

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ŞEBEKEYE BAĞLI ÇATI ÜSTÜ FOTOVOLTAİK SİSTEM TASARIMI VE
ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Umut ÖZKAN

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

KASIM 2021

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ŞEBEKEYE BAĞLI ÇATI ÜSTÜ FOTOVOLTAİK SİSTEM TASARIMI VE
ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Umut ÖZKAN
(504161076)**

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Belgin EMRE TÜRKAY

KASIM 2021

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 504161076 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Umut ÖZKAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ŞEBEKEYE BAĞLI ÇATI ÜSTÜ FOTOVOLTAİK SİSTEM TASARIMI VE ANALİZİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Belgin EMRE TÜRKAY**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Deniz YILDIRIM**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Hacer ÖZTURA
Yaşar Üniversitesi

Teslim Tarihi : **12 Ekim 2021**
Savunma Tarihi : **04 Kasım 2021**



ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince bana destek olan sayın hocam Prof. Dr. Belgin EMRE TÜRKEY'a çok teşekkür ederim. Bu süreçte bana destek olan aileme şükran ve minnetlerimi sunarım.

Ekim 2021

Umut ÖZKAN
Elektrik Mühendisi





İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı.....	1
1.2 Literatür Araştırması.....	2
1.2 Türkiye’de Enerji.....	14
1.3 Türkiye’de Güneş Enerjisi	16
2. GENEL BİLGİLER	19
2.1 Fotovoltaik Sistemler	19
2.2 Fotovoltaik Sistemlerin Bağlantı Çeşitleri	21
2.2.1 Şebeke bağlantısız fotovoltaik sistem ...	21
2.2.2 Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem.....	22
2.2.3 Fotovoltaik sistemlerin çatılarda kullanımı	22
2.3 Fotovoltaik Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları	23
3. MATERYAL VE METOT.....	25
3.1 HOMER Yazılımı	25
3.1.1 Simülasyon.....	25
3.1.2 Optimizasyon	26
3.1.3 Duyarlılık analizi.....	26
3.2 HOMER Yazılımında Ekonomik Modelleme.....	27
3.2.1 Seviyelendirilmiş enerji maliyeti (LCOE),.....	27
3.2.2 Net şimdiki maliyet.....	28
3.2.3 Hurda maliyeti.....	28
3.2.4 Değiştirme maliyeti.....	29
3.2.5 Bakım onarım ve işletme maliyeti	29
3.2.6 HOMER yazılımında bulunan kirletici gazların emisyon hesabı	30
3.2.7 Reel faiz oranı hesabı ..	31
3.2.8 PV panelin çıkış güç hesabı.....	31
3.2.9 Yenilenebilir enerji kullanım oranı hesabı.....	32
3.2.10 Dönüştürücü verimi ve güç hesabı.....	32
4. OFİS BİNASINA ÇATI TİPİ PV SİSTEM MODELLENMESİ	35
4.1 Ofis Binasının Elektrik Tüketimi	35
4.2 Ofis Binasının Çatı Alanı ..	38
4.3 Modüllerin Çatı Yerleşimi	39

4.4 Üretilcek PV Panel Gücü Tahmini	44
4.5 İklim Verileri	44
4.6 Fotovoltaik Panel Seçimi.....	48
4.7 Dönüştürücü Seçimi	49
4.8 Ekonomik Veriler	51
4.9 Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Sistem Tasarımı.....	52
4.9.1 Meteoroloji Genel Müdürlüğü ışıınım verisi kullanılarak yapılan şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem tasarımı.....	52
4.9.2 NASA ışıınım verisi kullanılarak yapılan şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem tasarımı.....	55
4.9.3 PVGIS ışıınım verisi kullanılarak yapılan şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem tasarımı.....	56
5. SONUÇ VE ÖNERİLER...	63
KAYNAKLAR..	67
ÖZGEÇMİŞ..	71



KISALTMALAR

LCOE	: Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
PV	: Fotovoltaik
HOMER	: Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources
RETScreen	: Renewable Energy Technology Screen
NREL	: National Renewable Energy Laboratory
Li-ion	: Lityum-iyon
Lead Acid	: Kurşun Asit
PVGIS	: Photovoltaic Geographical Information System
PVsyst	: Fotovoltaik Sistem Yazılımı
DC	: Doğru Akım
CO₂	: Karbon Dioksit
CO	: Karbon Monoksit
UHC	: Yanmamış Hidrokarbonlar
PM	: Partikül Madde
SO₂	: Kükürt Dioksit
NOX	: Azot Oksitler
Ppm	: Parts per million
Covid-19	: Koronavirüs hastalığı
IRENA	: International Renewable Energy Agency



SEMBOLLER

\$	: Amerikan doları
W	: Watt
kW	: Kilowatt
kWh	: Kilowatt saat
kWp	: Kilowatt güç
MW	: Megawatt
TWh	: Terawatt saat
TL	: Türk lirası
kr	: Kuruş
m²	: Metrekare
Voc	: Açık devre gerilimi
Isc	: Kısa devre akımı
Vmp	: Çalışma gerilimi
Imp	: Çalışma akımı
LCOE	: Seviyelendirilmiş enerji maliyeti
C_{yıl,top}	: Yıllık seviyeye indirgenmiş toplam sistem maliyeti
H_{sağlanan}	: Toplam karşılanan termal yük
C_{boyler}	: Boyler marjinal maliyeti
C_{NŞM,top}	: Toplam net şimdiki maliyet
R_{proje}	: Proje ömrü
CRF()	: Sermaye geri kazanım faktörü fonksiyonu
i	: Yıllık reel faiz oranı
S	: Hurda değeri
N	: Yıl sayısı
C_{değiştirme}	: Ekipman değişim maliyeti
R_{kalan}	: Ekipmanın kalan ömrü
R_{ekip}	: Ekipmanın ömrü
C_{işletme}	: İşletme maliyeti
C_{yıl,top}	: Yıllık toplam maliyet

$C_{yıl,top,sermaye}$	: Yıllık toplam sermaye maliyeti
f	: Enflasyon oranı
f_{PV}	: Fotovoltaik panel verim faktörü
P_{PV}	: Fotovoltaik panelin çıkış gücü
Y_{PV}	: Panel kapasitesi
I_T	: Panel üzerine düşen global radyasyon düzeyi
I_S	: Standart radyasyon miktarı
AC	: Alternatif akım
V_{dc}	: Doğru gerilim
V_{ac}	: Alternatif gerilim
$P_{inv}(t)$	: Eviricinin t saatteki giriş gücü
$P_{load}(t)$	:Yükün t saatte tükettiği güç
η_{inv}	: Evirici verimi
η_{10}	: Dönüştürücünün nominal gücünün %10'nuna karşılık gelen verimliliği.
η_{100}	:Dönüştürücünün nominal gücünün %100'ne karşılık gelen verimliliği
P	: Nominal dönüştürücü çıkış gücü
P_n	: Nominal dönüştürücü gücü
P_0	: Vakumdan kaynaklanan yükten bağımsız kayıpların gücü
P_{out}	: Dönüştürücünün çıkış gücü

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Türkiye kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre 2009 – 2019 yıllarında kullanım oranları.....	16
Çizelge 4.1 : Ofis binası elektrik tüketim verileri.....	35
Çizelge 4.2 : Ay bazında günlük elektrik tüketim verileri.....	37
Çizelge 4.3 : Güneş modülü parametreleri.....	44
Çizelge 4.4 : Bölgelerdeki modül sayıları ve kurulu güç miktarları.....	44
Çizelge 4.5 : Meteoroloji Genel Müdürlüğü ay bazında günlük ortalama ışıınım verisi ve bulutsuzluk indeksi sayısal verileri	46
Çizelge 4.6 : NASA ay bazında günlük ortalama ışıınım verisi ve bulutsuzluk indeksi sayısal verileri.....	47
Çizelge 4.7 : PVGIS ay bazında günlük ortalama ışıınım verisi ve bulutsuzluk indeksi sayısal verileri	48
Çizelge 4.8 : Fotovoltaik panel verileri	49
Çizelge 4.9 : Dönüştürücü verileri	50
Çizelge 4.10 : Dönüştürü parametreleri	51
Çizelge 4.11 : Ekonomik veriler	52
Çizelge 4.12 : Meteoroloji Genel Müdürlüğü ışıınım verisine göre simülasyon sonuçları	53
Çizelge 4.13 : Dönüştürücünün HOMER yazılımındaki simülasyon sonuçları.....	54
Çizelge 4.14 : Meteoroloji Genel Müdürlüğü ışıınım verisine maliyet analizi sonuçları	55
Çizelge 4.15 : NASA ışıınım verisine göre simülasyon sonuçları.....	56
Çizelge 4.16 : NASA ışıınım verisine göre maliyet analizi sonuçları.....	56
Çizelge 4.17 : PVGIS ışıınım verisine göre simülasyon analizi sonuçları	57
Çizelge 4.18 : PVGIS ışıınım verisine göre maliyet analizi sonuçları	58
Çizelge 4.19 : Farklı ışıınım verisi kaynaklarına göre PV panel ve şebeke elektriğinin yıllık kullanım miktarları	59
Çizelge 4.20 : Farklı ışıınım verisi kaynaklarına göre kirletici gazların yıllık kullanım miktarları	61
Çizelge 4.21 : Üç farklı ışıınım verisi sonucu oluşan simülasyonların sonuçları.....	62



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Türkiye kurulu gücünün yıllar itibariyle değişimi.....	15
Şekil 1.2 : Türkiye kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre gelişimi.....	16
Şekil 1.3 : Türkiye global radyasyon değerleri.....	17
Şekil 1.4 : Türkiye global güneşlenme süreleri	18
Şekil 1.5 : Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli haritası ...	18
Şekil 2.1 : Fotovoltaik hücre yapısı.....	20
Şekil 2.2 : Fotovoltaik modül yapısı.	21
Şekil 3.1 : HOMER yazılımının temel çalışma adımları	27
Şekil 4.1 : 2019 ve 2020 yılı aylık elektrik tüketimleri	36
Şekil 4.2 : 2020 yılı ve HOMER yazılımı aylık elektrik tüketimleri	37
Şekil 4.3 : Ofis binasının çatı alanı	38
Şekil 4.4 : Ofis binasının bölgelere ayrılmış çatı alanı.....	39
Şekil 4.5 : Modül yerleşimi	39
Şekil 4.6 : Modül yerleşim mesafeleri	40
Şekil 4.7 : A bölgesinin yerleşim krokisi	41
Şekil 4.8 : B bölgesinin yerleşim krokisi	41
Şekil 4.9 : C bölgesinin yerleşim krokisi	42
Şekil 4.10 : D bölgesinin yerleşim krokisi	42
Şekil 4.11 : E bölgesinin yerleşim krokisi	43
Şekil 4.12 : F bölgesinin yerleşim krokisi	43
Şekil 4.13 : Aylık ortalama sıcaklık değerleri	45
Şekil 4.14 : Meteoroloji Genel Müdürlüğü ay bazında günlük ortalama ışıınım verisi ve bulutsuzluk indeksi	45
Şekil 4.15 : NASA ay bazında günlük ortalama ışıınım verisi ve bulutsuzluk indeksi	46
Şekil 4.16 : PVGIS ay bazında günlük ortalama ışıınım verisi ve bulutsuzluk indeksi	47
Şekil 4.17 : Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem	52



ŞEBEKEYE BAĞLI ÇATI ÜSTÜ FOTOVOLTAİK SİSTEM TASARIMI VE ANALİZİ

ÖZET

Artan nüfus ve sanayideki gelişmeler, enerjiye olan talebi giderek arttırmaktadır. Fosil kaynakların azalması, enerjiye olan ihtiyacı doğal kaynaklardan karşılamaya yönlendirmektedir. Doğal kaynaklar olarak adlandırabileceğimiz güneş, rüzgar ve dalga enerjisi gibi kaynaklar doğada sürekli var oldukları ve zamanla tükenmedikleri için temiz ve alternatif enerji sunmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi; fosil yakıtlara alternatif olabilen, temiz, çevre dostu, sürekli bir kaynak olarak öne çıkmaktadır. Bu özellikler sayesinde, güneş enerjisi kullanımının son yıllarda artarak devam ettiği gözükmemektedir. Fotovoltaik sistemlerde sistem ekipman maliyetlerinin yıllar içinde azalması, bu sistem ile elektrik enerjisi kullanımını giderek yaygınlaştırmaktadır. Ülkemizin güneş enerji potansiyelinin yüksek olması bu sistemlere olan talebi arttırmıştır.

Bu çalışmada, Tekirdağ ili Çerkezköy ilçesinde bulunan bir fabrikanın, ofislerin yer aldığı binanın çatı kısmına fotovoltaik sistem tasarımı yapılmıştır. Çalışma için öncelikle çatı alanı hesaplanmıştır. Güneş paneli yerleşimi için uygun alan 2613,75 m² olarak belirlenmiştir. Alan 6 farklı bölgeye ayrılmıştır. Her bölge için alan hesabı yapıp, yerleşebilecek modül sayısı belirlenmiştir. Toplam 485 adet modülün yerleşebileceği bulunmuştur. Bu modüller ile birlikte 121,250 kW'lık bir güç elde edileceği öngörülmüştür. HOMER yazılımı ile yapılan simülasyon sonucunda PV panellerin talep edilen elektrik yükünü karşılamada yetersiz kaldığı ve şebekeden elektrik satın alınarak sistemin çalışması gerektiği hesaplanmıştır. Üç farklı kaynaktan elde edilen ortalama günlük ışıınım verisi kullanılarak simülasyon oluşturulmuş ve maliyet analizi yapılmıştır.

HOMER yazılımı, birden çok enerji kaynağının hibrit optimizasyonu olarak isimlendirebileceğimiz birçok farklı kaynağın bir sistem içinde optimum şekilde kullanılarak sistem tasarımının yapılmasını sağlayan bir yazılımdır. Optimum sistem, sistem maliyetlerinin en düşük olduğu sistem olarak düşünülmektedir. Optimizasyon ve duyarlılık analizleri kullanılarak farklı sistem konfigürasyonları oluşturulur. Sistem için kurulum ve işletme maliyetleri hesaplanır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının birlikte çalışması için gereken sistem analizleri bu yazılım ile yapılabilir.



DESIGN AND ANALYSIS OF GRID-CONNECTED ROOF TOP PHOTOVOLTAIC SYSTEM

SUMMARY

The demand of energy has increased with the increasing population and developments in the industry. The result of decreasing fossil resources, the demand of energy have provided from natural resources. The solar, wind and wave energy which we can call natural resources offer clean and alternative energy because these energies are constantly present in nature and don't run out over time.

The solar energy from renewable energy resources that can be an alternative to fossil fuels is clean, environmentally friendly, continuous resource. With these features, the use of solar energy has increased in recent years. System equipment cost have decreased over the years in photovoltaic systems and the use of electrical energy with photovoltaic systems have increased. Our country has the high solar energy potential and the demand of photovoltaic systems constantly is increasing.

In this study, a photovoltaic system design was made on the roof of the building where the offices of a factory located in Çerkezköy district of Tekirdağ province. For the study, first of all, the roof area was calculated. The suitable area of solar panel placement has been determined as 2613.75 m². The area is divided into 6 different zones. Area calculations were made for each zone and the number of modules was determined. A total of 485 modules have been used. It is foreseen that a power of 121,250 kW will be obtained with these modules. As a result of the simulation with the HOMER software, it has been seen that the PV panels are insufficient to meet the demanded electrical load. and the system has been work by purchasing electricity from the grid. A simulation was created and a cost analysis was made by using using three different sources of the average daily radiation data.

The amount of electricity consumption on a monthly basis of office building has been taken for in 2019 and 2020. By means of these data, the amount of daily electricity consumption on a monthly basis was found. The amount of average daily electricity consumption on a year basis has been calculated for in 2019 and 2020. With this data, the amount of daily electricity consumption was entered into the HOMER software as 3900 kWh.

Firstly, the building location was found on google earth then the roof area of the building was calculated. This value was found to be 2613.75 m². The roof area was divided into 6 zones, and a settlement sketch was created for each zone. The number of modules to be placed for each zone has been found. While making this calculation, the distance to be placed between the modules has been calculated.

The total number of modules is calculated as 485. A 250 W solar module was used. The power of 121,250 kW was obtained from solar modules. Electricity will be produced with this power.

Annual average temperature data was obtained from the General Directorate of Meteorology. The average of daily irradiance data on yearly basis were obtained from 3 different sources. The annual average radiation data was obtained from the General Directorate of Meteorology as 3.92 kWh/m²/day. This value is taken as 3.93 kWh/m²/day in NASA data and as 4.20 kWh/m²/day in PVGIS data.

Investment, replacement, operation and maintenance costs have been determined for the solar module and converter. It has been determined on the basis of previous years in economic data.

As a result of the radiation data received from the General Directorate of Meteorology, 121.25 kW of PV power and 85.5 kW of converter power were determined. Net present cost is 4.56 M\$, initial investment cost is 142,625\$. The net present cost is greater than the initial investment cost. This shows that not all of the demanded energy is met from the power obtained from the PV panel.

As a result of the radiation data received from NASA, 121.25 kW of PV power and 85.5 kW of converter power were determined. Net present cost is 4.56 M\$, initial investment cost is 142,625\$. These values show the same results as the General Directorate of Meteorology.

As a result of the radiation data obtained from PVGIS, 121.25 kW PV power and 85.5 kW converter power were determined. Net present cost is 4.53 M\$, initial investment cost is 142,625\$. We conclude that the net present cost is positively affected by the increased radiation data.

Cost analysis was also made according to the radiation data obtained from three different sources. We see that the only difference here is in the electricity energy costs taken from the grid.

The annual amounts of PV panels and grid electricity consumption were calculated. When the radiation data of the General Directorate of Meteorology is used, it is seen that 158,939 kWh/year PV panels and 1,272,293 kWh/year grid electricity are used. When NASA radiation data is used, it is seen that 156,188 kWh/year PV panels and 1,274,658 kWh/year grid electricity are used. When PVGIS radiation data is used, it is seen that 165,983 kWh/year PV panels and 1,265,407 kWh/year grid electricity are used. When we examine the total amount of annually energy consumption; It is seen that energy consumption is 1,431,232 kWh/year when the radiation data of the General Directorate of Meteorology is used, 1,430,846 kWh/year when NASA radiation data is used, and 1,431,390 kWh/year when PVGIS radiation data is used.

When we examine the electricity consumption rates; when the radiation data of the General Directorate of Meteorology is used, 11.1% of the PV panel and 88.9% of the grid electricity are used, when NASA radiation data is used, 10.9% of the PV panel and 89.1% of the grid electricity are used, when PVGIS radiation data is used It is seen that PV panel is used with 11.6% and grid electricity with 88.4%. In the simulation created with the PVGIS data, which has the highest radiation data, it is seen that the most energy is provided from the PV panel.

As a result of the simulations, the usage amounts of the polluting gases were also found. When the radiation data of the General Directorate of Meteorology is used, it has been calculated 804,089 kg/year carbon dioxide, 3,486 kg/year sulfur dioxide and 1,705 kg/year nitrogen oxide pollutant gases emissions on an annual basis. 158,939 kWh/year energy was provided by using PV panels. It has been found that the emission of polluting gases to the atmosphere of 100,449 kg/year carbon dioxide, 0.435 kg/year

sulfur dioxide and 0.213 kg/year nitrous oxide pollutants to the atmosphere is prevented by using the ratio proportional calculation.

When NASA radiation data is used, it has been calculated 805.584 kg/year carbon dioxide, 3.493 kg/year sulfur dioxide and 1,708 kg/year nitrous oxide pollutant emissions on an annual basis. 156,188 kWh/year energy was provided by using PV panels. It has been found that the emission of polluting gases to the atmosphere of 98,710 kg/year carbon dioxide, 0.428 kg/year sulfur dioxide and 0.209 kg/year nitrogen oxide pollutants to the atmosphere is prevented by using the ratio proportional calculation.

