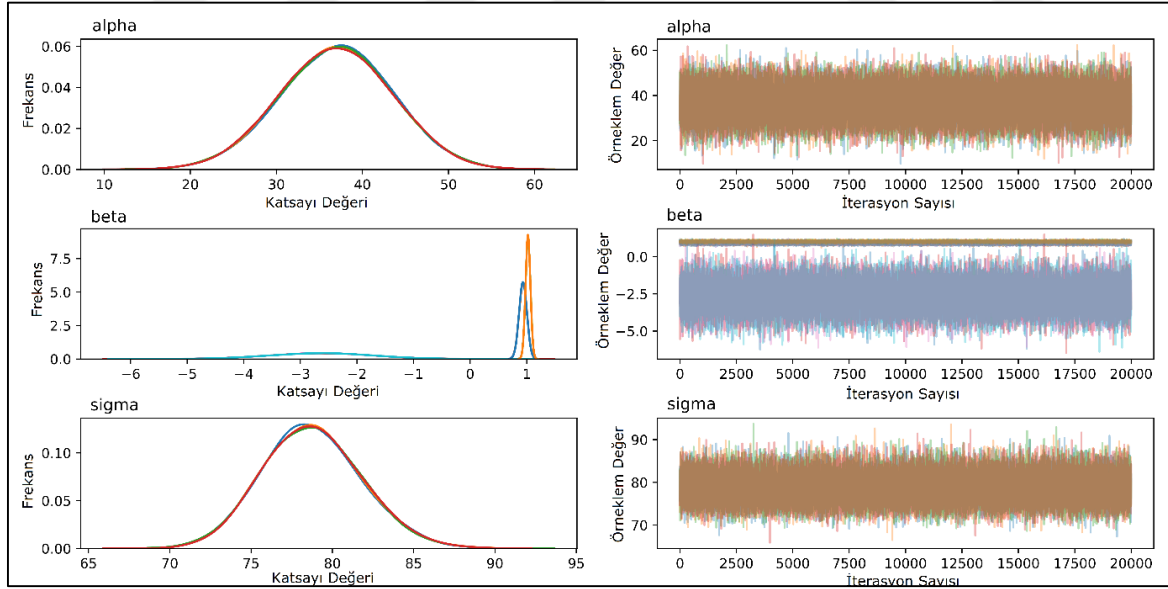
Model tanımından sonraki adım modelde belirtilen ve bilinmeyen değişkenlerin sonsal tahmin edilmesinin gerçekleştirilmesidir. Aslında, sonsal tahmin edilme analitik olarak hesaplanabilir ancak bu modellerin karmaşık olduğu yapılarda pek mümkün değildir. Bu nedenle model parametrelerinin tahmin edilmesi bir optimizasyon yöntemi olan en çok sonsal kestirici ve bir simülasyon yöntemi olan MCMC örneklemlendirmesi olmak üzere iki farklı yaklaşımla yapılmıştır. En çok sonsal kestirici, sonsal dağılımının modunu bulmakta kullanılan bir tahmin edicidir ve genelde nümerik optimizasyon yöntemleri ile hesaplanır. Bu nedenle genelde hızlı ve kolaydır. Ancak, modelde katsayılar ve hata oranı gibi bilinmeyen değişkenler için sadece noktasal bir tahmin edilme verir ve mod eğer dağılımı düzgün tanımlamıyorsa önyargı hassastır. Ayrıca, genel olarak yeterli görünen lokal optimumları bulmada iyidir. PyMC3 kütüphanesi birden fazla optimizasyon yöntemi ile bu tahmin edilmeyi yapabilmektedir. Bu çalışmada Powell Optimizasyon yöntemi kullanılarak tahmin edilme yapılmıştır. En çok sonsal kestirici yaklaşımının dezavantajlarının üstesinden gelmek için örnekleme yaklaşımı da çalışmada kullanılmıştır. Bir simülasyon tabanlı yaklaşım olan MCMC kullanılarak belirli kıstaslara uyan Markov zinciri değerleri sonsal dağılımına uygun üretilmiştir. PyMC3 kütüphanesi Metropolis-Hasting gibi pek çok veri üretim algoritmasını desteklese de bu çalışmada hızlı olması, süreli değişkenlerde iyi olması ve hızlı yakınsama avantajları nedeniyle No-U-Turn Sampler (NUTS) algoritması seçilmiştir. Böylece her bir bilinmeyen değer için 40.000 örneklem yapacak şekilde bir veri objesinin izlerinin oluşturulması sağlanmıştır.

Sonsal analiz

PyMC3 kütüphanesi, üretilen örneklemeler için aynı zamanda grafik çizdirme ve özetleme fonksiyonlarına da sahiptir. Şekil 5.2’de her bir stokastik bilinmeyen değişkenler için üretilen verilerin dağılımları yumuşatılmış histogram ile ilk sütunda ve her bir iterasyonda aldıkları değerler ise ikinci sütunda çizilmiştir. Doğrusal modelde tanımlı olan kesim noktası α ilk satırda, üç farklı katsayı olan β değeri ikinci satırda ve gözlemsel hata oranı olan σ ise üçüncü satırda verilmiştir. Her bir dağılıma ait ortalama ve standart sapma parametreleri elde edilerek sonsal dağılım tahmin edilmiştir.