When PVGIS radiation data is used, it has been calculated 799,737 kg/year carbon dioxide, 3,467 kg/year sulfur dioxide and 1.696 kg/year nitrous oxide pollutant gases emissions on an annual basis. 165,983 kWh/year energy was provided by using PV panels. It has been found that the emission of polluting gases to the atmosphere of 104.90 kg/year carbon dioxide, 0.455 kg/year sulfur dioxide and 0.222 kg/year nitrogen oxide pollutants to atmosphere is prevented by using the ratio proportional calculation.

HOMER software which we can call hybrid optimization of multiple electric renewables uses many different resources and these resources are optimally used for system design. The optimum system is considered to be the lowest system costs. Different system configurations are created using optimization and sensitivity analysis. System installation and operating costs are calculated. System analysis is done with this software for hybrid energy systems.

There has been an increase in temperatures with the global climate change. Along with the increase in temperature, climate change causes melting of ice, floods, severe hurricanes, rise in sea water levels and an increase in acid rates in the oceans. Increasing greenhouse gas emissions as a result of human activities are shown as the main cause of climate change. A lack of greenhouse gases makes very cold, while excess makes very hot in the world. In past centuries, people have used a lot of coal, oil and gasoline in factories, cars, airplanes and trains. The consumption of these fossil fuels causes carbon dioxide emissions. The mixing of too much carbon dioxide into the earth's atmosphere also increases the temperature of the earth. If we continue to produce carbon dioxide, our world will get warmer day by day. According to the Paris Climate Agreement, it was stated that the increase in average temperatures should be limited to a maximum of 2°C in order to minimize the devastating effects of climate change. In order to achieve this target, the CO₂ rate in the atmosphere should not exceed 450 ppm. With the increase in renewable energy systems, the greenhouse gas rate will be reduced. In this study, the greenhouse gas usage rate was reduced with electricity generation using PV panels. A renewable energy usage rate of approximately 11% has been calculated.

1. GİRİŞ

Enerji, günlük yaşantımızı devam ettirebilmemiz ve hayatımızı şekillendirmemizde önemli bir rol oynayan faktördür. Dünya nüfustaki artış, yaşam standartlarındaki değişimler, sanayileşme gibi etmenler enerjiye olan talebi giderek arttırmaktadır. Enerji kaynağı olarak en çok kullandığımız fosil kaynaklardır. Enerji ihtiyacındaki artış, fosil kaynakların hızla tükenmesine neden olmuştur. Bu durumdan enerji kaynaklarının verimli kullanımı önem kazanmıştır. Fosil yakıtların azalması, bu yakıtların çevreye olumsuz etkileri, hammadde fiyatlarının yüksekliği gibi nedenlerden dolayı insanların temiz, çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelimi artmıştır.

Son zamanlarda yenilenebilir enerjinin önemi giderek artmaktadır. Ülkeler bu alandaki çalışmaları hızlandırmışlar ve gerekli yasal mevzuatları oluşturarak yatırımcıları bu alanda yatırım yapmaya yönelik teşvik paketleri oluşturmuşlardır.

İklim değişikliğine bağlı olarak meydana gelen küresel ısınma ekolojik dengeyi olumsuz etkilemektedir. Küresel ısınmanın yavaşlatılması ve bitmesi için hava kirliliğinin azaltılması, doğal kaynakların kontrollü kullanılması ve fosil yakıtların kullanımının azaltılması büyük önem taşımaktadır. Enerjiyi fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarından temin edilmesi, bu sorunun çözümünde büyük rol oynamaktadır. Güneş, biyokütle, rüzgar ve hidroelektrik gibi örnek gösterebileceğimiz yenilenebilir enerji kaynakları iklim değişikliği ile mücadelede alternatif enerji kaynakları olarak büyük destek sağlamaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı, ofis binasının çatısına kurulacak bir şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemin uygulanabilirliğinin araştırılması, simülasyon ve ekonomik analiz yapılarak çalışmanın desteklenmesidir. Çalışma, Tekirdağ ili Çerkezköy ilçesinde bulunan, koordinatları 41° 16' 43" N ve 27° 58' 54" E olan bir fabrikanın ofis katlarının bulunduğu binanın çatı kısmına fotovoltaik güneş enerji sistemi tasarımı

içermektedir. Sistemin kurulacağı binada, yaklaşık 200 kişi çalışmaktadır. Bina, bir zemin kat, 2 normal kat ve bir bodrum kattan oluşmaktadır. Binada ayrıca test odaları da mevcuttur. Test odaları yapılan testlere bağlı olarak tüm gün de çalışmaktadır. Hafta sonları çalışmanın az olmasından dolayı elektrik tüketimi daha düşüktür. Tasarım yapılırken HOMER yazılımından yararlanılarak simülasyon ve ekonomik analiz sonuçları elde edilmiştir. İklim verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün sitesinde bulunan verilerden alınmıştır. Aylık ve yıllık elektrik tüketim değerlerinden yararlanılmıştır. Bina konumu dikkate alınarak modüllerin yönü belirlenmiştir. Çatı alanı dikkate alınarak da kullanılacak modül adeti hesaplanmıştır.

Atmosfere yayılan sera gazı miktarının insan faaliyetleri ile artması sonucunda dünyamız ısınmaktadır. Bu ısınma sonucunda küresel iklim değişiklikleri görünmektedir. Bu değişikliklerin etkisini en aza indirebilmek için Paris İklim anlaşmasında ortalama sıcaklıklardaki artışın maksimum 2°C ile sınırlandırılması gerektiği vurgulanmıştır. Bu hedefe ulaşmak içinde atmosfere yayılan sera gazı oranının düşürülmesi hedeflenmektedir. Bu çalışmada PV panel sistemi kullanılarak 100,449 kg/yıllık CO₂'in atmosfere salınması engellenmiştir.

1.2 Literatür Araştırması

Fotovoltaik sistemler üzerine yapılan birçok çalışma mevcuttur. Farklı ülkelerde HOMER ve farklı yazılımlar kullanılarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Yapılan akademik çalışmalar incelenerek çalışma verilerinden yararlanılmıştır.

Shilpa ve Sridevi. (2019) çalışmalarında Bengaluru şehrindeki üniversite kampüs binası için şebekeden bağımlı ve bağımsız çalışabilen fotovoltaik sistem tasarımı üzerine çalışmışlardır. HOMER yazılımı kullanarak yaptıkları çalışmada, şebekeye bağlı sistemin mevcut maliyetinin, şebekeden bağımsız sisteme göre daha düşük olduğuna ulaşılmıştır. Şebekeden bağımsız sistem için tamamen yenilenebilir enerji kullanılsa da akü ve dizel jeneratör ihtiyacının olması maliyeti arttırmış ve sistemde daha fazla emisyon gaz salınımı olduğu anlaşılmıştır. Şebeke bağlantılı sistemin daha optimum (minimum sistem maliyetli) olduğu sonucuna varılmıştır [1].

Barhoumi ve diğ. (2021) Umman'da bulunan bir evin elektrik ihtiyacını çatı tipi fotovoltaik sistem ile şebeke bağlantılı ve bağlantısız olacak şekilde karşılanması için çalışma yapmışlardır. HOMER yazılımı kullanılarak simülasyon, ekonomik analiz ve

karşılaştırma yapmışlardır. Seçilen ev; 5 oda, 1 mutfak ve 2 banyodan oluşmuş olup, günlük 26,9 kWh enerji tüketmektedir. Şebeke bağlantısız sistem için 13 kW PV panel, 60 adet akü ve dönüştürücü kullanılmıştır. Şebeke bağlantılı sistemde, 21 kW PV panel ve dönüştürücü kullanılmıştır. Güneşin olmadığı akşam ve gece saatlerinde elektrik ihtiyacının şebekeden sağlanacağı düşünülmüş ve akü sisteme dahil edilmemiştir. Dhofar Üniversitesinde bulunan bir eko ev için çatı tipi 3,8 kW kapasiteli fotovoltaik sistem kurmuşlardır. HOMER yazılımındaki sonuçlar ile karşılaştırılmasını yapmışlardır. Çalışmalar sonunda şebeke bağlantılı sistemin optimum (minimum sistem maliyetli) olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Umman'da 2025 yılına kadar elektrik ihtiyacının %10'nun yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması hedeflenmektedir [2].

Güler ve Duman. (2019) çalışmalarında Türkiye'nin belli bölgelerinde bulunan konutlarda kullanmak için çatı tipi şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerin ekonomik analizlerini yapmışlardır. Güneş radyasyon miktarlarına göre ülkeyi üç bölüme ayırmışlar ve her bölümden üç şehir seçilmiştir. Seçilen 9 şehirde bulunan konutlar için 5 kW çatı tipi fotovoltaik sistemin HOMER Grid yazılımı kullanılarak simülasyonunu yapmışlardır. Üretilen elektriğin şebekeye satış fiyatı ve kurulum maliyetlerinin farklı oranlarda değişmesine bağlı olarak geri ödeme süresi, getiri oranı ve karlılık indeksi verilerini karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda konut için çatı üstü fotovoltaik sistemlerin yaygınlaşması gerektiği, bunun için teşvik ve kampanyaların artırılması gerektiğine değinilmiştir. Türkiyede bölgeler arasında büyük güneş radyasyon farklılıkları olduğundan, bölgesel olarak destek modellerinin geliştirilmesi gerektiği ifade edilmiştir. Şebekeye elektrik satış fiyatlarının farklı tüketici grupları için (konut, ticari, endüstriyel) farklı olarak belirlenmesi gerektiği ve değişikliklere göre oranların değiştirilmesi gerektiğine değinilmiştir [3].

Kumari ve diğ. (2017) Hindistan'ın Tamil Nadu kentinde bulunan Perumal Kovilpathy köyü için fotovoltaik sistem, rüzgar türbini, dizel jeneratör ve akü kullanarak hibrit enerji sistemi oluşturmuşlardır. HOMER yazılımı kullanılarak yapılan çalışmada şebekeden bağımsız olarak elektrik üretimi amaçlanmıştır. Fotovoltaik sistem, dizel jeneratör ve akü olarak bir kombinasyon, fotovoltaik sistem, rüzgar türbini, dizel jeneratör ve akü olarak ikinci kombinasyon ve rüzgar türbini, dizel jeneratör ve akü kullanarak üçüncü kombinasyon oluşturulmuştur. Yapılan analiz sonucunda fotovoltaik sistem, dizel jeneratör ve aküden oluşan kombinasyonun en ekonomik çözüm olduğuna ulaşılmıştır. Dizel jeneratör yakıtı olarak biyodizel kullanılmıştır.

Şebekeden bağımsız, karbondioksit emisyonunu en aza indiren bir sistem tasarımı amaçlanmıştır [4].

Sureshkumar ve diğ. (2012) Hindistan'ın Tamil Nadu kentindeki Mandapam kasabasındaki bir köy için şebeke elektriği olmadan kendi elektrik ihtiyacını karşılayabilen bir sistem tasarlamışlardır. Bu sisteme PV panel, rüzgar türbini, batarya ve dönüştürücüyü dahil etmişlerdir. HOMER yazılımı kullanılarak yaptıkları simülasyonda köy için gerekli günlük elektrik tüketim miktarını 1,989 kWh/gün almışlardır. Farklı kapasitelerde rüzgar türbini ve PV panel kullanarak optimum (minimum sistem maliyetli) sistem oluşturmuşlar ve ekonomik analiz yapmışlardır. Çalışma sonucunda yükün optimum (minimum sistem maliyetli) şekilde karşılanabilmesi için rüzgar türbini kullanım kapasitesi, PV panel kullanım kapasitesine oranla daha fazladır [5].

Pathirana ve Muhtaroglu. (2013) Kuzey Kıbrıs'ta bulunan Orta Doğu Teknik Üniversitesi kampüsünün elektrik ihtiyacının fotovoltaiik sistem kullanılarak karşılanabilmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Fosil yakıt kullanımının azaltılması ve yenilenebilir enerji kullanımda artışın sağlanması amaçlanmıştır. PV panel çiftliği kurularak yapılması düşünülen çalışmada şebeke bağlantılı ve şebeke bağlantısız olmak üzere 2 sistem üzerine çalışılmış, 3 farklı çeşit PV panel kullanılarak ekonomik analiz karşılaştırılması yapılmıştır. Elektrik üretim maliyeti şebekeye bağlı sistemde daha uygun bulunmuştur. Maliyet açısından şebekeden bağımsız sistemin büyük ölçekli uygulamalar için optimum (minimum sistem maliyetli) çözüm olmadığı görülmüştür [6].

Rahman ve diğ. (2014) Bangladeş'in Cox's Bazar kentindeki kırsal bir alanda 100 konutun elektrik ihtiyacını karşılayabilecek şebekeden bağımsız bir sistem tasarlamışlardır. Tüm konutların günlük tükettikleri toplam elektrik miktarı 166 kWh/gün ve puant yük 21 kW olarak belirlenmiştir. PV panel, dönüştürücü, su santrali, rüzgar türbini, jeneratör ve aküden oluşan sistemde HOMER yazılımından yararlanılarak simülasyon oluşturulmuştur. 3 farklı dizel fiyatı belirlenerek duyarlılık analizi yapılmış ve her bir dizel fiyatı için 8640 adet simülasyon hesaplanmıştır. En optimum (minimum sistem maliyetli) çözüm 5,25 kW su santrali, 3 kW rüzgar türbini, 12 kW PV panel, 10 kW akü ve 10 kW dizel jeneratör kullanılarak oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda ihtiyaç duyulan enerjinin %66'sı yenilenebilir enerji

kaynaklarından karşılanmaktadır. Karbondioksit emisyon miktarının da yıllık olarak azaldığı saptanmıştır [7].

Rodrigues ve diğ. (2016) PV sistemlerine olan teşviğin arttırılabilinmesi için dünyanın çeşitli bölgelerinde bulunan 13 ülkeye aynı olacak şekilde şebekeye bağlı PV panel sistemleri kurulması durumunda, ülke politikalarının ekonomik analizleri incelenmiştir. 13 ülke olarak Avustralya, Brezilya, Çin, Almanya, Hindistan, İran İtalya, Japonya, Portekiz, Güney Afrika, İspanya, İngiltere ve Amerika Birleşik Devletleri seçilmiştir. 1 kW ve 5 kW'lık PV paneller kullanılmıştır. Her iki panel için elektrik ihtiyacının PV panel veya şebekeden karşılanmasına bağlı olarak değişen 4 farklı senaryoda analiz yapılmıştır. Farklı senaryolar için yatırım yapılabilecek en iyi ülkeler belirlenmiştir. RETScreen yazılımı kullanılarak analizler yapılmıştır. Çalışmaya göre PV sistemin uygulanabilirliği; yatırım maliyeti, elektrik tarifiesi, güneş radyasyon miktarı ve devlet teşviklerine bağlı olarak değiştiğine ulaşılmıştır [8].

He ve diğ. (2017) Muson iklimi sahip bir bölge için HOMER yazılımı kullanılarak PV panel, dönüştürücü, rüzgar türbini ve aküden oluşan bir sistem tasarlamışlardır. %0, %5 ve %10 elektrik kesintisi olması durumuna göre 3 farklı simülasyon oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda ilkbahar ve yaz aylarında PV panelden daha fazla enerji üretildiği, sonbahar ve kış aylarında ise rüzgar türbininden daha fazla enerji sağlandığı görülmüştür. Birim enerji maliyetinin, elektrik kesinti oranı yükseldikçe azaldığı sonucuna varılmıştır [9].

Diab ve diğ. (2015) Mısır'ın New Borg El Arab şehrinde bulunan bir fabrikanın ve çevresindeki konutların elektrik ihtiyacını karşılayabilecek, şebekeden bağımsız hibrit sistem tasarlamışlardır. HOMER yazılımı kullanılarak oluşturulan sistem; PV panel, dönüştürücü, rüzgar türbini, dizel jeneratör ve aküden oluşturulmuştur. Fabrika için günlük elektrik enerjisi miktarı 1000 kWh/gün ve konutlar için 100 kWh/gün olarak belirlenmiştir. 60 kW PV panel, 100 kW rüzgar türbini, 40 kW dizel jeneratör ve 600 adet 589 Ah akü kullanılarak optimal (minimum sistem maliyetli) sonuç elde edilmiştir. Çevre dostu bir sistem amaçlanmıştır. Yapılan çalışmanın yapılacak çalışmalara örnek oluşturacağı belirtilmiştir [10].

Iva Batić ve Željko Đurišić. (2021) Sırbistan'nın çeşitli bölgelerinde bulunan okul öncesi binalara çatı tipi fotovoltaiik sistem kurulması durumu değerlendirilmiştir. Farklı senaryolar için olası kurulu kapasite ve yıllık elektrik üretim tahminleri

verilmiştir. Fotovoltaik panellerin yıllık üretimini hesaplamak için Avrupa Komisyonu tarafından finanse edilen PVGIS programı kullanılmıştır. Verimleri %15, %17 ve %20 olan fotovoltaik paneller için çatı yüzeyinden elde edilebilecek maksimum kurulu kapasiteler karşılaştırılmıştır. Binaların çatı açıları ve güneş potansiyelleri hesaplanmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda, okul öncesi binaların yıllık elektrik tüketiminin %50'sinin kurulacak olan fotovoltaik panellerden karşılanabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Okul öncesi binaların çatılarının farklı yön ve eğime sahip olan yüzeylerden olması kurulacak olan fotovoltaik sistemlerin enerji ve ekonomik değerlerinin farklı olması sonucu doğurmaktadır. Yatırımın en hızlı geri dönüşünü, en yüksek spesifik enerji üretimini sağlayacak, yıllık güneşlemenin en iyi olduğu alanlara öncelik verilerek ulaşılabilecek sonucuna varılmıştır [11].

Omrani ve diğ. (2019) İran'ın güneydoğusunda 10 MW kapasiteli fotovoltaik enerji santrali için tekno-ekonomik değerlendirilme yapmışlardır. İran'ın konum olarak yüksek enerji potansiyeline sahip olması yenilenebilir enerji sistemlerinden güneş enerjisi sistemlerinin kullanılmasının enerji yol haritası belirlenmesinde doğru yol olacağı düşünülmüştür. Bu çalışma için İran'ın güneydoğusunda bulunan 10 şehir belirlenmiştir. RETScreen yazılımı kullanılarak yapılan çalışmada teknik ve finansal verilerden yararlanılarak ekonomik analiz yapılmıştır. Şebeke bağlantılı olarak yapılması düşünülen santralde öncelikle santralde kullanılacak PV panel, evirici gibi ekipmanlar belirlenmiştir. Daha sonra yıllık elektrik üretimi, karlılık oranı, yatırımın geri ödeme süresi, sera gazı azaltımı gibi veriler şehirler arasında karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda şehirler arasında farklılık göstermek ile birlikte geri ödeme süresinin 4 yıldan az olduğuna varılmıştır. %23,3 ila %27,9 aralığında yatırımın iç getiri oranı hesaplanmıştır. İran'ın sınır illerinde büyük ölçekli PV santral inşa edilmesi bu illerdeki tesis eksikliğinin azalmasını sağlayacaktır. İran'ın merkezine göçün azalması; tüm illerde tarımı, güçlü sanayileşmeyi ve işsizlik oranında azalmayı iyileştirecektir. Bu çalışma ile birlikte İran'da sürdürülebilir kalkınmanın iyileştirilmesi sağlanacaktır [12].

Nhau ve diğ. (2021) Çin'in Şanghai şehrinde farklı yük profillerindeki fotovoltaik sistemler PVSOL yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. 3,6 kW'lık PV sistem kurulu gücü belirlenmiştir. Bu gücün konut, ticari ve endüstri yük profillerindeki net bugünkü değeri, performans oranı, yatırım getirisi ve geri ödeme süresi karşılaştırılmıştır. Öncelikle yıllık ortalama ışıınım ve sıcaklık değerleri, kablo kaybı, bakım ve temizlik

maliyetleri, elektrik fiyatları belirlenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda konut tipi yükte en yüksek geri ödeme süresi ve en düşük yatırım getirisi sağlandığı görülmüştür. Endüstriyel yükte ise bu durumun tam tersi ortaya çıkmaktadır. En düşük geri ödeme süresi ve en yüksek yatırım getirisi sağlanmaktadır. Ticari yükte ise her iki durum için orta konumda olduğu görülmüştür. Endüstriyel yüke sahip PV sisteminin ticari yüke sahip sistemden daha ekonomik olduğu ortaya çıkmıştır. Konut yüklü sistem ekonomik açıdan diğer sistemlerden daha kötüdür. Konut yükü ile ticari yükün birleştirilerek bir PV sisteminin kurulması ekonomik açıdan daha yararlı olacağı öngörülmüştür. Bu makalenin gelecekte kurulacak PV sistemleri için bir referans olacağı düşünülmüştür [13].

Romoacca ve diğ. (2021) Peru'nun Cusco şehrinde sıcaklığın fotovoltaiik sistemlerin verimliliğine etkisini incelemişlerdir. Biri monokristal panelli diğeri polikristal panelli modül olmak üzere iki fotovoltaiik sistem üzerinde çalışma yapılmıştır. Sıcaklık, güneş radyasyonu, nem, voltaj ve akım parametrelerinin verileri toplamıştır. Polikristal ve monokristal panellerin verimlilikleri %14 ila %18 aralığındadır. Panellerin verimlilikleri; ortam sıcaklığı, toz, nem, güneş ışıınımı gibi dış faktörlerden etkilenmektedir. Bu çalışmada San Antonio Abad del Cusco Ulusal Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Profesyonel Okulu'nun çatı kısmına polikristal ve monokristal paneller yerleştirilmiştir. Her iki panelin kurulumu için 0,864 m²'lik alanlar ayrılmış olup, bu alanlara 160 W kapasiteli monokristal paneller ve 150 W kapasiteli polikristal paneller yerleştirilmiştir. İklim değişkenliklerini belirlemek için fotovoltaiik panellerin bulunduğu konuma meteoroloji istasyonu kurulmuştur. Bu istasyondan güneş radyasyonu, ortam sıcaklığı, bağıl nem, rüzgar hızı, yağış ölçümü, barometrik basınç değerleri alınmıştır. Yapılan çalışma sonucunda her bir panelin metrekaresinin arttırımı, panelin gücünü monokristal panel için 0,1105 W ve polikristal panel için 0,1845 W arttırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Her bir santigrat derece sıcaklığın artması durumunda; monokristal panelin gücünün 3,6273 W azaldığı, polikristal panelin gücünün de 2,8428 W azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Nem oranının yüzdesel olarak artışı da monokristal panelde 0,9925 W güç kaybına neden olurken, polikristal panelde 1,9472 W güç kaybı yaşanmıştır. Panel verimlilikleri incelendiğinde; monokristal panelin %18,40 ve polikristal panelin %15,67 verimli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Monokristal panelin polikristal panele göre daha verimli olduğu gözlenmektedir [14].

Shuquan Chen. (2021) Vanuatu Cumhuriyeti'nde bulunan Santo adasındaki çiftlik için şebekeden bağımsız fotovoltaiik sistem kurulumu üzerinde çalışılmıştır. Merkezden uzak yerleşim birimleri için elektrik ihtiyacının şebekeden bağımsız fotovoltaiik sistemler ile karşılanması teknik ve ekonomik olarak önemli bir seçim olmaktadır. Bu çalışmada fotovoltaiik sistemin kurulu gücü 228,8 kWp olarak hesaplanmış olup, akü kapasitesi 2100 kWh'dir. Yedek güç olarak da 30 kW dizel jeneratör kullanılmıştır. Yıllık olarak 279 MWh enerji üretileceği hesaplanmıştır. Sistem çalışmasında PV panellerde üretilen enerji, öncelikli olarak talep edilen elektrik yükünün karşılanması için kullanılmıştır. PV panellerde üretilen enerji, talep edilen elektrik yükünü aştığında akülerin şarjı için kullanılır. PV panellerde üretilen enerji, talep edilen elektrik yükünden daha düşük olduğunda talep edilen yük; akü ve dizel jeneratörler ile sağlanır. Şebekeden bağımsız fotovoltaiik sistem maliyeti, şebekeye bağlı olarak çalışan sistemlere göre daha pahalıdır fakat elektriğin olmadığı yerlerde elektrik ihtiyacının karşılanması için etkin bir çözümdür [15].

Abdelaziz ve diğ. (2021) Afrika, dünyanın en kalabalık ikinci kıtası olarak bilinmektedir fakat elektrifikasyon oranı olarak %55 civarındadır. Bu oran diğer ülkelere kıyasla düşüktür. Afrika'nın yüksek güneş enerji potansiyeline sahip bir yer olması sayesinde güneş enerji teknolojileri kullanılarak düşük elektrifikasyon oranının artırılması düşünülmektedir. Covid-19 pandemisi ile birlikte hükümetler durumu kontrol altına almak için bazı eylemler gerçekleştirmiştir. Sınırlar kapatılmış, seyahat yasakları gelmiş, fiziksel mesafe ve temas takibi gibi önlemler başlatılmıştır. Enerji sektörüne de bu durum olumsuz etki oluşturmuştur. Güneş enerji sistemlerindeki temel sorun yüksek başlangıç ve kurulum maliyetleridir. Pandeminin etkisiyle oluşan küresel durgunluk proje finansmanlarını da etkilemiştir. Güneş enerjisi sistem bileşenlerinin maliyetlerinin artması, hükümetlerin fon bulmakta zorluk yaşamasına neden olmuştur. Afrika para birimindeki değer kaybı nedeniyle de zorluk yaşanmıştır. Enerji satın alma sözleşmelerinin dolar cinsinden yapılması da durumu zorlaştıran bir diğer etmen olmuştur. Güneş enerjisi sistem ekipmanları Afrika'da üretilmediğinden dolayı genellikle Çin'den tedariği sağlanmaktadır. Pandemi nedeniyle ulaşımda yaşanan aksaklıklar nedeniyle devam eden projelerde de gecikmeler yaşanmıştır. Salgının başlangıcından sonra olumlu gelişmeler de yaşanmıştır. Gelişmiş ülkelerin fosil yakıt tüketiminin azaltılıp, yenilenebilir enerji sistemler ile enerji sağlanması politikalarında olumlu sonuçlar oluşmuştur. Gelişmiş ülkeler, Afrika bölgesinde bir çok yere güneş

enerji sistemlerinin kurulması için fon paylaşımında bulunmuştur. Sokağa çıkma kısıtlamaları ile birlikte havadaki karbondioksit oranı azalmış ve hava kalitesi artmıştır. Bu durum da yatırımcıların ve hükümetlerin güneş enerjisi yatırımlarına ve teknolojilere odaklanmanın ne kadar önemli olduğunu gözler önüne sermiştir [16].

Sadmai ve diğ. (2021) Tayland'ın Pathumthani şehrinde bulunan Rajamangala Üniversitesi Mühendislik fakültesi binasının 9. katındaki çatıya 3 kWp'lik şebekeye bağlı PV sistem kurulumu yapılmıştır. Pvsyst yazılımı kullanılarak sistemin enerji performans simülasyonu yapılmış ve analiz edilmiştir. Tayland güneş ışığı miktarının yüksek olduğu ülkelerden biridir. Aralık ayından Nisan ayına kadarki zaman, havanın açık olduğu zamanlardır ve güneş ışığı miktarı fazladır. Muson ikliminin etkin olduğu Haziran ayından Eylül ayına kadarki zamanda bulutluluk oranı fazladır. 3 kWp'lik PV sistemi; 12 adet PV modülden, 3 adet tek fazlı invertörden, PV kablosu, DC bağlantı kutusu ve DC sigorta gibi koruma cihazından oluşan bir sistemdir. Tayland, kuzey yarımkürede bulunan bir ülke olduğundan PV modüller güney yönüne bakacak şekilde yerleştirilmiştir. 2019 yılında kurulumu yapılan sistemin yıllık elektrik tüketimi 1182,9 kWh olarak hesaplanmış olup, Ekim ayında 120 kWh ve Kasım ayında 160 kWh elektrik üretimi gerçekleşmiştir [17].

Satpathy ve diğ. (2021) Hindistan'ın Odisha eyaletinin Bhubaneswar şehrinde bulunan SOA Üniversitesin'deki 2 adet teknoloji laboratuvarı binalarına enerji sağlamak için çatı üstü şebekeden bağımsız PV sistem tasarımı için çalışma yapılmıştır. Sistem, Pvsyst yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve analiz edilmiştir. Kurulum yapılacak yerdeki yıllık ortalama güneş ışıyım miktarı 4,81 kWh/m², yıllık ortalama hava sıcaklığı 26,9°C olarak hesaplanmıştır. Sistem için gerekli enerji miktarı günlük 2,2024 kWh/gün ve aylık 660,7 kWh/ay olarak hesaplanmıştır. 26 adet PV modül kullanılan sistemde 56 adet de akü kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucu sistem yıllık 12640 kWh/yıl enerji üretimi sağlanacağı hesaplanırken, yıllık 8039 kWh/yıl enerji tüketimi olacağı ve yıllık 4193 kWh/yıl ekstra enerji üreteceği bulunmuştur [18].

Nasution ve diğ. (2020) Endonezya'nın Kuzey Sumatra bölgesinde bulunan Muhammediye Üniversitesi kampüs binalarının birinin üstüne çatı tipi güneş santrali kurulması için planlama çalışması yapılmıştır. Endonezya'nın her gün güneş ışığı alması ve hükümetin yenilenebilir enerji sistemlerine verdiği destek güneş enerji santrali projesi üzerinde çalışılmasında önemli rol oynamıştır. Bu çalışma ile elektrik

maliyetlerinin azaltılması düşünülmüştür. Günlük tüketilen elektrik yükü 4,6481 kWh olarak hesaplanmıştır. Çalışma için öncelikle güneş santralinin kurulacağı çatı alanı hesaplanmıştır. Bu alana 120 adet güneş paneli yerleşebileceği görülmüştür. Bu panellerin sağlayabileceği elektrik enerjisi 144,83 kWh bulunmuştur. Toplam günlük elektrik yükünü karşılayabilecek panel sayısının 2126 olacağı hesaplanmıştır. Çatı alanına yerleştirilen panellerin binanın ihtiyaç duyduğu enerjinin yaklaşık %0,97'si kadarını karşılayabildiği görülmüştür [19].

Mohanty ve diğ. (2021) Hindistan'ın Odisha eyaletinin Bhubaneswar şehrindeki Bhubaneswar Mühendislik ve Teknoloji ana blok binasında bulunan mevcut çatı tipi güneş enerji santrali yeniden tasarlanmış ve çatının aynı alanından daha fazla güç üretebileceği bulunmuştur. Günlük tüketilen elektrik gücü 675.8 kW olarak hesaplanmıştır. Solar Edge yazılımı kullanılarak şebeke bağlantılı çatı tipi PV sistem tasarlanmıştır. Güneş santrallerinden elde edilen enerjinin kış mevsimlerinde diğer mevsimlere oranla daha fazla olacağı bulunmuştur. Güneş modülünün sıcaklığının hava sıcaklığı arttıkça artacağı bu durumda çıkış akımının üssel olarak artacağı, çıkış voltajının ise lineer olarak düşeceği bundan dolayı gücün azalacağı hesaplanmıştır. Çalışma yeniden tasarlanırken eğim, azimut ve zenit açısı gibi güneş PV sistemi ile ilişkili farklı açılar incelenmiştir. Gölge efekti ve on yıllık hava raporu yazılıma eklenmiştir. Çalışma sonucunda panellerden 50 kW daha fazla güç üretilebileceği hesaplanmıştır [20].

Kulkarni ve diğ. (2020) Hindistan'ın Karnataka eyaletinin Belgaum şehrinde bulunan KLS Gogte Teknoloji Enstitüsü binasının çatı kısmına 450 kW'lık çatı tipi güneş enerji santrali kurulumu için çalışma yapılmıştır. Hindistan'ın konum olarak tropikal bölgede olması, güneş enerjisinden yararlanılarak minimum maliyetle elektrik enerjisi üretme imkanı sağlamıştır. Günlük tüketilen güç 2,363.79 kW/gün olarak hesaplanmıştır. Ortalama günlük güneş ışıınım miktarı 5.35 kWh/m²-gün olarak belirlenmiştir. Çalışma sonunda 3 yıllık bir geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Karbon salınımlarında önemli bir tasarruf sağlanacağı görülmüştür. Fazla üretilen enerjinin elektrikli araçların şarjında kullanılabileceği ifade edilmiştir. Özellikle üniversitedeki öğretim elemanları ve öğrencilerin araçlarını şarj etmesi için kullanılacağı belirtilmiştir [21].

Mubarak ve diğ (2020) Endonezya'nın Açe bölgesinde bulunan Bukit Indah Üniversitesi Endüstri mühendisliği laboratuvar binasının çatısına fotovoltaiik güneş

sistemi kurulması için çalışma yapılmıştır. Global Solar Atlas uygulaması kullanılarak yapılan çalışma, şebeke bağlantılı olarak tasarlanmıştır. Haziran-Ağustos 2019 tarihleri arasında tüketilen elektrik enerjisi baz alınmıştır. Toplam çatı alanı 1,443 m² olarak hesaplanmıştır. Bu alan için 541 adet 300 W gücünde polikristal güneş paneli kullanılmıştır. Bu sistemden maksimum 82,773 W'lık bir güç elde edilebileceği öngörülmüştür [22].

Majumdar ve diğ. (2020) Hindistan, tropik iklime sahip bir ülkedir ve yılın ortalama 300 günü güneşli geçmektedir. Bu durum ülkede fotovoltaik enerji sistemlerine olan yönelimi arttırmıştır. Küresel düzeyde gündemde olan karbon ayak izini azaltma girişimi, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimi gerektirmiştir. Bu makalede yazarlar, PV modüllerinin güvenilirlik analizini gerçekleştirmek için farklı güçteki PV modüller kullanılarak modüllerin performans ve verimliliklerini incelemişlerdir. Yazarlar, tüm deneyleri farklı güneşlenme ve sıcaklıklarda çatı üstü koşullarında yapmışlardır. Hindistan'da yaygın olarak polikristal güneş modülleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada da 40 ve 74 W gücünde iki farklı polikristal güneş modülü kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda güneş modüllerinin akım ve güç değerleri açısından regresyon katsayısı 0,98 ile 1 arasında bulunmuştur. Bu sonuçtan PV modüllerin performansı ve güç çıkışının güvenli olduğu sonucu çıkarılmıştır. PV modülünün elektrik üretim kalitesi, doluluk çarpanları ile belirtilmektedir. Teste alınan 40 W gücündeki modülün dolum çarpanı standart sapması 0,0134 ve 74 W gücündeki modülün ise 0.0207 bulunmuştur [23].

Alharthi. (2021) Suudi Arabistan'nın batı bölgesine inşa edilmesi düşünülen şebeke bağlantılı rüzgar ve güneş enerji sistemlerini içeren hibrit sistemin, tekno ekonomik analizini yapmıştır. HOMER yazılımı kullanılarak çalışma gerçekleştirilmiştir. Günlük tüketilen enerji ortalama olarak 1500 kWh/gün olarak hesaplanmıştır. PV panelin gücü 500 kW ve rüzgar türbininin gücü 1000 kW olarak düşünülmüştür. Kullanılacak dönüştürücünün verimi %95 olarak seçilmiştir. PV sisteminden elde edilecek enerji, rüzgar türbinine göre daha düşüktür. Yaz aylarında yüksek sıcaklık dolayısıyla elektrik talebi artacaktır ve yeni talebi karşılamak için şebeke elektriği kullanımı gerekecektir. Ekonomik açıdan sadece rüzgar veya sadece PV sistemin kullanılmasının hibrit sisteme göre daha pahalı olacağı öngörülmüştür. Rüzgar hızı ve güneş radyasyon değerlerinin sistemin performansını en çok etkileyen değişkenler olduğu görülmüştür. Bu değişkenlere göre sistemin çalışma performansı değişmektedir [24].

Anctil. (2021) Fotovoltaik sistemlerin karbon ayak izine olan etkisi; artan verimlilik, malzeme ve elektrik tüketimindeki azalma nedeniyle son beş yılda önemli ölçüde azalmıştır. Monokristal panel üretiminde kullanılan silikonun üretimi büyük miktarda elektrik tüketimi gerektirmektedir ve bundan dolayı modülün üretim yeri, genel karbon ayak izi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu çalışmada Çin'e kıyasla Amerika Birleşik Devletlerin'de silikon monokristal panel imalatının yaşam döngüsü etkisi tartışılmıştır. Amerika Birleşik Devletlerin'de ulusal ortalamaya dayalı karbon ayak izi 515 g CO₂/kWp iken Çin'de bu değer 740 g CO₂/kWp'dir. Modüllerin tamamen Amerika Birleşik Devletlerin'de üretilmesinin karbon ayak izini %30 oranında azaltabileceğini göstermektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda modül verimliliğinin 2030'da %21,5 olacağı öngörülmektedir [25].

Alharthi ve diğ (2021) Şebekeye bağlı PV sistemin performansını araştırmak amacıyla PV sistem simülasyonu ve duyarlılık analizi yapılmıştır. Sistemin Suudi Arabistan Krallığı'nda bulunan Medine şehrinde inşa edildiği varsayılmaktadır. 3 MW gücünde ve 25 yıllık kullanım ömrü olması düşünülmüştür. Sistem simülasyonu ve analizi HOMER yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sistemdeki ana bileşenler; şebeke, PV sistem, dönüştürücü ve AC yüküdür. Maksimum günlük AC yük 25 MW civarındadır. Bu sistemde elektrik şebekesi, ana yedekleme rolünü üstlenmektedir. PV sisteminden yeterli çıkış gücü olmadığında, tüm yük talebi şebeke tarafından karşılanacaktır. Dönüştürücünün yaklaşık %95 verimliliğe sahip olduğu varsayılmıştır. Araştırma sonucunda, 0,044 \$/kWh düşük bir LCOE değeri bulunmuştur. İndirimli geri ödeme süresi 17 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu sistemin CO₂ emisyonunu yaklaşık %47 oranında azaltabileceği bulunmuştur. Sistem üzerinde ekonomik bir etkiye sahip olan petrol fiyatlarındaki dalgalanmalar nedeniyle, proje ömrü boyunca elektrik fiyatlarında değişiklikler meydana gelecektir. Bu olası sorunu önlemek için yenilenebilir enerji kapasitesinin artırılması, uzun vadede enerji fiyatlarındaki değişikliklerden kaynaklanan maliyetin düzeltilmesine veya azaltılmasına yardımcı olacaktır [26].

Hayat ve diğ (2017) Avustralya'nın farklı eyaletlerinde yaşayan hanelerin evlerine çatı tipi güneş paneli ve batarya sistemi kurmalarının finansal fayda sağlayıp sağlamadığı tartışılmaktadır. Avustralya'nın metrekare başına düşen ortalama güneş radyasyonu diğer kıtalar ile karşılaştırıldığında daha yüksektir. Bundan dolayı çatı tipi güneş panelleri ile elektrik üretimde piyasaya önemli bir katkı sağlanmaktadır. Aralık 2015

yılında Avustralya’da kurulu çatı tipi güneş paneli sayısı 1,51 milyondur. Bu değer, 2015 yılında Avustralya’da üretilen tüm yenilenebilir enerjinin %16,2’sini oluşturmaktadır. Avustralya’nın eyaletlerindeki çatı tipi güneş paneli oranlarına bakıldığında; en yüksek oran %30,74 ile Queensland’de olduğu görülmektedir. Yeni Güney Galler %21,69, Victoria %18,53, Batı ve Güney Avustralya %13 katkı sağlamaktadır. Tazmanya ve Avustralya Başkent bölgesi %1 ve Kuzey bölgesi %0,36 ile en az katkı sağlayan bölgelerdir. Bir hanenin çatı tipi güneş paneli kurması ile elde edebileceği ekonomik faydaları etkileyen 5 ana faktör vardır. Bunlar; panelin kapasitesi, hane halkının elektrik tüketimi, evin konumu, elektrik tüketim ücreti ve kamu hizmeti tarafından sunulan tarife garantisidir. Klimalar hariç küçük bir evin tüm cihazlarını çalıştırmak için 2 kW’lık bir çatı tipi güneş paneli yeterlidir. Bununla birlikte, hane ihtiyaçlarının tamamını güneş enerjisinden elde etmek için 3-5 kW’lık bir çatı tipi güneş paneli yeterlidir. Üç farklı senaryo kurularak bir karşılaştırma yapılmıştır. İlk senaryoda 3 kW’lık panel, ikinci senaryoda 5 kW’lık panel ve üçüncü senaryoda 5 kW’lık panel ve enerji ihtiyacının %90’nı karşılayabilecek batarya sistemi kurulması düşünülmüştür. Kullanılmayan elektriğin şebekeye geri gönderilmesi amaçlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda tipik bir Avustralya hanesinin yılda 5500 kWh elektrik tükettiği bulunmuştur. Senaryo 1 ile yapılan çalışmanın geri ödeme süresinin 5-11 yıl arasında değiştiği, senaryo 2 ile yapılan çalışmanın ise 4-9 yıl arasında değiştiği bulunmuştur. Senaryo 3’de ise senaryo 2’de bulunan değerlerin yaklaşık iki katına çıktığı 10-18 yıl arasında değiştiği görülmüştür. Bu çalışmadan batarya destekli panel sistemi kurmanın ekonomik açıdan uygun olmadığı sonucuna varılmaktadır [27].