Enerji üretimi tahmini

Bayesian doğrusal regresyon modeli ile sonsal tahmin edilmesi yapılan değerler kullanılarak herhangi bir zamanda o santrale ait enerji üretimi belirli bir güven aralığı ile yapılabilmektedir. Bu çalışmada meteorolojik verilere ve enerji üretimine ek olarak zaman değeri de hesaba katılarak yılın herhangi bir gününe ve saatine uygun olasılıksal tahmin yapılmıştır. Belirlenen herhangi bir gün ve saat için enerji üretimi belirli bir yüzde ile tahmin edilmiştir. Günün her saatinde enerji üretimi aynı olmadığı gibi gün içerisinde belirli bir zaman aralığında belirgin enerji üretimi yapılmaktadır. Örnek olarak alınan ülkenin kuzeyinde yer alan örnek santralde ise kışın geceler uzun olmakta, yazın ise gündüzler uzun geçmektedir. Bu nedenle günün her saati kendi içerisinde gruplandırılmıştır ve her bir saat için 361 örneklem ile enerji üretim vektörü oluşturulmuştur. Yılın 4 günü ise ölçümlerin sağlıklı olmayışı nedeniyle çıkartılmıştır. Örneğin saat 09.00'da enerji üretimi tahmini yapılacaksa o yıl içerisinde sadece 09.00'da yapılan üretim verileri kullanılarak bir sonraki yıl için, yılın istenilen gününe ve meteorolojik ölçümlere göre enerji üretiminin miktarı olasılıksal olarak elde edilmiştir.