Kilimi ve diğ (2021) Ekvator Ginesi ülkesinde bulunan Corisco adasındaki Corisco Uluslararası Havalimanı’nda elektrik üretimi için şebekeden bağımsız fotovoltaik panel, dizel jeneratör ve akü bulunan sisteme rüzgar türbinlerinin eklenmesi planlanarak hibrit yenilenebilir enerji sistemi kurulması planlanmıştır. Corisco adasına elektriği taşıyan denizaltı kablosunun olmaması nedeniyle elektrik talebi dizel jeneratörlerden sağlanacak şekilde sistem kurulmuştur. Yeni kurulması planlanan sistem ile birlikte mevcutta kullanılan 4 adet 750 kW gücündeki dizel jeneratörlerin sayısını azaltmak ve yenilenebilir enerji üretimini arttırmak için rüzgar türbinlerini de ilave ederek hibrit enerji sisteminin iyileştirilmesine odaklanılmıştır. Sistem tasarımı HOMER yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Tüm havalimanı için toplam günlük

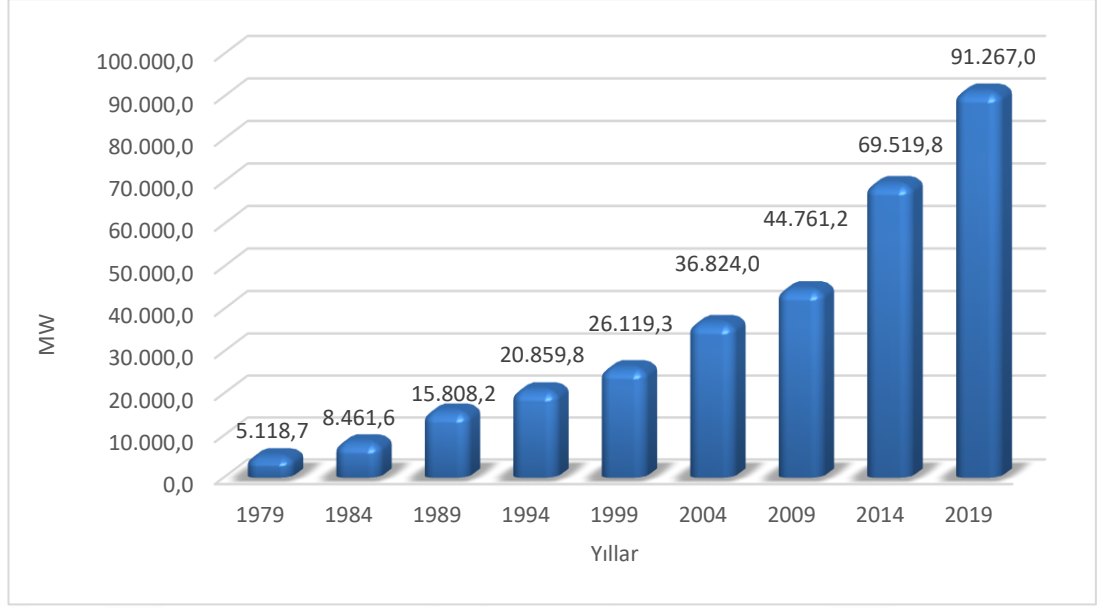
elektrik talebi 842,25 kWh'tir. Küresel güneş radyasyonu 1764 kWh/m²/yıl ve ortalama rüzgar hızı 30 metre yükseklikte 3,620 m/s olarak bulunmuştur. Bu veriler ile havalimanına enerji sağlamada PV panel ve rüzgar türbinlerinin güvenilir elektrik sağlayabileceği görülmektedir. Yapılan simülasyonlar sonucunda net şimdiki maliyette eski sisteme göre %95,38 tasarruf sağlandığı, işletme ve bakım maliyetlerinde de bu oranın %98,68 olduğu görülmektedir. Yıllık ortalama sera gazı emisyonları da %98,5 oranında azalmaktadır. Sistem altı adet 25 kW'lık rüzgar türbünü, 258,24 kW'lık PV panel, 1 adet 800 kW'lık dizel jeneratör ve 21 adet 51,6 kWh'lik aküden oluşmaktadır. 531,68 MWh/yıl toplam elektrik üretimine rüzgar türbününün %31,31, güneş panelinin %67,19 ve dizel jeneratörünün %1,5 katkısı olduğu hesaplanmıştır [28].

Dellosa ve diğ (2021) Filipinler'in Butuan şehrinde bulunan Caraga Eyalet Üniversitesi'ndeki 232 hektarlık araziye 5 MWp'lık PV çiftliği kurulmasının finansal ve teknik uygulanabilirliği araştırılmıştır. Analiz ve simülasyon çalışmaları PVSyst yazılımı kullanılarak yapılmıştır. PV panel olarak 415 W gücünde 12054 adet panel kullanılmıştır. Yıllık beklenen toplam enerji üretimi 7,627 MWh/yıl ve enerji maliyeti 0,057 \$/kWh'dir. Geri ödeme süresi 4,3 yıl olarak hesaplanmıştır. PV çiftliğinin ömrü boyunca, 109,8284 ton CO₂ gazı salınımı önlenecektir. Çalışma sonucunda bu projenin uygulanması şiddetle tavsiye edilmektedir [29].

Alzgool ve diğ (2021) Ürdün'ün Al Tafila şehrinde bulunan bakım ve rehabilitasyon merkezi için şebeke bağlantılı 148,8 kWp kapasiteli fotovoltaik sistem tasarımı önerilmiştir. PVSyst yazılımı kullanılarak simülasyon yapılmıştır. Simüle edilen veriler matematiksel olarak elde edilenlerle yakın bir korelasyon göstermiştir. Sistemin ömür süresi 20 yıl olarak düşünülmüştür. Yıllık olarak 250,75 MWh enerjinin şebekeye satılacağı hesaplanmıştır. Yapılan çalışmalar sistemin ekonomik olarak kurulmaya uygun olduğunu göstermiştir [30].

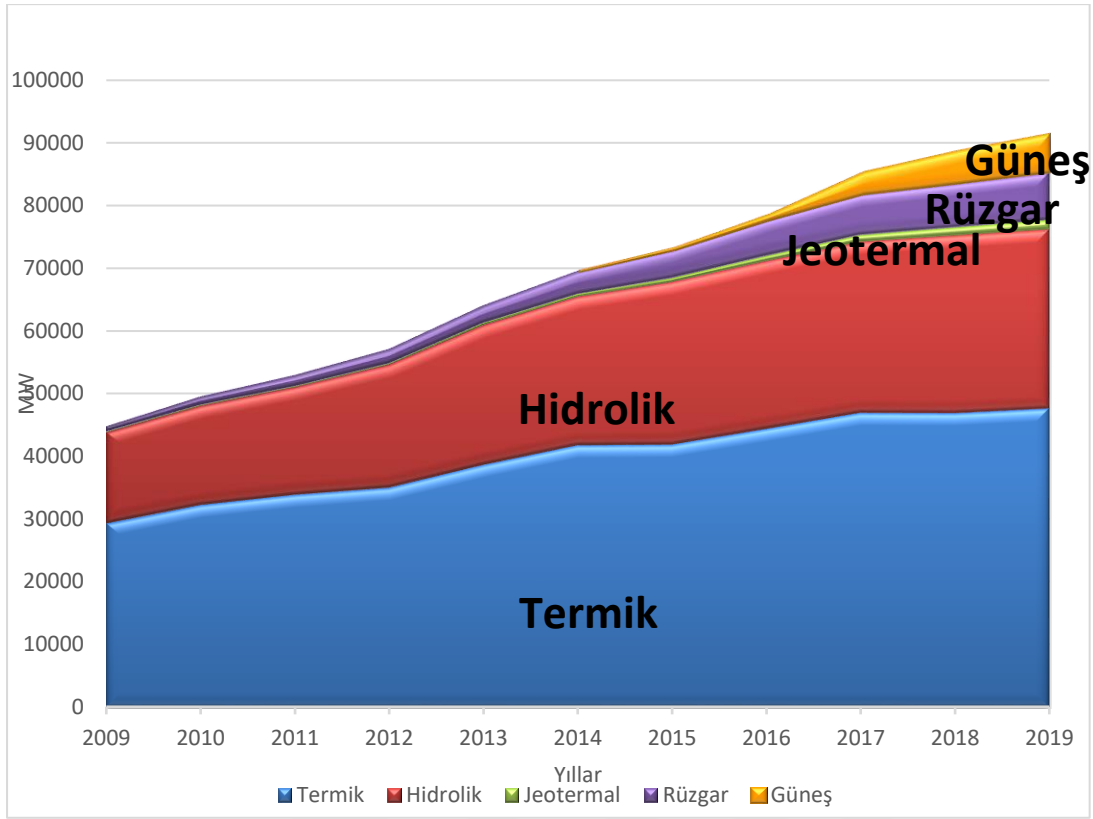
1.2 Türkiye'de Enerji

Türkiye'de yıllar içinde tüketilen elektrik enerjisi miktarındaki artışa bağlı olarak kurulu güç miktarı da yıllar içinde artmıştır. Şekil 1.1'de yıllar içinde Türkiye'deki kurulu güç miktarındaki değişim gösterilmiştir.



Şekil 1.1: Türkiye kurulu gücünün yıllar itibariyle değişimi [34].

Türkiye’de birincil enerji kaynakları termik, hidrolik, jeotermal, rüzgar ve güneş enerjisi olarak tanımlanmaktadır. Şekil 1.2’de Türkiye kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre gelişimi gösterilmiştir. Çizelge 1.1’de 2009 ve 2019 yıllarında birincil enerji kaynaklarının kullanım oranları verilmiştir. Veriler incelendiğinde 2009 yılında güneş enerjisinden yararlanılmaz iken 2019 yılında yaklaşık olarak 6 MW güneş enerjisinden yararlanılmış ve %6,57 oranında kurula güce katkı sağladığını görüyoruz. 2015 yılından itibaren de güneş enerjisine yapılan yatırımların artış kazandığı gözükmemektedir. Kurula güce katkı oranları incelendiğinde 2019 yılında termik enerji kaynağında bir azalma olduğunu görmekteyiz. Fakat toplam gücün büyük çoğunluğunun termik enerji kaynaklarından elde etmekteyiz. Rüzgar ve jeotermal enerjilerde de artış gözlenirken, hidrolik enerji kaynağında da oransal olarak küçük bir azalış gözükmemektedir. 2019 yılında tüm enerji kaynaklarının üretim miktarlarında 2009 yılına göre artış gözükmemektedir.



Şekil 1.2: Türkiye kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre gelişimi [34].

Çizelge 1.1: Türkiye kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre 2009 – 2019 yıllarında kullanım oranları [34].

Enerji Çeşidi		Termik	Hidrolik	Jeotermal	Rüzgar	Güneş	Toplam
Birim		MW	MW	MW	MW	MW	MW
Yıl	2009	29339,1	14553,3	77,2	791,6	-	44761,2
Oran	%	65,55	32,51	0,17	1,77	-	100,00
Yıl	2019	47663,0	28503,0	1514,7	7591,2	5995,2	91267,9
Oran	%	52,22	31,23	1,66	8,32	6,57	100,00

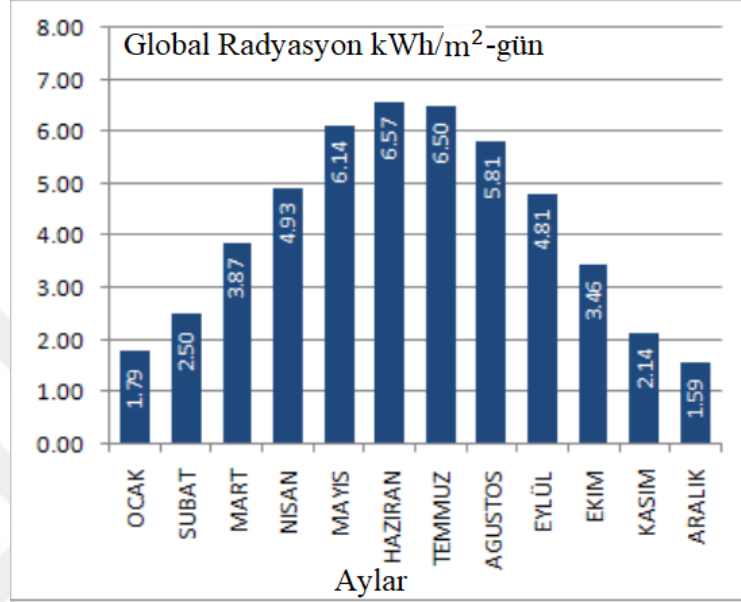
Türkiye’de 2020 yılında toplam 301.9 TWh elektrik üretimi gerçekleşmiştir [35].

1.3 Türkiye’de Güneş Enerjisi

Türkiye konumu itibarıyla, güneş potansiyeli bakımından birçok gelişmiş ülkeye göre avantajlı konumdadır. Fakat güneş enerjisinden daha çok sıcak su üretimi için uygulanan ısı güneş sistemleri alanında faydalanılmaktadır. Yenilenebilir enerjinin öneminin artmasıyla birlikte son yıllarda güneş enerji santrallerinde artış olduğunu görmekteyiz. Türkiye’nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2741,07 saat/yıl, ortalama günlük toplam güneşlenme süresi 7,5 saat/gün, ortalama yıllık toplam ışıınım

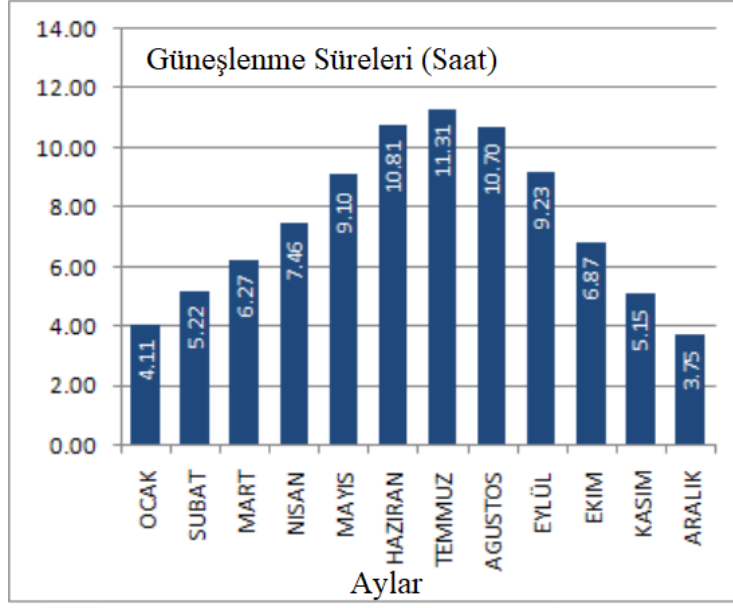
şiddeti 1527,46 kWh/m²-yıl, ortalama günlük toplam ısınım şiddeti 4,18 kWh/m²-gün olarak hesaplanmıştır [36].

Türkiye'nin aylık bazda ortalama günlük global radyasyon değerleri Şekil 1.3'te gösterilmiştir. Grafiğe baktığımızda özellikle bahar ve yaz mevsimlerinde güneş potansiyelinin daha fazla olduğu görülmektedir.

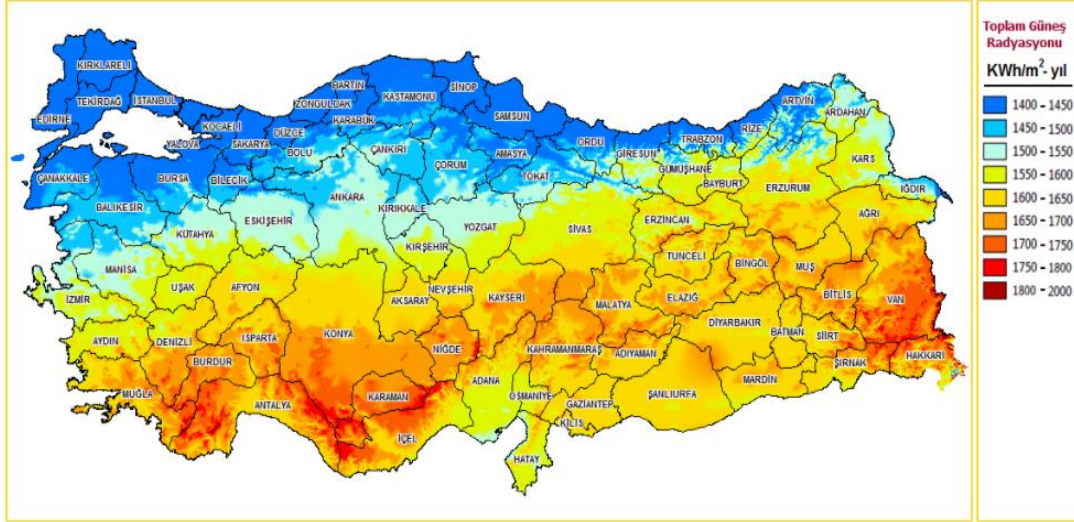


Şekil 1.3: Türkiye global radyasyon değerleri [37].

Türkiye'nin aylara göre güneşlenme süreleri saat zamanında Şekil 1.4'te verilmiştir. Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli haritası Şekil 1.5'te verilmiştir. Haritayı incelediğimizde, enlem değeri ve rutubet açısından en az ısınım alan bölge Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi'dir. Güney Ege ve Orta Anadolu Bölgeleri orta derecede ısınım almaktadır. Doğu Akdeniz ve Doğu Anadolu Bölgeleri ısınım değerleri iyi bölgelerdir. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli açısından en zengin bölgeleri Van-Hakkari bölgesi ve Batı Akdeniz Bölgesi'dir.



Şekil 1.4: Türkiye global güneşlenme süreleri (saat) [37].



Şekil 1.5: Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli haritası (saat) [37].