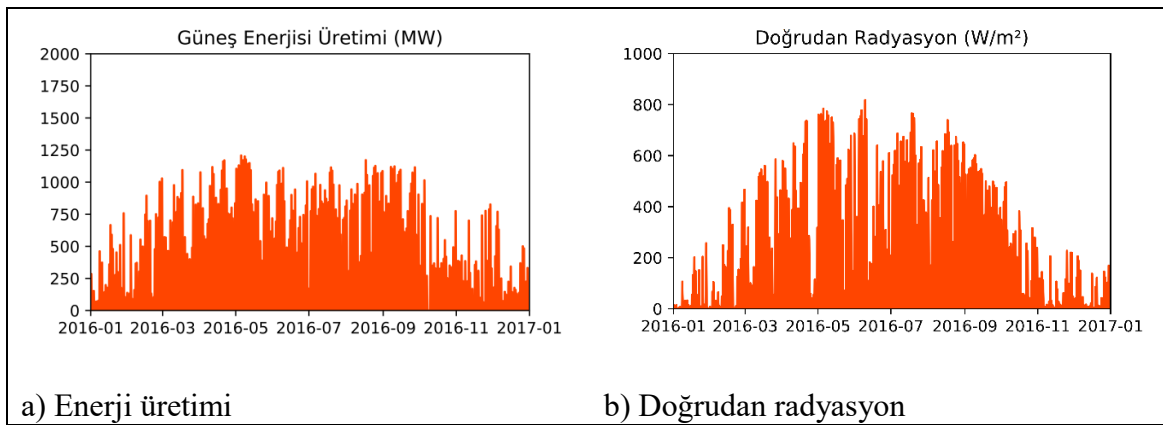


Şekil 5.3. Bilinmeyen değişkenlerin dağılımı

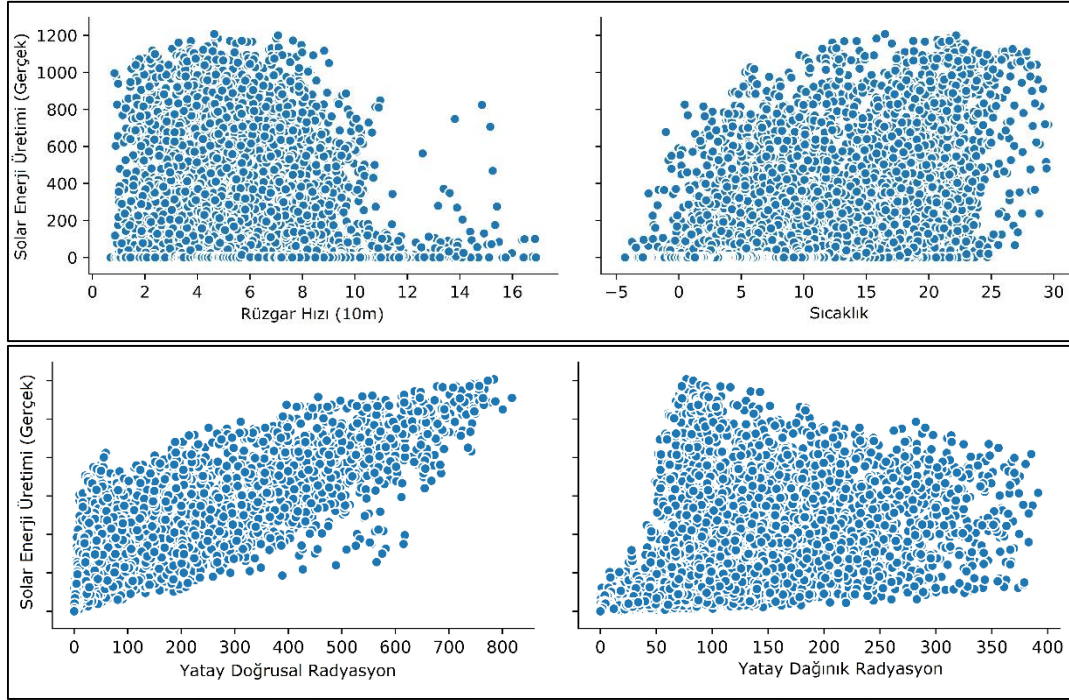
5.3. Bulgular ve Tartışma

5.3.1. Verinin görselleştirilmesi ve regresyon analizi

Güneş enerjisi santralinden 1 yıl boyunca saat başı alınan ölçümler model oluşturmada ve üretim tahmini yapılmadan önce özelliklerinin belirlenmesi açısından öncelikle görselleştirilmiş ve temel istatistik yöntemleri ile analiz edilmiştir. Şekil 5.4’de bir yıllık enerji üretimi ve doğrusal radyasyonun değişimi verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere enerji üretimi yılın başında ve sonunda azalmıştır. Mayıs ve Ekim aylarında enerji üretimi artmıştır. Doğrusal radyasyon incelendiğinde de benzer bir eğilim görülmektedir. Yılın ortalarında oldukça yüksek olan doğrusal radyasyon yılın başı ve sonunda düşmektedir. Bu eğriler enerji üretiminin radyasyon ölçümü ile bağıntılı olabileceğini göstermektedir. Bunların dışında gerek enerji üretimi gerekse radyasyon ölçümlerinde analizi zorlaştıracak ani değer ölçüm değişimleri bulunmaktadır. Örneğin Nisan sonunda 800 W/m² olarak ölçülen radyasyon mayıs ayının başında ani bir düşüş yaşamış ve 100 W/m² olarak ölçülmüştür. Bu durum, enerji üretimi ile doğrudan radyasyonun korele olmasına rağmen oluşması veri setlerindeki gürültülerden, ölçümlerin tek bir santrale değil ülkede kurulu olan tüm santrallerden alınmasından kaynaklıdır. Bu nedenle tüm santrallerden yapılan ölçümlerden kaynaklı belirsizlikler, olasılıksal yaklaşımla da zamana bağlı olarak modellenmiş ve çalışmada gösterilmiştir.



Şekil 5.4. Günlere bağlı enerji üretimi ve doğrudan radyasyon



Şekil 5.5. Enerji üretimi ve meteorolojik ölçümler arasındaki korelasyon analizi

Enerji üretimi farklı meteorolojik ölçümlere göre değişmektedir. Şekil 5.5'te enerji üretimi ve meteorolojik ölçümler arasındaki korelasyon analizi verilmiştir. Her bir ölçümle korelasyon analizine bakılarak enerji üretimini etkileyecek ölçümler analiz edilmiştir. Benzer şekilde regresyon analizi de yapılmış, enerji üretimi sırasıyla rüzgâr hızı, sıcaklık, doğrusal ve dağınık radyasyon ölçümleri ile 0,014, 0,44, 0,89 ve 0,65 olarak bulunmuştur ($p < 0,05$). Bu sonuçlar rüzgâr hızının bu santral için enerji üretiminde bağıntılı olmadığını ancak sıcaklık ve radyasyon ölçümlerinin korelasyonunun yüksek olduğunu göstermiştir. Bu nedenle enerji üretimi hesaplanırken regresyon analizinde rüzgâr hızı hesaba katılmamış, diğer üç ölçümün bir fonksiyonu olarak model oluşturulmuştur. Bu çalışmada rüzgârın hissedilen sıcaklığa olan etkisi göz ardı edilmiş, modellemeye dâhil edilmemiştir.

5.3.2. Doğrusal regresyon analizi

Doğrusal regresyon analizi için Sklearn Kütüphanesi kullanılmış, her bir ölçümün katsayısı hesaplanmıştır. Eşitlik 5.10'da enerji üretiminin hesaplanması verilmiştir. Bu eşitliğe göre enerji üretimine sıcaklık negatif şekilde etki etmiştir. Doğrusal ve dolaylı radyasyon üretimi artıran etmenler olmuş, doğrusal radyasyon dolaylı radyasyona göre daha enerji üretiminde pozitif etkisi olmuştur.

Enerji Üretimi

$$= 43 - 3,63 \times \text{Sıcaklık} + 1,34 \times \text{Doğrusal Radyasyon} + 0,98 \quad (5.10)$$

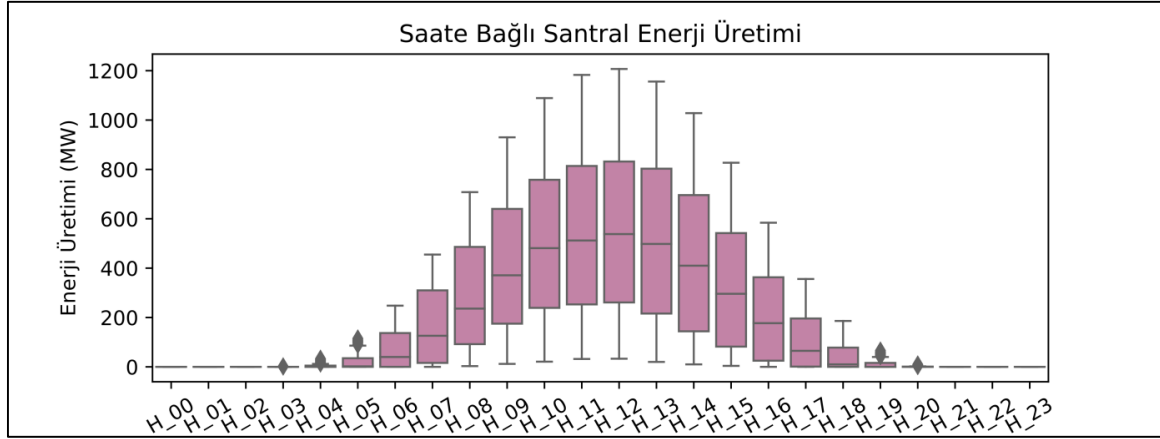
$$\times \text{Dolaylı Radyasyon}$$

Modelin performansını değerlendirmek için veri seti beş parçaya bölünmüş ve yapılan her bir testte ortalama doğruluk %80 olarak hesaplanmıştır. Doğrusal regresyon analizinin performansının yüksek çıkmasının nedenlerinden biri enerji üretiminin günün yarısında sıfır veya sıfıra yakın olmasıdır. Verinin büyük bir kısmında radyasyon değerlerinin sıfır olmasından kaynaklı geceleri üretim de sıfır olarak çıkmakta ve model bu tahmin edilme de başarılı sonuç vermektedir. Ancak, santralin aktif olarak enerji ürettiği zamandaki üretimin ne kadar olacağını tahmin edilme de bu kadar başarılı sonuç vermeyecektir. Çünkü günün hangi saatinde bu ölçümün yapıldığı bu modelde göz ardı edilmiştir. Bu nedenle model zaman bilgisini de hesaba katacak şekilde daha ileri seviyede oluşturulmuştur.

Çizelge 5.1’de bir yıl boyunca yapılan ölçümlerin o saate göre gruplandırılarak ortalaması gösterilmiştir. Üretim beklendiği üzere günün ortasında yükselmiş, en fazla üretim saat 12.00’da ölçülmüştür. Belirgin enerji üretimi ise saat 07.00’da başlamış ve 18.00 gibi sonlanmıştır. Rüzgâr hızı yılın her saatinde istikrarlı seyretmiştir. Sıcaklıkta yaz mevsimlerinde artış göstermiş ama ortalama olarak eksili değerlere ulaşmamıştır.

Çizelge 5.1. Saate göre ortalama ölçümler

Zaman (Saat)	Enerji Üretimi (MW)	Rüzgâr Hızı (m/s)	Sıcaklık (°C)	Doğrusal Radyasyon (W/m ²)	Dağılık Radyasyon (W/m ²)
00.00	0,0	4,6	8,7	0,0	0,0
02.00	0,0	4,6	8,3	0,0	0,0
04.00	4,5	4,6	8,0	0,1	0,7
06.00	73,3	4,7	8,4	19,4	34,0
08.00	290,5	5,1	10,0	114,7	101,5
10.00	504,8	5,4	12,0	235,4	153,4
12.00	552,4	5,6	13,2	271,1	170,0
14.00	431,5	5,4	13,3	209,3	147,4
16.00	205,3	5,1	12,5	104,3	95,1
18.00	41,7	4,7	11,2	22,0	41,3
20.00	1,2	4,5	9,8	0,3	2,2
22.00	0,0	4,6	9,2	0,0	0,0