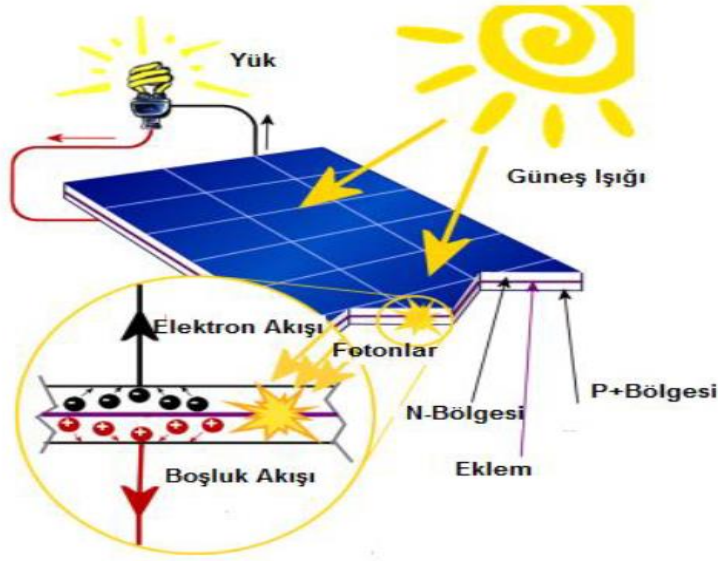
2. GENEL BİLGİLER

Güneş enerjisinden fotovoltaik paneller kullanılarak yararlanılmaktadır. Fotovoltaik paneller, güneş ışınlarının direkt olarak elektriğe dönüştürülmesini sağlamaktadır. Güneş enerjisinden yararlanılarak elektrik enerjisi üretiminde büyük önem arz etmektedir.

2.1 Fotovoltaik Sistemler

Fotovoltaik paneller, fotovoltaik hücrelerden oluşmaktadır. Fotovoltaik hücreler yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştürebilen yarı iletken maddelerden oluşurlar. Bu yarı iletken maddelere silisyum, galyum arsenit, amorf silisyum örnek verilebilir. Ağırlıklı olarak elektrik üretimi amacıyla kullanılan hücreler silisyum alaşımlıdır. Diğer maddelere kıyasla silisyum, düşük maliyetli, yüksek verimli ve uzun ömürlü kullanıma sahiptir. Bu hücreler kare, dikdörtgen, veya yuvarlak olarak farklı şekillerde tasarlanmışlardır.

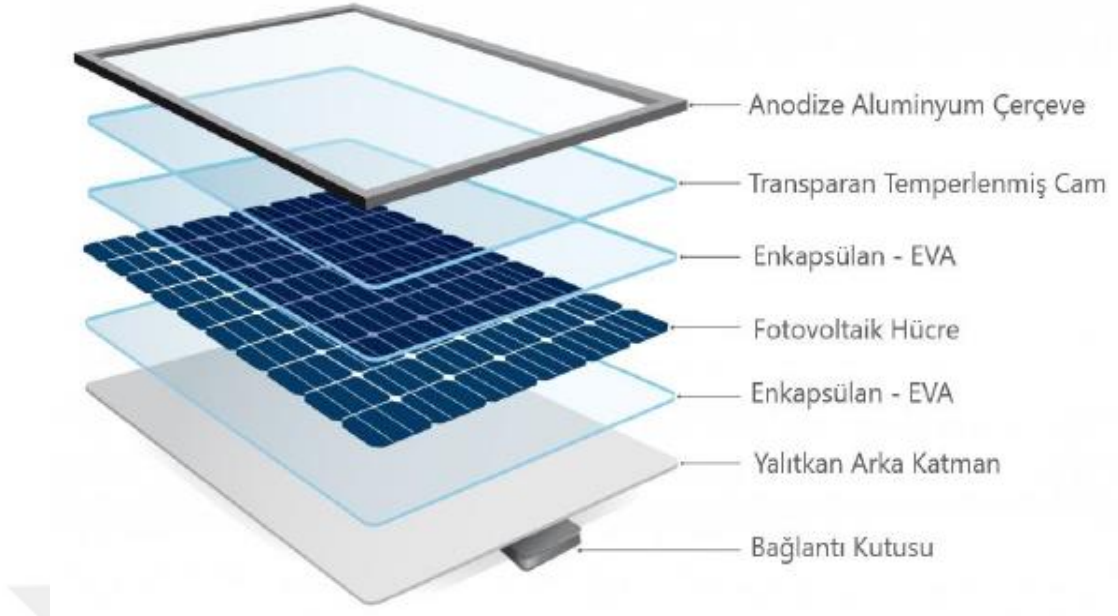
Fotovoltaik hücreler birçok katmandan oluşmaktadır. Yarı iletken katmanlar, bu katmanlar içerisindeki en önemli olanlardır. Özel işlem görmüş olan bu katmanlar, n ve p tipi olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır. Yarı iletkenlere eklenen katkı maddesine göre n tipi ya da p tipi yarı iletken maddeler elde edilir. Bu iki farklı tip yarı iletken bileşimine p-n eklemi adı verilir. Bu ekleme bir foton düşmesi ile elektron-hol çifti oluşur. Elektrik alan yardımıyla elektronların iletken vasıtasıyla yük üzerinden ve hollerin de eklem üzerinden akması sonucu elektron-hol çifti tekrar bir araya gelir ve devre tamamlanmış olur. Bu sayede elektrik akımı oluşur. Şekil 2.1’de n tipi ve p tipi yarı iletken maddeler gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Fotovoltaik hücre yapısı [38].

Fotovoltaik hücrelerin birbirlerine elektriksel olarak bağlanması sonucu fotovoltaik modüller oluşur. Birbirine bağlanan hücreler ve bağlantıları, dış etmenlerden korunması ve elektrik çarpmalarını önlemek için özel bir yapıda çerçevelenirler. Pazarda en yaygın kullanılan modüller 60 ya da 72 hücreli, 3 baypas diyotlu modüllerdir. Silisyum bazlı PV modüller için 25 yıllık dayanım ömrü öngörülmekte olup 25 yılı aşkın süredir elektrik üretmeye devam eden PV modül örnekleri de mevcuttur. 60 hücreli modüller kullanılan hücrelerin tipi ve verimine bağlı olarak yaklaşık 250W – 330W aralığında olup 72 hücreli modüller 330W’tan başlayarak 420W seviyelerine kadar çıkabilmektedir.

Fotovoltaik modüller, standart test koşulları altında ölçülen değerlerine göre nitelendirilir. Bu değerler, standart test koşulları ortamlarında 1000 W/m^2 , 25°C ve 1,5 global hava kütlesi ışınım spektrumunda ortaya konulan değerlerdir. Bu koşullar altında test edilen PV modüllerin açık devre gerilimi (V_{oc}), kısa devre akımı (I_{sc}), çalışma gerilimi (V_{mp}) ve çalışma akımı (I_{mp}) elde edilir. Bu değerlere göre de modüllerin maksimum güçleri (anma gücü) ve verimleri tespit edilir. Şekil 2.2’de fotovoltaik modül yapısı gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Fotovoltaik modül yapısı [39].

Fotovoltaik modüller, aynı fotovoltaik hücrelerde olduğu gibi daha yüksek güç grupları elde edebilmek için birbirlerine elektriksel açıdan seri ve paralel olarak bağlanarak PV dizeleri oluşturmaktadır. PV dizeleri oluştururken seri ve paralel bağlanacak modül sayısı maksimum sistem voltajına ve dönüştürücü maksimum akımına göre belirlenmektedir. Seri bağlanacak modül sayısı toplam voltajı belirleyeceğinden dolayı serinin yanlış boyutlandırılması, sistem voltajının üzerine çıkmasına sebep olabilir. Maksimum sistem voltajı üzerindeki voltaj değerleri dönüştürücü ve diğer ekipmanlara zarar verebilir.

2.2 Fotovoltaik Sistemlerin Bağlantı Çeşitleri

Fotovoltaik sistemler, şebeke bağlantılı ve şebeke bağlantısız sistem olarak sınıflandırılmaktadırlar.

2.2.1 Şebeke bağlantısız fotovoltaik sistem

Şebeke bağlantısız fotovoltaik sistemler; elektrik şebekesine erişimin olmadığı, şebeke için iletim hattının çekilmesinin ekonomik olmadığı yerlerde ve şebeke elektriğinin sıklıkla ve uzun süreli kesildiği bölgelerde elektrik enerjisi sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Bu sistemleri genellikle yol kenarındaki aydınlatmalarda, konutlarda elektrik tüketiminde, deprem ve hava gözlem istasyonlarında, yangın gözetleme

kulelerinde, bot ve yat gibi taşıtlarda elektrik ihtiyacını karşılamak için kullanıldığını görmekteyiz.

Şebekeden bağımsız tipik bir fotovoltaik sistem, güneş paneli, bataryalar, şarj kontrol cihazı ve dönüştürücüden oluşmaktadır. Bu sistemlerde güneşin olduğu zamanlarda güneş panellerinden elektrik enerjisi üretilir. Güneşin olmadığı zamanlarda, kullanmak için elektrik enerjisi şarj kontrol cihazlarıyla bataryalarda depo edilerek bekletilir. Alternatif akım ile çalışan cihazlarda kullanılmak için dönüştürücü yardımıyla güneş panellerinde üretilen doğru akım, alternatif akıma dönüştürülerek cihazlar için kullanılabilir hale getirilir.

2.2.2 Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem

Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler, şebekeye bağlı olarak çalışmaktadır. Güneşin olduğu gündüz saatlerinde güneş panellerinden üretilen elektrik enerjisi ihtiyaçlar için kullanılır veya şebekeye satılır. Güneşin olmadığı akşam saatlerinde ise elektrik ihtiyacı şebekeden sağlanır. Bu sistemde bataryalara ihtiyaç duyulmadan çalışma sağlanmaktadır. Şebeke bir çeşit batarya görevini üstlenmektedir. Son yıllarda fotovoltaik sistemler binaların çatı, duvar, pencere gibi bölümlerine entegre edilerek kullanıldığı görülmektedir. Bu sistemler genellikle şebeke bağlantılı olarak kurularak elektrik ihtiyacının bir kısmını veya tamamını karşılamaktadırlar.

2.2.3 Fotovoltaik sistemlerin çatılarda kullanımı

Fotovoltaik sistemlerin çatı uygulamalarında, sistem çatı üzerine bir montaj veya yapı sistemi ile monte edilir ya da entegre sistem olarak çatı malzemesi şeklinde uygulanır. Çatı uygulamalarının kullanım amacının talep edilen elektrik yükünü karşılaması olmasıyla birlikte binayı ve çatıyı dış hava koşullarına karşı da korumaktadır. Çatı uygulamaları, cephe uygulamalarına göre daha kolay kurulum olanağı sağlar ve daha az maliyetlidir. İstenilen eğim açısına göre yerleşim sağlanır. Çatı uygulamalarında modüllerin arkası daha kolay havalandırılır ve oluşan sıcaklık daha çok engellenebilir. Çatı uygulamaları; düz, eğimli, eğrisel, testere dişli ve atrium (yapı ortasındaki açık alan, avlu) olarak biçimsel anlamda 5 ayrı çeşit olarak sınıflandırılabilir [40].

2.3 Fotovoltaik Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları

Fotovoltaik sistemleri incelediğimizde birçok avantajının olduğunu görmekteyiz. Bu sistemler; her meteorolojik koşullarda çalışabilen, yirmi yılı aşkın kullanım ömürleri olan, az bakım gerektiren, sessiz çalışan, güneş ışınımına anlık cevap sağlayan, güvenilir, modüler ve dayanıklı sistemlerdir.

Fotovoltaik sistemlerin avantajlı yanları dışında dezavantajlı tarafları da bulunmaktadır. Bu sistemler yüksek kurulum maliyetleri içermektedir. Meteorolojik koşullar sistemin çalışmasını etkilediğinden üretilen güç sabit değildir ve çoğu uygulama için bataryalara ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat son yıllarda panel fiyatlarındaki düşüşler kurulum maliyetini az da olsa azaltmıştır. Bu sistemlerin birçok enerji sistemine kıyasla verimleri düşüktür. Yapısındaki yarı iletken malzemenin yaşlanma faktöründen dolayı fotovoltaik sistemlerin performansı zamanla azalmaktadır. Fotovoltaik modülün güneş ışığını belli oranda yansıtma etkisinden dolayı ek kayıplar da ortaya çıkabilmektedir. Dezavantajlarının yanında bu sistemler çevre dostu, temiz enerji kaynaklarıdır. Son yıllarda bu sistemler için yapılan çalışmaların arttığı gözlenmektedir [41].



3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışma, Tekirdağ ilinin Çerkezköy ilçesinde bulunan bir fabrikanın ofislerin yer aldığı bina bölümünün çatısına şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem tasarımını içermektedir. HOMER yazılımı kullanılarak yapılan çalışmada, sistem için ekonomik analiz yapılmıştır.

3.1 HOMER Yazılımı

HOMER, National Renewable Energy Laboratory (NREL) tarafından geliştirilmiş olan İngilizceden “ Birden Çok Enerji Kaynağının Hibrit Optimizasyonu” şeklinde çevirebileceğimiz ifadenin baş harflerinden oluşmaktadır. Birçok farklı kaynağı aynı sistemde birleştirip belli girdiler sayesinde kaynakların optimum şekilde kullanılabilmesi için sistem tasarlanır. HOMER, optimizasyon aşamasında sistem ekipmanlarını ve bu ekipmanlardan uygulanabilir sayı ve boyuttaki olanları belirleyerek sistem maliyeti en düşük sistemi hesaplamaktadır. Sistem maliyetinin en düşük olduğu sistem, optimum sistem olarak adlandırılır. HOMER’da sistem için en uygun ekipmanlar belirlenir, hangi ekipmandan kaç adet hangi boyutta kullanılması gerektiği tespit edilir. Birçok teknoloji seçeneğinin bulunması, maliyetlerdeki değişkenlik ve enerji kaynaklarının arz güvenliği gibi değişkenler bu konularda karar alım süreçlerini zorlaştırmaktadır. HOMER, optimizasyon ve duyarlılık analizi algoritmaları sayesinde bu kararların alınmasında kolaylık sağlamaktadır. Yazılım hem mühendislik hem de finansal durumu ele alarak optimizasyon gerçekleştirmektedir [42].

3.1.1 Simülasyon

HOMER, sistemin çalışmasını belli zaman aralıkları için bir yıl boyunca enerji denge hesaplamaları yaparak simüle etmektedir. Her bir zaman aralığı için elektrik ihtiyacı ve sağlanabilecek enerji miktarını karşılaştırmakta ve enerji akışını hangi üreteçten çıktığını ve hangi yönde olduğunu hesaplamaktadır. Akü ya da yakıt pili olan sistemlerde de aynı zamanda, her bir zaman aralığı için jeneratörlerin nasıl

işletileceğini, akülerin ne zaman şarj veya deşarj edileceğini belirler. HOMER, enerji denge hesaplamalarını kullanıcının talep ettiği her bir sistem konfigürasyonu için gerçekleştirmektedir. Sonrasında da sistemin enerji arzı açısından uygulanabilir olup olmadığını belirler, sistemin kurulum ve ömür boyu işletme maliyetlerini hesaplar [42].

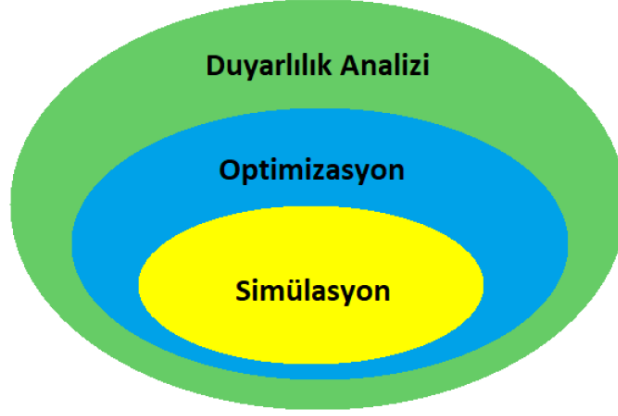
3.1.2 Optimizasyon

HOMER'in gerçekleştirdiği optimizasyon, simüle edilen konfigürasyonların en iyisini ortaya çıkarmayı sağlar. Bu konfigürasyonlar arasında temel karşılaştırma kriteri ise net şimdiki maliyettir. Kullanıcının belirlediği gereklilikleri (örn. elektrik ihtiyacı, kesinti yüzdesi v.b.) en düşük maliyet ile karşılayabilen konfigürasyon optimum konfigürasyon olarak sunar. HOMER optimizasyon işlemi boyunca birçok farklı sistem konfigürasyonunu inceler ve kullanıcının belirlediği gereklilikleri sağlamayan konfigürasyonları değerlendirme dışında tutar. Gereklilikleri karşılayabilen sistemleri ise net bugünkü maliyete göre en düşükten en yükseğe doğru sıralar. Optimizasyon işlemi ile sistemde kullanılacak ekipmanların boyutlandırması da gerçekleştirilir. Optimizasyon boyunca farklı üreteç, depolama ve konvertör kapasitelerinin simülasyon sonuçları değerlendirilir. Kullanıcı, net şimdiki maliyete göre sıralanan konfigürasyonlar arasındaki ekipman boyutlandırma farklarını görebilmekte, istediği parametreye göre konfigürasyonları sıralayabilmekte ve yorumlamalar yapabilmektedir [42].

3.1.3 Duyarlılık analizi

HOMER, belirli değişkenler için girilen değerlerin birden fazla olmasına imkân tanımaktadır. Kullanıcının, bir parametre için farklı değerler belirlemesi ile her bir farklı değer sonucunu nasıl etkilediğini ortaya koyabilmektedir. Bu işlem, girdilerdeki değişikliklerin sonuçlara ne ölçüde etki ettiğini belirleyen bir işlem olduğundan duyarlılık analizi adını almıştır. Bu işlemi tetikleyen farklı değerlere sahip değişkenler ise duyarlılık değişkenleri olarak tanımlanmaktadır. Kullanıcılar duyarlılık değişkenlerini girdiği takdirde HOMER gerçekleştirdiği simülasyonları her bir duyarlılık değişkeni için ve bunların kombinasyonu için tekrarlar. Örneğin şebeke elektriği maliyeti duyarlılık değişkeni olarak belirlendiği durumda belirlenen tüm elektrik maliyeti değerleri için simülasyon gerçekleşir [42].

HOMER yazılımının temel çalışma adımları Şekil 3.1’de gösterilmiştir. HOMER yazılımının temelinde simülasyon görevi yer almaktadır. Simülasyon sonuçlarının incelenip belirlenen kriterlere göre filtrelenip sıralandığı adım optimizasyondur. Duyarlılık analizi ise tercihe bağlı bir adımdır [42].



Şekil 3.1: HOMER Yazılımının Temel Çalışma Adımları [42].

3.2 HOMER Yazılımında Ekonomik Modelleme

HOMER yazılımı girilen tüm bilgiler doğrultusunda sistem simülasyonunu gerçekleştirip, sistemi boyutlandırmaktadır. Bunun sonucunda optimum (minimum sistem maliyeti) uygulanabilir konfigürasyonların bir listesini oluşturmaktadır. Bu konfigürasyonlar öncelikli olarak net şimdiki maliyete göre sıralanmaktadır. Kullanıcının isteğine bağlı olarak farklı çıktılar üzerinden de sıralamalar yapılmaktadır. Aşağıda, simülasyon sonucu ortaya çıkan finansal veriler ve bu verilerin hesaplamaları verilmiştir.

3.2.1 Seviyelendirilmiş enerji maliyeti (LCOE)

Bir yatırımın ömrü boyunca oluşmuş, sistem tarafından üretilmiş olan kullanılabilir enerjinin kWh başına ortalama maliyetini ifade etmektedir. Aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$LCOE = \frac{C_{yıl,top} - C_{boyler} \cdot H_{sağlanan}}{E_{sağlanan}} \quad (3.1)$$

$C_{yıl,top}$: Yıllık seviyeye indirgenmiş toplam sistem maliyet

C_{boyler} : Boyler marjinal maliyeti

$H_{sağlanan}$: Toplam karşılanan termal yük

$E_{sağlanan}$: Toplam karşılanan elektrik yükü

HOMER elektrik yüklerin yanında termal yüklerinde simülasyonunu yapmaktadır. Bu çalışmada termal yükler kullanılmadığından hesaplamalar yapılırken C_{boyler} ve $H_{sağlanan}$ değerleri sıfır olarak alınmıştır.

$C_{yıl,top}$ değeri toplam net şimdiki maliyetin yıllık seviyeye indirgenmiş halidir ve aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$C_{yıl,top} = CRF(i, R_{proje}) \cdot C_{NŞM,top} \quad (3.2)$$

$C_{NŞM,top}$: Toplam net şimdiki maliyet

i : Yıllık reel faiz oranı

R_{proje} : Proje ömrü

$CRF()$: Sermaye geri kazanım faktörü fonksiyonu

Sermaye geri kazanım faktörü, belli bir yıl boyunca edinilecek bir yıllık gelirin şimdiki değerini hesaplamak için kullanılmaktadır. Aşağıdaki formül ile ifade edilmektedir.