Şekil 5.6. Saate bağlı enerji üretim değişimi

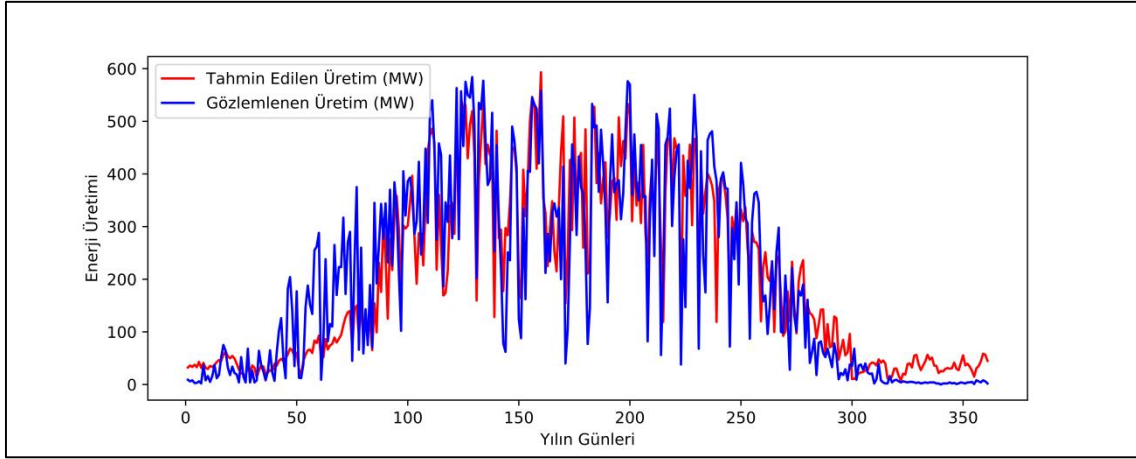
Şekil 5.6’da saate bağlı enerji üretim değişimi verilmiştir. Gün içerisindeki her bir saat, şekilde “H_” ön eki ile gösterilmiştir. Enerji üretimi yılın her saatinde büyük değişkenlikler göstermektedir. Örneğin öğlen saat 12.00’da en yüksek enerji üretimi 1MW’ı geçerken 0 olarak ölçüldüğü zamanlarda görülmüştür. Bu değerler uç değer olarak nitelendirilse bile 1. ve 3. çeyrek ölçümleri arasında ortalama 500 kW’lık bir fark bulunmaktadır. Ölçüm yapılan santral için yaz ve kış üretimleri için günün aynı saatinde oldukça büyük farklılıklar olduğunu göstermektedir. Bu değer tüm saatler için geçerli olup modellemeyi zorlaştırmaktadır. Bu sebeple tahmin ederken güven aralığını da sunmak önemlidir.

5.3.3. En çok sonsal kestirici ile tahmin

Doğrusal regresyon analizinde olduğu gibi noktasal bir tahmin edilme vermektedir. Normal dağılıma sahip örneklemelere en uygun doğrusal fonksiyonun katsayıları belirlenmiş ve bu katsayılar üzerinden tahmin edilme yapılmıştır. Farklı olarak zaman bilgisi de hesaba katılarak zamana bağlı bir enerji üretimi noktasal olarak yapılmıştır. Çizelge 5.2’de farklı zamanlarda seçilen üç farklı saat için tahmin edilme fonksiyonu katsayıları, gözlemsel hata ve performansı verilmiştir.

Çizelge 5.2. Saate bağlı tahmin edilme fonksiyonu katsayıları, gözlemsel hata ve performansı

Zaman (Saat)	Alpha	Beta0	Beta1	Beta2	Sigma	Performans
09.00	109,90	-6,49	0,80	1,41	57,01	0,84
11.00	106,81	-0,78	0,52	1,34	52,25	0,85
16.00	53,47	-3,91	0,94	1,04	36,04	0,90



Şekil 5.7. Zamana bağlı gerçek ve tahmin edilen enerji üretimi

Çizelge 5.2’de görüldüğü üzere her bir saatin kendi içerisinde tahmin edilme fonksiyonu elde edilen gözlemlere göre uyarlanarak oluşturulmuştur. Böylece günün herhangi bir saatinde, o saatte yılın tüm ölçümleri sadece baz alınarak bir model oluşturulmuş, diğer saatlerin bilgisi dışarıda bırakılmıştır. Çizelgede doğrusal regresyon katsayıları yanında gözlemsel hata oranı ve o modelin performans ölçüsü de gözlemlenen ve tahmin edilen ölçümlerin regresyon analizi sonucu hesaplanmasıyla verilmiştir. Buna göre saat 16.00’da yapılan hata oranı diğerlerine göre daha düşüktür. Buda modelin veriye ne kadar iyi uyum sağladığını göstermektedir. Bu nedenle de performansı en yüksek saat 16.00 çıkmıştır. Bu durum Şekil 5.6’da verilen enerji dağılım grafiği ile değerlendirildiğinde de tutarlı olduğu görülmüştür. Çünkü enerji değişimi seçilen bu üç saat içerisinde en düşük olan saat 16.00’dır. Şekil 5.7’de bir yıl boyunca santralde üretilen ve gözlemlenen enerji üretimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere yıl içerisinde olduğu gibi hafta içerisinde birbirini takip eden günlerde bile ciddi değişimler gözlemlenmektedir. Buna göre meteorolojik ölçümler kullanılarak elde edilen doğrusal regresyon modelinde yapılan tahminler ile gerçek üretim verilerinin örtüşmesi modelin başarısını göstermesi açısından önemlidir.