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (3.3)$$

N : Yıl sayısı

3.2.2 Net şimdiki maliyet

Net şimdiki maliyet diğer bir ifadeyle ömür boyu maliyet, bir komponentin tüm satın alma, montaj, ömür boyu işletme ve bakım maliyetlerinin bugünkü değerinden ömrü boyunca elde edilen kazançlardan çıkarılması sonucu kalan değeri ifade etmektedir. HOMER yazılımı bu hesaplamayı sisteme tanımlanan tüm komponentler için ayrı ayrı yapmaktadır [42].

3.2.3 Hurda maliyeti

Hurda maliyeti, projede kullanılan ekipmanların projede sonundaki maliyetlerini gösterir. Proje ömrü 20 yıl olan PV sistemini ele aldığımızda, proje sonunda PV hurda maliyeti, kalan ömrü olmadığından dolayı '0' olacaktır. Diğer taraftan 30 yıl ömrü olan bir PV sistem kullanıldığında, 20 yıllık bir proje sonunda değiştirme maliyetinin 1/3'ü oranında hurda maliyeti olacaktır. Hurda maliyeti aşağıdaki denklem ile ifade edilir [42].

$$S = C_{\text{değiştirme}} \frac{R_{\text{kalan}}}{R_{\text{ekip}}} \quad (3.4)$$

S : Hurda değeri

$C_{\text{değiştirme}}$: Ekipman değişim maliyeti

R_{kalan} : Ekipmanın kalan ömrü

R_{ekip} : Ekipmanın ömrü

3.2.4 Değiştirme maliyeti

Proje içinde kullanılan ekipmanların, kullanım ömrü sonunda değiştirilmesi gerekmektedir. Bu da değişim maliyetini oluşturur. Değişim maliyeti yıllar içinde durumlara göre değişebilmektedir. Örneğin, rüzgar türbininde türbin motorunun değişmesi gerekirken yeni bir kule almaya gerek olmayabilir. Teknolojik gelişmelere bağlı olarak ekipman maliyetlerinde düşme yaşanabilir [42].

3.2.5 Bakım onarım ve işletme maliyeti

Bakım ve onarım maliyeti, sistemde kullanılan her ekipman için ayrı olarak hesaplanan ve sistemin çalışmasını aksaklık olmadan sürdürebilmesi için gerekli olan maliyetlerdir. Toplam bakım ve onarım maliyeti her bir ekipmanın bakım ve onarım maliyetlerinin toplamıdır. Bazı ekipmanlar için örneğin jeneratör için bakım ve onarım maliyeti olarak saatlik bir değer girmemiz istenir. İşletme maliyeti, sistemin işletilmesini sağlamak amacıyla yıllık olarak belirlenen değerdir Aşağıdaki formülle hesaplanır [42].

$$C_{\text{işletme}} = C_{\text{yıl,top}} - C_{\text{yıl,top,sermaye}} \quad (3.5)$$

$C_{\text{işletme}}$: İşletme maliyeti

$C_{\text{yıl,top}}$: Yıllık toplam maliyet

$C_{\text{yıl,top,sermaye}}$: Yıllık toplam sermaye maliyeti

Yıllık toplam sermaye maliyeti, başlangıç toplam sermaye maliyetinin sermaye geri kazanım faktörü ile çarpılması sonucu bulunur.

3.2.6 HOMER yazılımında bulunan kirletici gazların emisyon hesabı

HOMER yazılımı aşağıda açıklamaları belirtilen altı gaz çeşidinin çevreye verdiği zararı gösteren emisyon hesaplarını yapmaktadır [42].

Karbon Dioksit (CO_2) : Toksik olmayan sera gazıdır.

Karbon Monoksit (CO): Yakıtlardaki karbonun eksik yanması sonucu oluşan zehirli gazdır. Vücudun organlarına ve dokularına oksijen verilmesini önleyerek baş ağrısına baş dönmesine, görsel algı, el becerisi ve öğrenme yeteneğinin bozulmasına neden olur.

Yanmamış Hidrokarbonlar (UHC): Formaldehit ve alkenler dahil hidrokarbon yakıtının eksik yanması sonucu oluşur. Foto kimyasal dumana neden olan atmosferik reaksiyonlara yol açarlar

Partikül Madde (PM): Solunum sorunlarına neden olabilen atmosferdeki duman, kuru ve sıvı damlacıkların karışımıdır.

Kükürt Dioksit (NO_2): Kükürt içeren yakıtların (kömür, petrol ve dizel yakıt gibi) yanması sonucu açığa çıkan gazdır. Solunum problemlerine ve asit yağmurlarına neden olur.

Azot Oksitler (NOX): Herhangi bir yakıtın yüksek sıcaklıkta yakılması sonucu azot dioksit (NO_2) ve nitrik oksit (NO) gibi çeşitli azot bileşikleri oluşur. Bu bileşikler solunum problemlerine ve asit yağmuruna neden olurlar.

Emisyonlar; jeneratör tarafından elektrik üretimi, termal enerji üretimi ve şebeke elektriği tüketimi sonucunda ortaya çıkmaktadırlar.

HOMER yazılımı sistem simülasyonu yapmadan önce her bir kirletici gaz için emisyon faktörünü belirler. Emisyon faktörü, tüketilen yakıt birimi başına yayılan kirletici gazdır. kWh/kg birimi ile ifade edilir. Simülasyondan sonra emisyon faktörü toplam yıllık yakıt tüketimi ile çarpılarak kirletici gazların yıllık emisyonları hesaplanır. Bu hesaplama jeneratör ve termal yük ile talep edilen enerjiyi karşılama durumunda geçerlidir. . Şebeke elektriği kullanılarak talep edilen enerji karşılanıyorsa, yıl boyunca oluşan şebekeden alınan enerjiden şebekeye satılan enerji çıkartılır ve net şebeke enerji alımı elde edilir. Bu değer, her kirletici gaz için belirlenen emisyon faktörü ile çarpılarak kirletici gazların yıllık emisyon değerleri bulunur. Sistem, şebekeye yıl boyunca satın aldığından daha fazla enerji satıyorsa net şebeke alım

enerjisi negatiftir. Böyle bir durumda her kirletici gazın emisyonları da negatif çıkışı görülür.

3.2.7 Reel faiz oranı hesabı

Reel faiz oranı, faiz oranı ve enflasyona bağlı olarak hesaplanır. Tek seferlik maliyetler ile yıllık maliyetler arasındaki dönüştürücü oran olarak kullanılır. Reel faiz oranı, aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır [42].

$$i = \frac{i' - f}{1 + f} \quad (3.6)$$

i : Faiz oranı

f : Enflasyon oranı

3.2.8 PV panelin çıkış güç hesabı

HOMER, PV panelleri ışıınım verileri ile doğru orantılı olacak şekilde, gerilim ve sıcaklığından bağımsız olarak DC elektrik üreten bileşenler olarak modellemektedir. PV panellerin çıkış gücü aşağıdaki formül ile ifade edilmektedir. Burada f_{PV} değeri PV verim faktörüdür (derating factor) ve bu değer genel olarak %100 veya daha az seçilerek, kayıpları hesaba katmak için PV çıkış gücüne uygulanır. Yüksek çevre koşulları, farklı çalışma gerilimleri, panellerin toz ve kirliliği PV sistemlerinin çıkış gücü değerlerinin altında güç üretmesine sebep olabilmektedir. f_{PV} değeri bu kayıpları hesaba katmaktadır. I_s değeri $1kW/m^2$ 'dir. Bu değer PV modüllerin kapasitelerinin hesaplanmasında kullanılan standart radyasyon miktarıdır.

Bir PV sisteminin nominal kapasitesi, standart test koşullarında $1kW/m^2$ radyasyon $25^\circ C$ panel sıcaklığında panelin üreteceği güç değeridir. HOMER programında PV panel boyutlandırılması her zaman nominal kapasite ile yapılır ve bu kapasite PV modüllerin hem alanını hem de verimini açıklamaktadır ve bu parametreler HOMER'da ayrı olarak yer almamaktadır. PV panelin çıkış gücü aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır. [42].

$$P_{PV} = f_{PV} Y_{PV} \left(\frac{I_T}{I_s} \right) \quad (3.7)$$

f_{PV} : Fotovoltaik panelin verim faktörü

Y_{PV} : Panel kapasitesi

I_T : Panel üzerine düşen global radyasyon düzeyi

I_s : Standart radyasyon miktarı

3.2.9 Yenilenebilir enerji kullanım oranı hesabı

Yenilenebilir enerji kullanım oranı, yenilenebilir güç kaynaklarından sağlanan enerjinin talep edilen yük için kullanılması sonucu oluşan orandır. Aşağıdaki formül ile hesaplanır [42].

Çalışmamızda termal yük olmadığından dolayı H_{nonren} ve H_{served} verileri HOMER yazılımında kullanılmamıştır.

$$f_{ren} = 1 - \frac{E_{nonren} + H_{nonren}}{E_{served} + H_{served}} \quad (3.8)$$

E_{nonren} : Yenilenebilir olmayan elektrik üretimi

H_{nonren} : Yenilenebilir olmayan termal üretim

E_{served} : Yenilenebilir enerji sisteminden sağlanan toplam elektrik yükü

H_{served} : Termal sistem için gerekli olan toplam termal yük

Yenilenebilir olmayan elektrik üretimi aşağıdaki formül ile ifade edilmektedir.

$$E_{nonren} = E_{prod} - E_{ren} \quad (3.9)$$

E_{prod} : Toplam elektrik üretimi

E_{ren} : Yenilenebilir elektrik üretim

3.2.10 Dönüştürücü verimi ve güç hesabı

Bu çalışmada dönüştürücü, evirici olarak kullanılmıştır. Eviricinin verim ve güç hesapları aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. [48,49].

$$P_{inv}(t) = \frac{P_{load}(t)}{\eta_{inv}} \quad (3.10)$$

$P_{inv}(t)$: Eviricinin t saatteki giriş gücü

$P_{load}(t)$:Yükün t saatte tükettiği güç

η_{inv} : Evirici verimi

$$\eta_{inv} = \frac{P}{P + P_0 + kP^2} \quad (3.11)$$

$$P_0 = 1 - 99 \left(\frac{10}{\eta_{10}} - \frac{1}{\eta_{100}} - 9 \right)^2 \quad (3.12)$$

$$k = \frac{1}{\eta_{100}} - P_0 - 1 \quad (3.13)$$

$$P = \frac{P_{out}}{P_n} \quad (3.14)$$

η_{10} : Dönüştürücünün nominal gücünün %10'nuna karşılık gelen verimliliğidir.

η_{100} :Dönüştürücünün nominal gücünün %100'ne karşılık gelen verimliliğidir

P : Nominal dönüştürücü çıkış gücü

P_n : Nominal dönüştürücü gücü

P_0 : Vakumdan kaynaklanan yükten bağımsız kayıpların gücü

P_{out} : Dönüştürücünün çıkış gücü



4. OFİS BİNASINA ÇATI TİPİ PV SİSTEM MODELLENMESİ

Bu çalışmada Tekirdağ ili Çerkezköy ilçesinde bulunan koordinatları $41^{\circ} 16' 43''$ N ve $27^{\circ} 58' 54''$ E olan bir fabrikanın ofis katlarının bulunduğu binanın çatı kısmına fotovoltaiik güneş enerji sistemi tasarımı yapılmıştır. Tasarım yapılırken HOMER yazılımı kullanılmış olup, iklim verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün sitesinde bulunan verilerden yararlanılmıştır. Elektrik tüketim değerleri, bina konumu ve çatı alanı dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Tasarlanan sistemin ekonomik analizi yapılarak uygulanabilirliği araştırılmıştır.

4.1 Ofis Binasının Elektrik Tüketimi

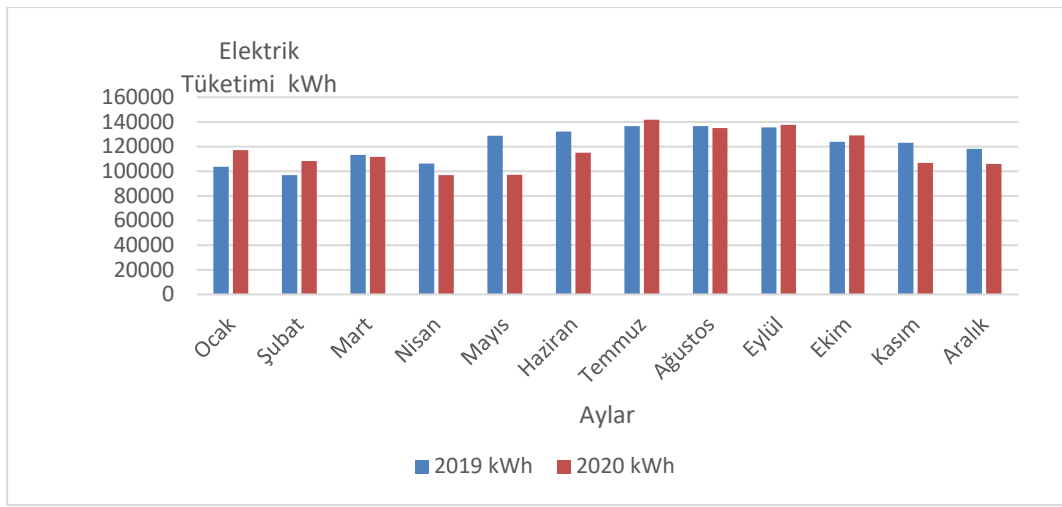
Tekirdağ ili Çerkezköy ilçesinde bulunan fabrikanın ofis binası, çalışanların ofis alanları ve test odalarından oluşmaktadır. Yaklaşık 200 kişinin çalıştığı binada, özellikle mesai saatleri 08.00 – 18.00 arasında elektrik tüketimi daha fazladır. Çizelge 4.1'de 2019 ve 2020 yıllarında binada aylık bazda tüketilen elektrik miktarları gösterilmiştir.

Çizelge 4.1: Ofis binası elektrik tüketim verileri.

Yıl	2019	2020
Birim	kWh	kWh
Ocak	103638	117092
Şubat	96694	108310
Mart	113292	111533
Nisan	106081	96744
Mayıs	128826	97139
Haziran	132056	115020
Temmuz	136603	141758
Ağustos	136551	134996
Eylül	135407	137504
Ekim	123919	129012
Kasım	123043	106771
Aralık	118212	105861
Toplam	1454322	1401740

Binadaki aylık elektrik tüketim verileri incelendiğinde en fazla elektrik tüketiminin Temmuz ayında olduğu görünmektedir. Bu durum yaz aylarında sıcaklıkların artması ile birlikte klima kullanımdaki artıştan meydana gelmektedir. En az elektrik tüketimi ise 2019 yılında Şubat ayında, 2020 yılında ise Mayıs ayında olduğu görünmektedir. Yıllık bazda elektrik tüketimini incelediğimizde 2020 yılında tüketilen elektrik miktarında azalma olduğu göze çarpmaktadır. Bu durum binada, enerji tasarrufu sağlamak için yapılan çalışmalar sonucunda oluşmuştur.

Şekil 4.1’de 2019 ve 2020 yılında aylık bazda tüketilen elektrik miktarları tablo halinde gösterilmiştir.



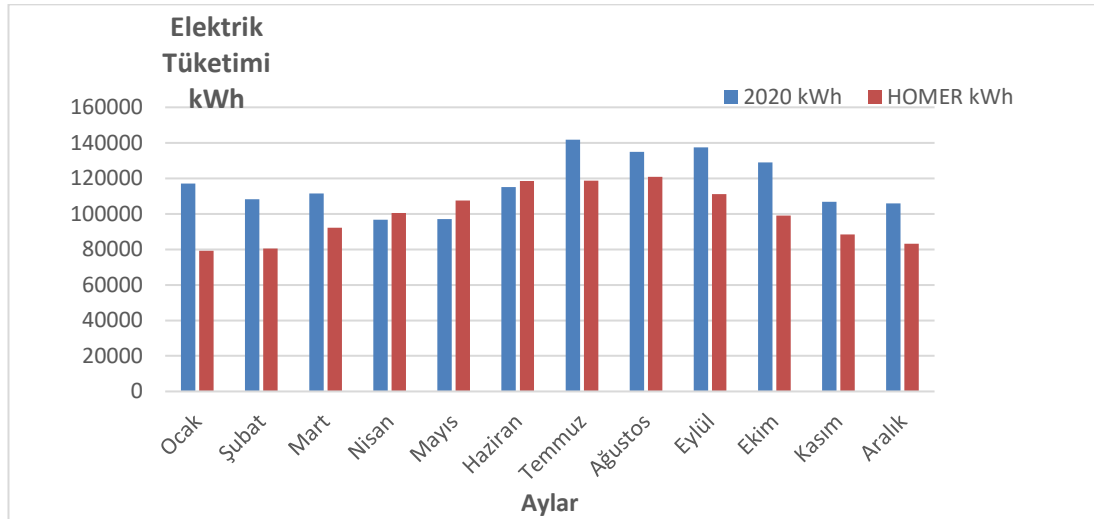
Şekil 4.1: 2019 ve 2020 yılı aylık elektrik tüketimleri.

HOMER yazılımında günlük elektrik tüketim verilerinin saatlik olarak girilmesi istenmektedir. Girilen veriler baz alınarak günlük tüketilen elektrik miktarı belirlenmektedir. Bizim elimizde aylık bazda elektrik tüketim miktarları bulunduğundan dolayı bu veriler dikkate alınarak ortalama günlük tüketilen elektrik miktarı hesaplanmıştır. Bu hesaplamayı yaparken öncelikle hesaplanacak ay için tüketilen elektrik miktarını o ayda bulunan gün sayısına bölerek her ay için ortalama elektrik tüketim miktarları belirlenmiştir. 12 ay için belirlenen ortalama elektrik tüketim miktarlarında ortalaması alınarak yıllık bazda ortalama günlük tüketilen elektrik miktarları hesaplanmıştır. Çizelge 4.2’de her ay için belirlenen günlük ortalama tüketim değerleri gösterilmiştir. Bulunan değerler dikkate alınarak yıllık ortalama günlük bazda elektrik tüketimi 3900 kWh olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.2: Ay bazında günlük elektrik tüketim verileri.

Yıl	2019 Yılı Aylık Bazda Günlük Ortalama Tüketim	2020 Yılı Aylık Bazda Günlük Ortalama Tüketim
Birim	kWh	kWh
Ocak	3343.2	3777.2
Şubat	3453.4	3734.8
Mart	3654.6	3597.8
Nisan	3536.0	3224.8
Mayıs	4155.7	3133.5
Haziran	4401.9	3834.0
Temmuz	4406.5	4572.8
Ağustos	4404.9	4354.7
Eylül	4368.0	4583.5
Ekim	3997.4	4161.7
Kasım	4101.4	3559.0
Aralık	3813.3	3414.9
Ortalama Değer	3969.7	3829.1

HOMER yazılımında yıllık bazda ortalama günlük tüketilen elektrik miktarını 3900 kWh olarak girdiğimizde, yazılım aylık tüketilen elektrik miktarlarını hesaplamaktadır. Şekil 4.2’de HOMER yazılımının belirlediği aylık tüketim verileri ile 2020 yılının gerçek aylık tüketim verileri gösterilmiştir. Şekli incelediğimizde aylık bazda farkların olduğu görülmektedir. Fakat sistemin uygulanabilirliği açısından baktığımızda oluşan verilerin sistem tasarımı için yeterli olduğu görülmektedir.



Şekil 4.2: 2020 yılı ve HOMER yazılımı aylık elektrik tüketimleri.