5.3.4. Rastlantısal veri üretme ile tahmin

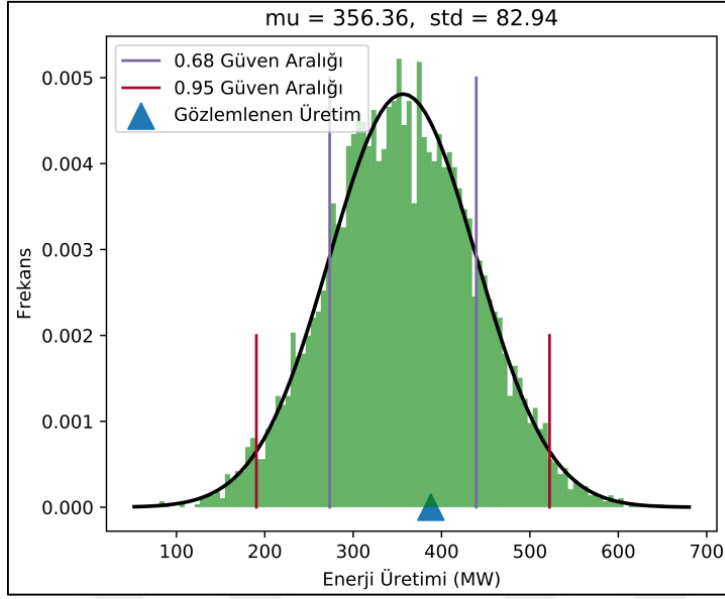
Zamana bağlı yapılan tahmin edilme de enerji üretimi noktasal tahmin edilme ile verilmiştir. Her ne kadar günün saatine özgü bir model geliştirilmiş olsa da herhangi bir gün için yapılan tahminde herhangi bir güven aralığı verilmemiştir. Bu, özellikle tahmin edilmesi zor olan modellerde bir eksikliktir. Bu nedenle simülasyon tabanlı bir yaklaşımla bu kuralları sağlayan vektörel bir veri seti üretilmiş ve bu veri seti kullanılarak parametre

tahmini yapılmıştır. Böylece, noktasal tahmin yerine dağılım oluşturularak tahmin model tarafından yapılmıştır.

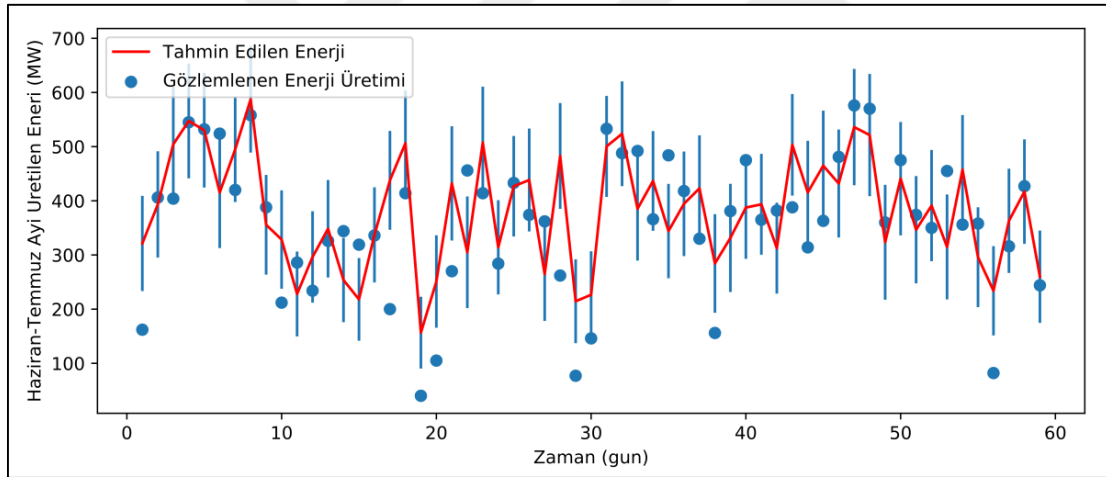
Olasılıksal bilinmeyen değişkenlerin sonsal parametrelerinin tahmini Çizelge 5.3'te verilmiştir. Olasılıksal dağılıma sahip bir tahmin edilme fonksiyonu tahmin edilme yaparken güven aralığına bağlı olarak üst ve alt limiti olan tahmin gerçekleştirmektedir. Şekil 5.8'de buna örnek bir tahmin gösterilmiştir. Grafikteki kırmızı ve turuncu dikey çizgiler sırasıyla %95 ve %68 güven aralıklarında olması beklenen enerji üretim miktarları aralıklarını belirlemektedir. Ortalama 355 KW enerji üretimi 82 KW standart sapma ile tahmin edilmiştir. Gözlemlenen enerji üretimi 388 KW olan bir santralde meteorolojik veriler kullanılarak yapılan tahmin şu şekildedir: %68 olasılıkla saat 16.00'da 160. günde enerji üretimi 437 kW ile 272 kW arasında olacaktır. %95 olasılıkla ise bu aralık 520 kW ile 190 kW aralığında değişmektedir. Her iki olasılıkla da enerji üretimi başarılı bir şekilde tahmin edilebilmiştir. Her bir güvenlik aralığı da olasılıksal dağılım fonksiyonu ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 5.3. Olasılıksal bilinmeyen değişkenlerin sonsal parametrelerin tahmin edilmesi

Değişkenler	Ortalama	Standart sapma	MC Hata
Alpha	36,85	6,44	0,03
Beta0	-2,66	0,89	0,00
Beta1	0,93	0,07	0,00
Beta2	1,02	0,04	0,00
Sigma	78,69	2,99	0,01



Şekil 5.8. Saat 16.00'da 160. günde üretilecek enerjinin tahmini



Şekil 5.9. Mayıs-Haziran ayları enerji üretiminin %95 güven aralığında olasılıksal tahmini ve beklenen değerleri

Şekil 5.9'da ise 152. ve 211. günler arasında yapılan ölçümler ve tahmin edilme sonuçları verilmiştir. Birbirini takip eden günler arasında hızlı bir değişim mevcuttur. Tahmin edilen enerji, modelin o gün için yaptığı tahmin edilmenin ortalamasını vermektedir. Bu bakımdan maksimum sonsal analizi ile tahmin edilmeye benzemektedir. Gözlemlenen enerji üretimi ise %95 güven aralığında alabileceği enerji üretimini üst ve alt limitler şeklinde göstermiştir. Grafik incelendiğinde noktaların pek çoğu bu mavi çizgiler arasına düşmektedir.

6. SONUÇ

Bu çalışmada güneş panellerinden üretilen enerjinin tahmin edilebilmesi ve meteorolojik veriler ve enerji üretim verileri yardımıyla tahmin işleminin yürütülmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Örnek problem uzayı olarak seçilen bir ülkeye ait meteorolojik ve enerji üretim verileri değerlendirilmiştir. Toplamda 361 gün için, saat başı, 5 farklı ölçüm üzerinden 43.320 veri üzerinde çalışılarak analiz yapılmıştır. Panda, numpy, matplotlib, seaborn ve MCMC gibi farklı kütüphaneler kullanılarak vektör ve matrisler oluşturulmuş ve grafiklerle analiz edilmiştir. Korelasyon ve regresyon analizleri yapılmış, ortalama, medyan ve çeyrek değerleri incelenmiş, yapay zeka algoritmaları ile optimizasyon ve olasılıksal programlama yapılmıştır. Basit regresyon modeli ile sadece meteorolojik ölçümler gözetilerek bir tahmin edilme ile başlanmış, zaman ekseninin üretimde önemli olduğu gösterilerek veriler saat bazlı gruplandırılarak optimizasyon ve olasılıksal programlama ile analiz edilmiştir. Böylece, akıllı şebekeler için oldukça önemli olan kısa süre sonrasında saat bazlı tahmin etmek mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada karşılaşılan en büyük kısıt, zamana bağlı enerji üretimi ve atmosferik ölçümleri içeren uzun zamanlı yapısal boylamsal bir verinin olmayışıdır. Bu çalışmada araştırmacılar için açık ve ücretsiz bir platform sunan OPSD projesi üzerinden Hollanda için hazırlanmış veri setleri kullanılmıştır. Tek bir santral yerine tüm ülkede kurulu olan santrallerden alınan toplam enerji üretimi ve ülke genelinde yapılan meteorolojik ölçümler kullanılarak bir model oluşturulmuştur. Santral özeli yerine ülke genelinde yapılan ölçümlerle oluşturulan veriler standart sapmayı artırmış ve tahmin edilme aralığını yükselmesine neden olmuştur. Bunun yerine ileride ülkemizde kurulu bir güneş enerjisi santrali ve meteorolojik istasyon üzerinden toplanacak enerji üretim verileri ve hava durumuna ait ölçümler birleştirilerek oluşturulacak veri seti, modelin çok daha doğru ve az sapma ile tahmin edilebilmesine olanak sağlayacaktır. Sadece dört özellikle belirtilen atmosferik ölçüm verisi bulut kapallılık oranı, yağış durumu, nem ve çığ gibi bilgileri içermemektedir. Bu bilgilerinde veri setinde olması daha iyi bir modellemeye olanak sağlayacaktır. Ayrıca, veri toplama frekansı 1 saat olarak veri setinde belirlenmiştir. 15 dakika aralıklarla toplanan verilerin özellikle saat bazlı tahminlerde performansı artırıcı etkisi olacaktır. Çalışma 1 yıllık veri üzerinde yapılmıştır. Mevsimsel özelliklerinde dâhil edilerek en az 5 yıl ve üzeri boylamsal bir veri seti üzerinde çalışma yapılması tahminin daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlayabilecektir.



KAYNAKLAR

1. Önal, E. ve Yarbay, R. Z. (2010). Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli ve geleceği. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(18), 77-96.
2. Alper, F. Ö. (2018). Yenilenebilir Enerji ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki: 1990-2017 Türkiye Örneği. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(2), 223-242.
3. Koç, E. ve Şenel, M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu-genel değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 54(639), 32-44.
4. Öztürk, S. ve Saygın, S. (1973). 1973 Petrol Krizinin Ekonomiye Etkileri ve Stagflasyon Olgusu. *Balkan Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(12), 1-12.
5. Akin, G. (2017). Küresel ısınma, nedenleri ve sonuçları. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 46(2), 29-43
6. Karakaya, E. ve Sofuoğlu, E. (2015, 28-30 Mayıs). *İklim değişikliği müzakerelerine bir bakış: 2015 Paris iklim zirvesi*. Uluslararası Avrasya Enerji Sorunları Sempozyumu, 28-30 May 2015, İzmir, Turkey.
7. Öztürk, K. (2002). Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye’ye Olası Etkileri. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(1), 47-65
8. Gönen, Ç. (2019). Kırsal Bölgelerde Tarımsal Atıkların Kontrolü ve Yenilenebilir Biyokütle Enerji Teknolojileri ile Sera Gazı Emisyonlarının Azaltım Potansiyelinin İncelenmesi - Management of Agricultural Wastes in Rural Areas and Investigation of Reduction Potential of Gr, *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji. Dergisi*, 7(1), 142-147.
9. Kumbur, H., Özer, Z., Özsoy, H. D. ve Avcı, E. D. (2005). *Türkiye’de geleneksel ve yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli ve çevresel etkilerinin karşılaştırılması*. III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, 19-21.
10. Yılmaz, M. (2012). Türkiye’nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 33-54.
11. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. (2019). URL: <http://www.yegm.gov.tr/anasayfa.aspx>, Son Erişim Tarihi: 02. 05.2019.
12. Varınca, K. B. ve Gönüllü, M. T. (2006, 21-23 Haziran). *Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma*. I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, ESOGÜ, Eskişehir, (272), 275.
13. Altıntop, N. ve Erderiir, D. (2013). Dünyada ve Türkiye’de Güneş Enerjisi ile İlgili Gelişmeler. *Engineer & The Machinery Magazine*, 54(639), 69-77.