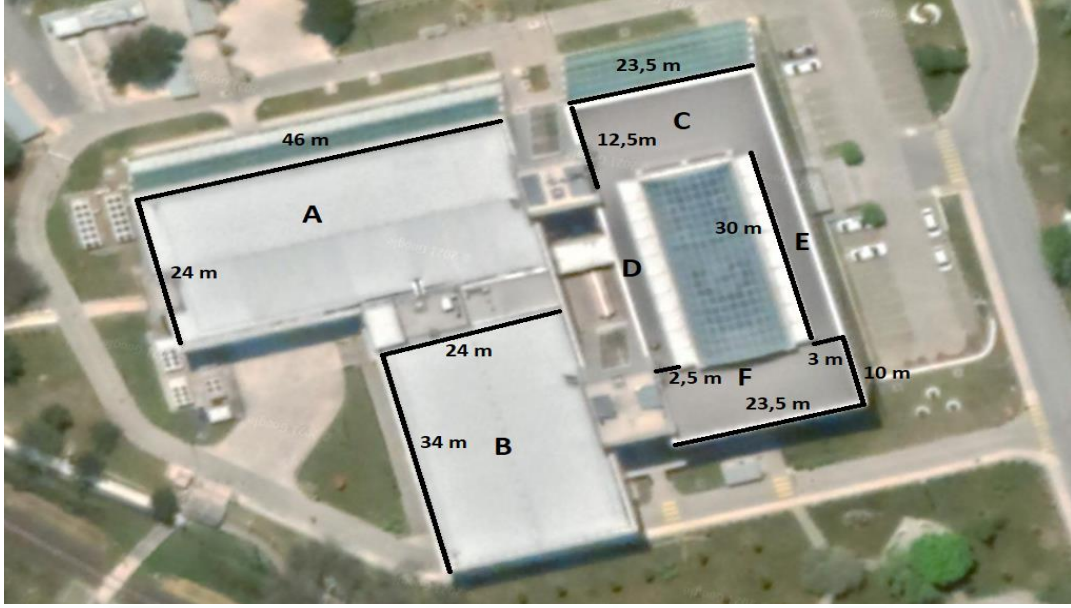
4.2 Ofis Binasının Çatı Alanı

Ofis binasının çatı alanı Şekil 4.3'te gösterilmiştir. Google Earth sisteminden elde edilen görüntüden PV panel uygulanabilir çatı alanı 2613,75 m² olarak hesaplanmıştır. Çatı alanı 6 parçaya bölünüp, her alan için ayrı modül yerleşim hesabı yapılmıştır. Modüllerin yerleşimi yapılırken, konum itibariyle modüllerin güney yönüne bakacak şekilde yerleştirilmesi yapılmıştır. Şekil 4.3'te çatı alanı ve pusula gösterilmiştir. Pusulanın aşağı tarafı kuzeyi, yukarı tarafı da güneyi göstermektedir. Modüller yukarı taraf yani güneye bakacak şekilde yerleştirilmesi planlanmıştır.



Şekil 4.3: Ofis binasının çatı alanı.

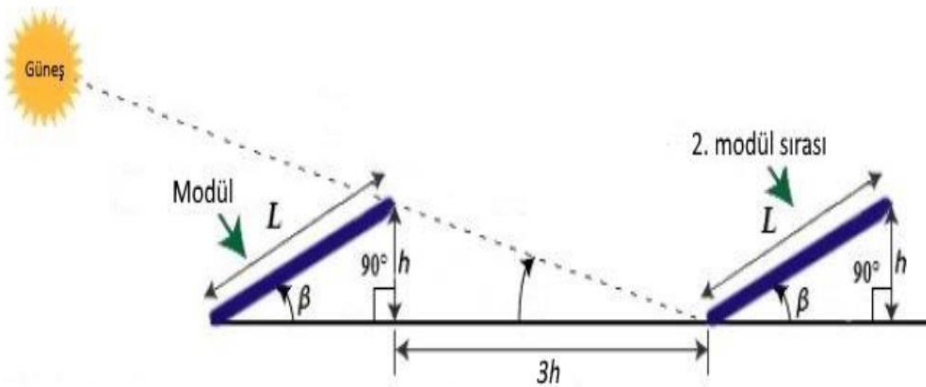
Şekil 4.4'te çatı alanının A,B,C,D,E ve F bölgeleri olarak 6 ayrı bölgeye ayrılmış hali gösterilmiştir. Her bölge için çevrelerinde belirtilen uzunluklar dikkate alınarak alan hesabı yapılmış olup, uzunluklar dikkate alınarak modüllerin yerleşimi düşünülmüştür.



Şekil 4.4: Ofis binasının bölgelere ayrılmış çatı alanı.

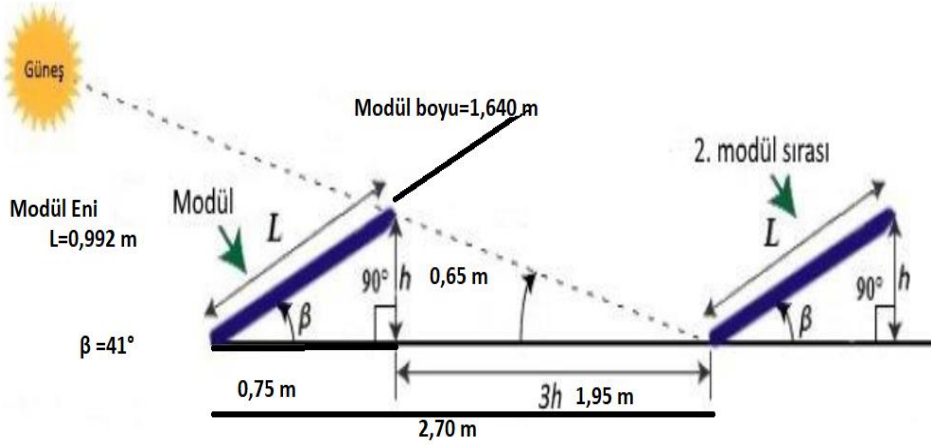
4.3 Modüllerin Çatı Yerleşimi

Türkiye konum olarak kuzey yarım kürede bulunmaktadır. Güneş ışınlarından enerji üretimi için gerekli verimi tam olarak alabilmek için güneş modüllerinin güney cephesi yönüne bakacak şekilde yerleştirilmesi gerekmektedir. Bunun yanında şehrin bulunduğu enlem açısına eşit eğimde olacak şekilde modüller yerleştirilmelidir. Tekirdağ ili için eğim açısı 41° 'dir. Güneş modülleri belli bir eğim açısında sıralı olarak yerleştirilir. Eğim açısı sebebiyle her modül sırası belli bir yükseklikte bulunur.. Bu yükseklikten dolayı her modül sırası kendi arkasındaki sıra için gölgelenmeye sebep olmaktadır. Gölgelemeyi engellemek için de modül yerleşimi Şekil 4.5'teki gibi yapılmaktadır.



Şekil 4.5: Modül yerleşimi [40].

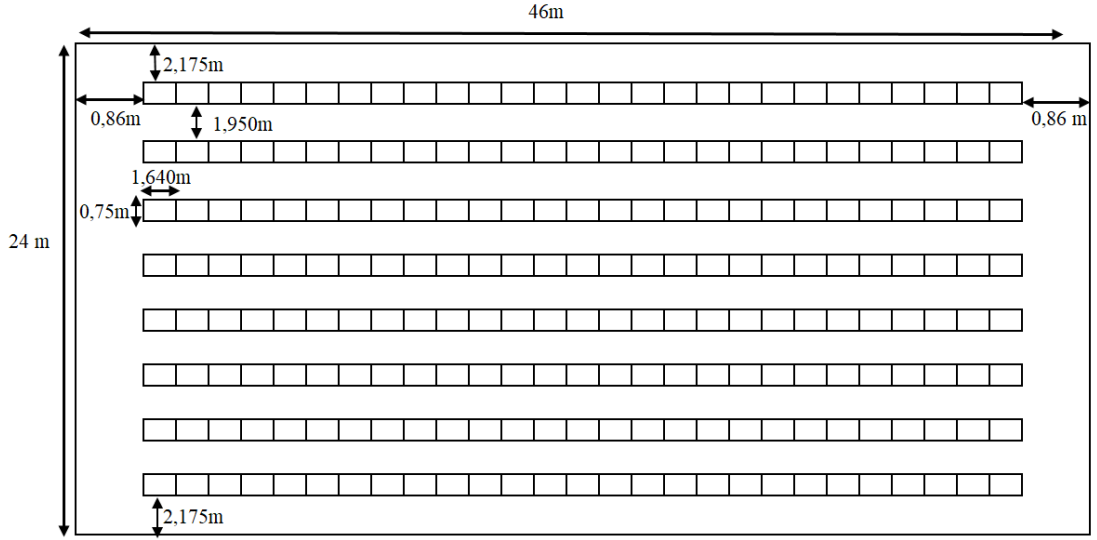
Şekil 4.5'te gösterildiği gibi β eğim açısı ile yerleştirilen modüller, h yüksekliği oluşturmaktadır. Gölgeleme oluşumunun engellenmesi için iki modül sırası arasındaki kalan mesafe, modül yüksekliği h değerinin 3 katı olmalıdır [31,40]. Seçilen modülün boyunun 1,640 m, eninin ise 0,992 m olduğu göz önünde alınarak yerleşim yapılmıştır. 41° eğim açısı dikkate alınarak panellerin devrilme riskini azaltmak adına yatay pozisyonda yerleşim uygun görülmüştür. Yatay pozisyonda yerleşime göre bir modül sırası için gerekli boy mesafesi 2,70 m'dir. Bir sıra içerisinde modüller bitişik olarak montajlanacağı için bir modülün kapladığı en mesafesi ise bir modülün eni kadar yani 0,992 m'dir. Şekil 4.6'da modüllerin yerleşimi için kullanılacak uzunluklar gösterilmiştir. Modüller güney yönüne bakacak şekilde ve arkasındaki modül ile 2,70 m mesafe olacak şekilde yerleştirilmesi düşünülmüştür.



Şekil 4.6: Modül yerleşim mesafeleri [40].

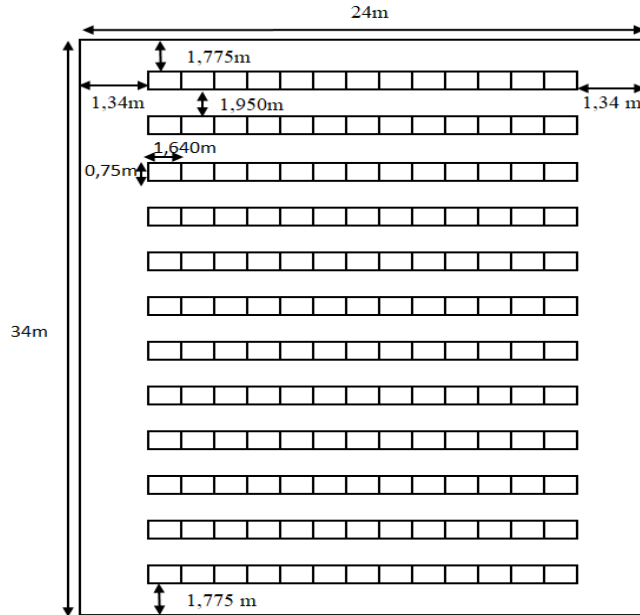
Şekil 4.6'daki uzunluklar dikkate alınarak güneş modülleri belirlenen 6 bölgeye yerleştirilmiştir. Her bölgeye kaç adet modül yerleşeceği belirlenmiştir. Her bir bölgenin yerleşim krokileri aşağıda gösterilmiştir.

Şekil 4.7'de A bölgesinin yerleşim kroki gösterilmiştir. Bu krokiye göre 8 sıra oluşturulmuştur ve her sırada 27 adet modül olacağı düşünülmüştür. Bu şekilde toplam 216 adet modül yerleştirilmiştir. Modüllerin bağlantısında, 27 sıra olacak şekilde düşünülmüştür. Her bir sırada 8 adet modül olacaktır ve bu modüller birbirleriyle seri olarak bağlanacaktır. 27 sıra da birbirine paralel olacak şekilde bağlanacaktır. Her bir sırada bulunacak 8 adet modül birbirlerine paralel olacaktır.



Şekil 4.7: A bölgesinin yerleşim krokisi.

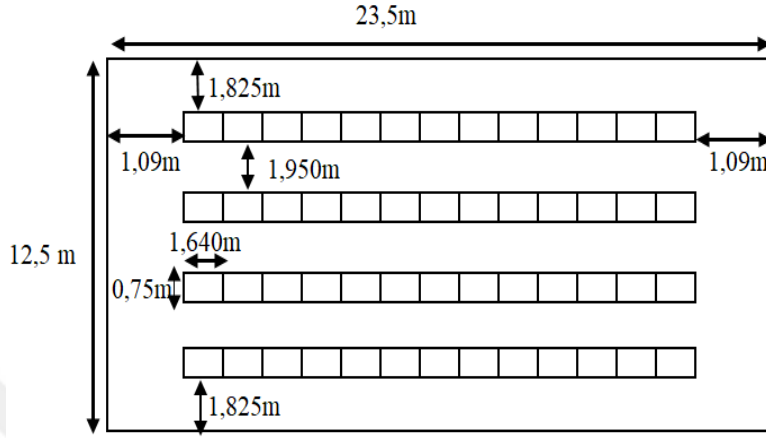
Şekil 4.8’de B bölgesinin yerleşim krokisi gösterilmiştir. Bu krokiye göre 12 sıra oluşturulmuştur ve her sırada 13 adet modül olacağı düşünülmüştür. Bu şekilde toplam 156 adet modül yerleştirilmiştir. Modüllerin bağlantısında, 13 sıra olacağı düşünülmüştür. Her bir sırada bulunan 12 modül birbirleri ile seri bağlanacaktır. 13 sırada birbirlerine paralel bağlanacak şekilde düşünülmüştür. Böylece her bir sırada bulunan 12 modül birbirlerine paralel olarak bağlanmış olacaktır.



Şekil 4.8: B bölgesinin yerleşim krokisi.

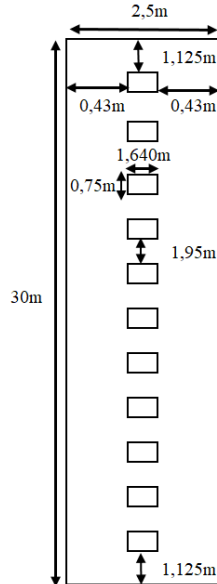
Şekil 4.9’da C bölgesinin yerleşim krokisi gösterilmiştir. Bu krokiye göre 4 sıra oluşturulmuştur ve her sırada 13 adet modül olacağı düşünülmüştür. Bu şekilde toplam

52 adet modül yerleştirilmiştir. Modüllerin bağlantısında, 13 sıra olacağı düşünülmüştür. Her bir sırada bulunacak 4 modül birbirleri ile seri bağlanacaktır. 13 sırada birbirlerine paralel bağlanacak şekilde düşünülmüştür. Böylece her bir sırada bulunan 4 modül birbirlerine paralel olarak bağlanmış olacaktır.



Şekil 4.9: C bölgesinin yerleşim krokisi.

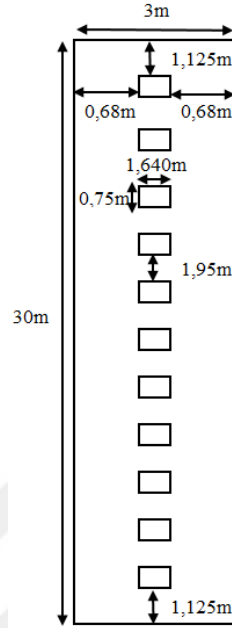
Şekil 4.10'da D bölgesinin yerleşim krokisi gösterilmiştir. Bu krokiye göre 11 sıra oluşturulmuş ve her sırada 1 adet modül olacağı düşünülmüştür. Bu şekilde toplam 11 adet modül yerleştirilmiştir. Modüllerin bağlantısında, 1 sıra olacağı düşünülmüştür. Bu sırada bulunacak 11 adet modül de birbirlerine paralel olarak bağlanmış olacaktır.



Şekil 4.10: D bölgesinin yerleşim krokisi.

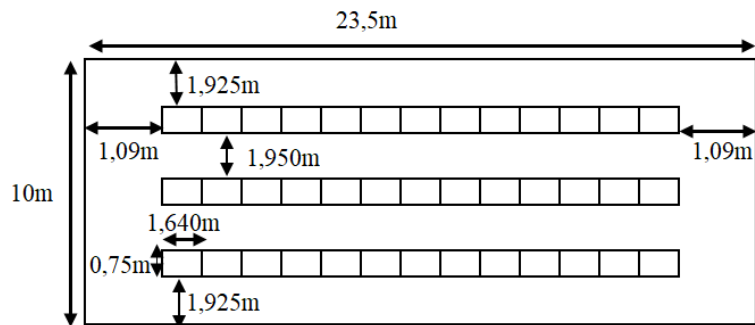
Şekil 4.11'de E bölgesinin yerleşim krokisi gösterilmiştir. Bu krokiye göre 11 sıra oluşturulmuş ve her sırada 1 adet modül olacağı düşünülmüştür. Bu şekilde toplam 11

adet modül yerleştirilmiştir. Modüllerin bağlantısında 1 sıra olacağı düşünülmüştür. Bu sırada bulunacak 11 adet modül de birbirlerine paralel olarak bağlanmış olacaktır.



Şekil 4.11: E bölgesinin yerleşim krokisi.

Şekil 4.12’de F bölgesinin yerleşim krokisi gösterilmiştir. Bu krokiye göre 3 sıra oluşturulmuş ve her sırada 13 adet modül olacağı düşünülmüştür. Bu şekilde toplam 39 adet modül yerleştirilmiştir. Modüllerin bağlantısında 13 sıra olacağı düşünülmüştür. Her bir sırada bulunacak 3 modül birbirleri ile seri bağlanacaktır. 13 sırada birbirlerine paralel bağlanacak şekilde düşünülmüştür. Böylece her bir sırada bulunan 3 modül birbirlerine paralel olarak bağlanmış olacaktır.



Şekil 4.12: F bölgesinin yerleşim krokisi.

Çizelge 4.3’te kullanılan güneş modülünün parametreleri verilmiştir . Çizelge 4.4’te her bir bölgedeki modül sayıları ve bu modüllerin oluşturduğu kurulu güçler gösterilmiştir. 2613,75 m² kullanılabilir alanda toplam 485 adet modül

yerleşimi yapılacağı düşünülmüş, bu modüllerden 121,25 kW'lık kurulu güç oluşabileceği hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3: Güneş modülü parametreleri.

Güneş Modülü Parametreleri	
Hücre	6" polikristal hücreler
Hücre boyutları	156 x 156 (mm)
Hücre sayısı	60 adet (10x6)
Uzunluk	1640 ± 1 [mm]
Genişlik	992 ± 1 [mm]
Kalınlık	40[mm]
Nominal kütle	18[kg]
Açık devre voltajı [Uoc]	38,7 V
Kısa devre akımı [Isc]	8,7 A
Maksimum güç voltajı [Umpp]	30,5 V
Maksimum güç akımı [Impp]	8,2 A
Modül verimi	15,40 %

Çizelge 4.4: Bölgelerdeki modül sayıları ve kurulu güç miktarları.