14. Gezer, E. H. (2013). *Yenilenebilir enerji kaynakları ve Türkiye*. Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Kamu Yönetim Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara, 14-60.
15. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Bilgi Merkezi-Rüzgar. (2019). URL: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Ruzgar>, Son Erişim Tarihi: 02.05.2019.
16. İnternet: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü-Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası. (2019). URL: http://www.yegm.gov.tr/images/repa_low_2.png, Son Erişim Tarihi: 02. 05.2019.
17. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Bilgi Merkezi-Hidrolik. (2019). URL: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Hidrolik>, Son Erişim Tarihi: 02.05.2019.
18. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Bilgi Merkezi-Jeotermal. (2019). URL: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Jeotermal>, Son Erişim Tarihi: 02.05.2019.
19. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Bilgi Merkezi-Biyokütle. (2019). URL: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Biyokutle>, Son Erişim Tarihi: 02.05.2019.
20. Turhan, S. ve Çetiner, İ. (2012). *Fotovoltaik Sistemlerde Performans Değerlendirmesi*. 6.Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi-Görükle Kampüsü, Bursa, 12-13.
21. Ulutaş, H. (2015). *Kırsal Tesisler İçin Hibrit (Rüzgâr+Güneş) Sistem Tasarımı ve Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu.
22. İnternet: Enerji İşleri Genel Müdürlüğü-CSP Güneş Enerji Santralleri. (2019). URL: http://www.yegm.gov.tr/teknoloji/CSP_gun_enj_sant.aspx, Son Erişim Tarihi: 04.07.2019.
23. İnternet: Ozaak-Irak/Musul Solar Sulama Projesi. (2019). URL: <http://www.ozaak.com.tr/portfolio/irak-musul-solar-sulama-projesi/>, Son Erişim Tarihi: 04.07.2019.
24. İnternet: Solenteksolar - Santral Alt Yapıları. (2019). URL: <http://www.solentek.com.tr/tr-TR/solar-santral-alt-yapilari/25.aspx>. Son Erişim Tarihi: 04.07.2019.
25. İnternet: Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı. (2019). URL: <https://www.irena.org/en/solar>, Son Erişim Tarihi: 03. 05.2019.
26. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Bilgi Merkezi-Güneş. (2019). URL: <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes>, Son Erişim Tarihi: 02.05.2019.

27. İnternet: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü- Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası. (2019). URL: <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>, Son Erişim Tarihi: 02. 05.2019.
28. İnternet: Yadav, S. (2010). Calculations of Solar Energy Output. (2019). URL: http://www.academia.edu/9005661/CALCULATIONS_OF_SOLAR_ENERGY_OUTPUT, Son Erişim Tarihi: 02.07.2019.
29. Hernandez, L., Baladron, C., Aguiar, J. M., Carro, B., Sanchez-Esguevillas, A. J., Lloret, J. and Massana, J. (2014). A survey on electric power demand forecasting: future trends in smart grids, microgrids and smart buildings. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16(3), 1460-1495.
30. İnternet: OPSD: Open Power System Data; A Free and Open Data Platform for Power System Modelling. (2012). URL: <http://open-power-system-data.org/>, Son Erişim Tarihi: 04. 07.2019.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı adı : AKKOYUN, Nuran
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 18.03.1991, Ankara
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : (0505) 782 71 19
 e-mail : nuran.akkoyun@medlabenerji.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi/Elektrik Elektronik Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Niğde Üniversitesi/ Elektrik Elektronik Mühendisliği	2014
Lise	Etimesgut Lisesi	2009

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2014-devam	Medlab Enerji Dan. Ltd. Şti	Proje Sorumlusu

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- Demirtaş, M., Akkoyun, N., Akkoyun, E. ve Çetinbaş, İ. (2019). Akıllı Şebekelerde Güneş Enerjisi Üretiminin Zamana Bağlı Olasılıksal Tahmini. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 7(2), 411-424.

Hobiler

Yüzme, Kitap okuma



GAZİ GELECEKTİR..