Bölge	Kullanılabilir Alan	Sıra Sayısı	Bir Sıradaki Modül Sayısı	Toplam Modül Sayısı	Kurulu Güç
Birim	m ²	Adet	Adet	Adet	kW
A	1104	8	27	216	54
B	816	12	13	156	39
C	293.75	4	13	52	13
D	75	11	1	11	2.75
E	90	11	1	11	2.75
F	235	3	13	39	9.75
Toplam	2613.75	-	-	485	121.25

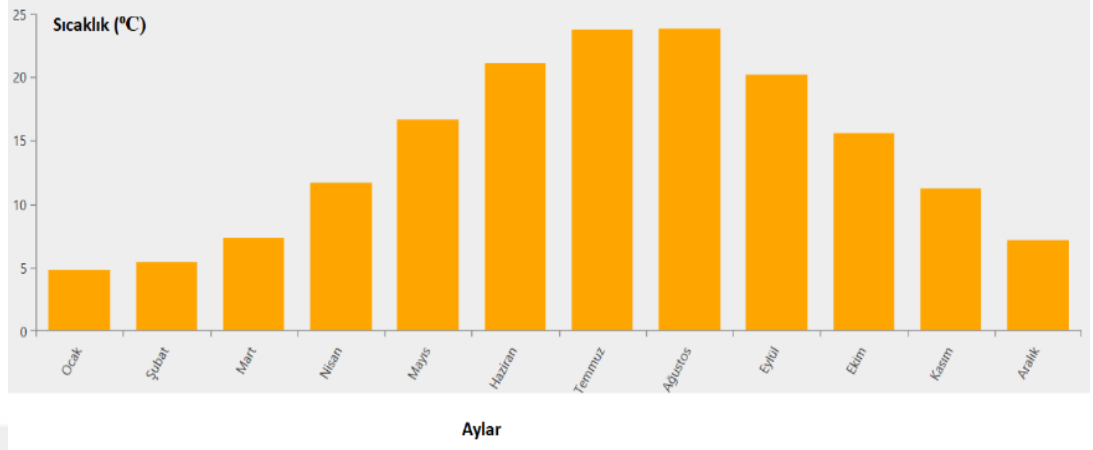
4.4 Üretilcek PV Panel Gücü Tahmini

Sistem tasarımı için 250 W gücünde güneş modülleri kullanılmıştır. Sistem için hesaplanan toplam modül sayısı 485'tir. Kullanılan güneş modülünün gücü dikkate alınarak $485 \times 250 = 121,250$ kW'lık bir güç elde edileceği öngörülmüştür.

4.5 İklim Verileri

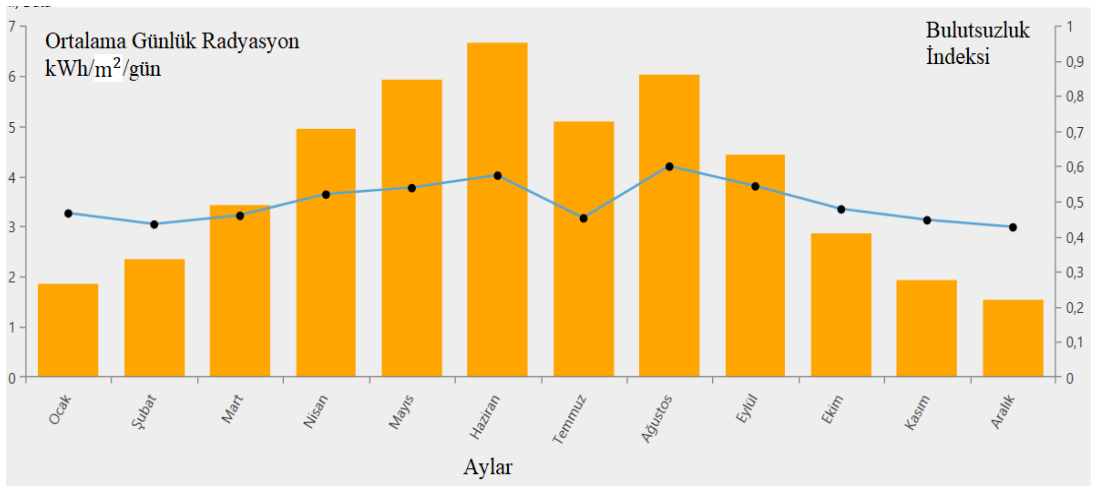
Tekirdağ ili Çerkezköy ilçesinin sıcaklık verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün sitesindeki verilerden alınmıştır [32].

Ölçüm periyodu 1939 ile 2020 yılları arasını kapsamaktadır. Bu yıllar içinde ölçülen aylık sıcaklık değerlerinin ortalaması alınmıştır. Ortalama sıcaklık $14,1^{\circ}\text{C}$ olarak belirlenmiştir. Şekil 4.13’de aylık ortalama sıcaklık değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.13 : Aylık ortalama sıcaklık değerleri [32].

Tekirdağ ili Çerkezköy ilçesinin yıllık ortalama ısıtım verisi Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nün sitesindeki veriler ve diğer kaynaklar alınmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğünde’ki veriler, ölçüm periyodu 2004 ile 2018 yılları arasını kapsamaktadır. Ölçülen sonuçlara göre yıl bazında ortalama günlük ısıtım verisi $3,92 \text{ kWh/m}^2/\text{gün}$ olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.14’de ay bazında günlük ortalama ısıtım ve bulutsuzluk indeksi verileri grafik halinde verilmiştir. Çizelge 4.5’te grafikte bulunan sayısal veriler gösterilmiştir [33].

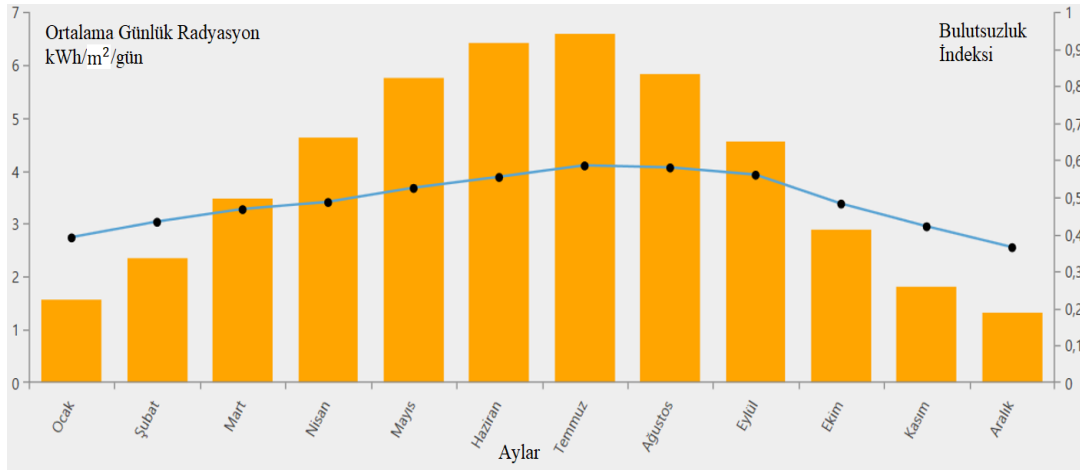


Şekil 4.14: Meteoroloji Genel Müdürlüğü ay bazında günlük ortalama ısıtım verisi ve bulutsuzluk indeksi [33].

Çizelge 4.5: Meteoroloji Genel Müdürlüğü ay bazında günlük ortalama ışıınım verisi ve bulutsuzluk indeksi sayısal verileri [33].

Aylar	Bulutsuzluk İndeksi	Günlük Radyasyon kWh/m ² /gün
Ocak	0.466	1.872
Şubat	0.434	2.359
Mart	0.459	3.423
Nisan	0.519	4.947
Mayıs	0.538	5.913
Haziran	0.573	6.647
Temmuz	0.452	5.094
Ağustos	0.599	6.019
Eylül	0.543	4.422
Ekim	0.477	2.874
Kasım	0.446	1.932
Aralık	0.426	1.533

Ortalama ışıınım verisinde ikinci kaynak olarak HOMER yazılımında hazır bulunan NASA verisi kullanılmıştır. Bu veri Haziran 1983 ile Temmuz 2005 yılları arasını kapsamaktadır. Bu veriye göre yıl bazında ortalama günlük ışıınım verisi 3,93 kWh/m²/gün olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.9’da ay bazında günlük ortalama ışıınım ve bulutsuzluk indeksi verileri grafik halinde verilmiştir. Çizelge 4.6’ta grafikte bulunan sayısal veriler gösterilmiştir.

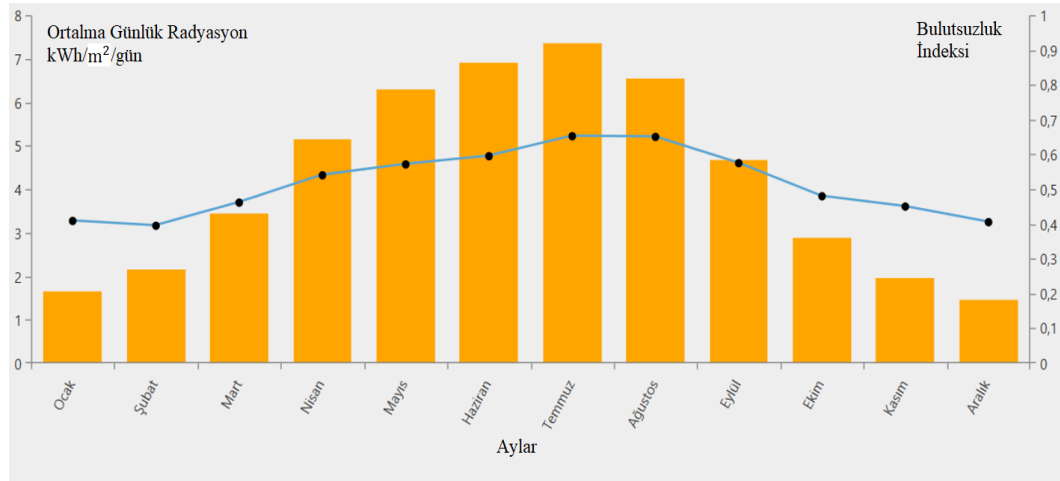


Şekil 4.15: NASA ay bazında günlük ortalama ışıınım verisi ve bulutsuzluk indeksi.

Çizelge 4.6: NASA ay bazında günlük ortalama ışınım verisi ve bulutsuzluk indeksi sayısal verileri.

Aylar	Bulutsuzluk İndeksi	Günlük Radyasyon kWh/m ² /gün
Ocak	0.391	1.57
Şubat	0.433	2.35
Mart	0.467	3.48
Nisan	0.486	4.63
Mayıs	0.524	5.76
Haziran	0.554	6.42
Temmuz	0.585	6.59
Ağustos	0.579	5.82
Eylül	0.56	4.56
Ekim	0.482	2.9
Kasım	0.421	1.82
Aralık	0.364	1.31

Ortalama ışınım verisinde üçüncü kaynak olarak PVGIS veritabanında hazır bulunan veri kullanılmıştır. Bu veri 2005 ile 2016 yılları arasını kapsamaktadır. Bu veriye göre yıl bazında ortalama günlük ışınım verisi 4,20 kWh/m²/gün olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.10’da ay bazında günlük ortalama ışınım ve bulutsuzluk indeksi verileri grafik halinde verilmiştir. Çizelge 4.7’de grafikte bulunan sayısal veriler gösterilmiştir.



Şekil 4.16: PVGIS ay bazında günlük ortalama ışınım verisi ve bulutsuzluk indeksi [44].

Çizelge 4.7: PVGIS ay bazında günlük ortalama ışıınım verisi ve bulutsuzluk indeksi sayısal verileri [44].

Aylar	Bulutsuzluk İndeksi	Günlük Radyasyon kWh/m ² /gün
Ocak	0.409	1.644
Şubat	0.395	2.146
Mart	0.462	3.442
Nisan	0.54	5.146
Mayıs	0.571	6.281
Haziran	0.595	6.901
Temmuz	0.652	7.355
Ağustos	0.65	6.536
Eylül	0.575	4.685
Ekim	0.48	2.888
Kasım	0.45	1.949
Aralık	0.406	1.458

4.6 Fotovoltaik Panel Seçimi

Fotovoltaik panel olarak HOMER veri tabanında bulunan Solar Energy SE 250/60P 250 W'lık polikristal güneş paneli seçilmiştir. Çizelge 4.7'de panele ilişkin veriler verilmiştir. Panel maliyet hesapları belirlenirken aşağıdaki çalışmalardan yararlanılmıştır.

Shilpa ve diğ (2019) yaptıkları çalışmada 1 kW'lık güneş panelinin ilk yatırım maliyetini 55000 Hindistan Rupisi olarak almışlardır. Değişim maliyetini 10000 Hindistan Rupisi ve bakım ve işletme maliyetini de yıllık 1000 Hindistan Rupisi olarak belirlemişlerdir. Çalışmanın 2019 yılında yapılmasından dolayı 2019 yılı dolar kuru baz alınarak hesaplama yaptığımızda, 1 kW'lık PV panelin ilk yatırım maliyetinin 770 \$ olduğu görülmektedir. 1 kW'lık PV panelin değişim maliyetinin 140 \$ olduğu, bakım ve işletme maliyetinin yıllık 14 \$ olduğu görülmektedir [1].

Duman ve diğ (2020) yaptıkları çalışmada Polikristal PV panelin ilk yatırım maliyetini 1,15 \$/W olarak almışlardır. Bakım ve işletme maliyetini de yıllık 23 \$/W olarak almışlardır [3].

IRENA Renewable Power Generation Cost in 2020 kataloğunda, 2020 yılı içinde en çok satılan modüllerin yaklaşık 0,27 \$/W fiyatı ile satıldığı yer almaktadır. En ucuz

modüllerin 0,19 \$/W ile satıldığı, yüksek verimli modüllerin ise 0,38 \$/W ile 0,40 \$/W arasında yer aldığı belirtilmiştir. 2020 yılında PV panellerin ortalama toplam kurulum maliyeti 883 \$/kW olarak yer almaktadır. 2020 yılında PV panel kurulum maliyetlerinde en uygun ortalama fiyat 596 \$/kW ile Hindistan’da olurken, en yüksek fiyat 1889 \$/kW ile Rusya’da yer almaktadır. Avrupa’da işletme ve bakım maliyetlerinin yıllık olarak 10 \$/kW düzeyinde olduğu yer almaktadır [45].

He ve diğ. (2017) yaptıkları çalışmada kullandıkları PV panellerin ilk yatırım maliyetini 3500 \$/kW, değiştirme maliyetini 3000 \$/kW ve işletme ve bakım maliyetini 10 \$/kW olarak almışlardır [9].

Diab ve diğ. (2015) yaptıkları çalışmada kullandıkları PV panellerin ilk yatırım maliyetini 3000 \$/kW, değiştirme maliyetini 2250 \$/kW ve işletme ve bakım maliyetini 10 \$/kW olarak almışlardır [10].

HOMER programının veri tabanından seçilen 250 W gücündeki PV panelin yatırım, değişim, işletme ve bakım maliyeti değerleri yapılan araştırmalar sonucunda Çizelge 4.8’ de belirtilmiştir [46].

Çizelge 4.8: Fotovoltaik panel verileri.

Solar Energy SE 250/60P	
Yatırım Maliyeti (\$)	67,5
Değişim Maliyeti (\$)	54
İşletme ve Bakım Maliyeti (\$)	10
Verim (%)	15,4
Sistem Ömrü (yıl)	25

4.7 Dönüştürücü Seçimi

Dönüştürücü olarak HOMER veri tabanından CHINT POWER CPS SC100KT modeli seçilmiştir. Dönüştürücü için veriler Çizelge 4.9’da verilmiştir. Dönüştürücü maliyet hesapları belirlenirken aşağıdaki çalışmalardan yararlanılmıştır.

Shilpa ve diğ (2019) yaptıkları çalışmada 1 kW’lık dönüştürücünün fiyatını 20000 Hindistan Rupisi olarak almışlardır. Değişim maliyetini 5000 Hindistan Rupisi olarak belirlemişlerdir. Çalışmanın 2019 yılında yapılmasından dolayı 2019 yılı dolar kuru baz alınarak hesaplama yaptığımızda, 1 kW’lık dönüştürücünün yatırım maliyetinin 280\$, değişim maliyetinin de 70 \$ olduğu hesaplanmıştır [1].

Duman ve diğ (2020) yaptıkları çalışmada dönüştürücü fiyatını 0,15 \$/W olarak almışlardır. Bakım ve işletme maliyetini de yıllık 3 \$/W olarak belirlemişlerdir [3].

He ve diğ. (2017) yaptıkları çalışmada kullandıkları dönüştürücünün ilk yatırım maliyetini 350 \$/kW ve değiştirme maliyetini 350 \$/kW olarak almışlardır. [9]

Diab ve diğ. (2015) yaptıkları çalışmada kullandıkları dönüştürücünün ilk yatırım maliyetini 800 \$/kW ve değiştirme maliyetini 600 \$/kW olarak almışlardır. İşletme ve bakım maliyetini 5 \$/kW olarak almışlardır [10].

Dönüştürücü gücü seçilirken yükün çekebileceği maksimum güç dikkate alınarak seçilir. Bu çalışmada PV panellerden elde edilecek enerji, talep edilen yükün tamamını karşılayamadığından dolayı dönüştürücü gücü PV panellerin üreteceği 121,25 kW'lık güce yakın bir değer olan 100 kW olarak seçilmiştir. Böylece PV panellerden üretilen enerji aksama yaşanmadan kullanılabilinecektir. Bu çalışmada dönüştürücü olarak evirici kullanılmıştır. Eviriciler de şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız eviriciler olarak ayrılırlar. Şebekeye bağlı eviriciler de kendi içinde merkezi, dizi ve mikro eviriciler olarak 3'e ayrılmaktadır. Eviricilerin maliyet fiyatı da kullanılan evirici çeşidine göre değişmektedir. Yukarıda verilen çalışmalardaki dönüştürü fiyatındaki değişimlerin farklı olmasının sebeplerinden biri de budur. Bu çalışmada şebekeye bağlı merkezi evirici kullanılmıştır. Bu veriler dikkate alınarak aşağıdaki maliyet değerleri baz alınmıştır. [47].

Seçilen dönüştürünün parametre verileri Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.9: Dönüştürücü verileri.

CHINT POWER CPS SC100KT	
Yatırım Maliyeti (\$)	8100
Değişim Maliyeti (\$)	8100
İşletme ve Bakım Maliyeti (\$)	15
Verim (%)	97,6
Sistem Ömrü (yıl)	15

Çizelge 4.10: Dönüştürücü parametreleri.

Dönüştürücü Parametreleri	
Nominal DC giriş gücü	103kW
Maksimum DC giriş gücü	110kW
Maksimum DC giriş voltajı	880Vdc
Çalışma DC Giriş voltaj aralığı	430-820Vdc
Başlangıç DC giriş voltajı / gücü	470V/700W
Nominal DC giriş voltajı	600V
Maksimum giriş akımı	250A
Nominal AC çıkış gücü	100kW
Maksimum AC çıkış gücü	100kW
Nominal çıkış voltajı	400Vac
Çıkış voltaj aralığı	320-460Vac
Maksimum AC çıkış akımı	152A
Nominal çıkış frekansı	50Hz/60Hz

4.8 Ekonomik Veriler

HOMER, sistem tasarımını ekonomik verileri dikkate alarak yapmaktadır. Girilen ekonomik veriler simülasyonun doğruluğu açısından önem taşımaktadır. Ekonomik veriler olarak; faiz oranı, enflasyon, reel faiz oranı ve proje ömrü verileri gereklidir. Proje ömrü 25 yıl olarak alınmıştır. Bu süre fotovoltaik panelin kullanım ömrü olarak belirlenmiştir. Cumhuriyet Merkez Bankası son 10 yıl verileri dikkate alınarak faiz oranı %8, enflasyon oranı %10 olarak alınmıştır. Reel faiz oranı %-1,82 olarak bulunmuştur.

Dolar kurundaki değişimler dikkate alınarak ve son 1 yıldaki veriler değerlendirilerek dolar kuru 7,5 TL alınmıştır.

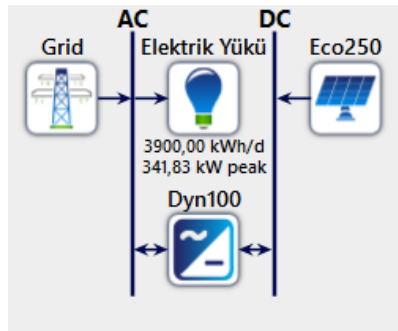
Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu'nun açıkladığı 1 Nisan 2021 tarihinden itibaren geçerli elektrik tarifesine göre tek zamanlı elektrik alış fiyatı 79,7535 kr/kWh olarak , lisansız fotovoltaik sistemler için elektrik satış fiyatı 55,1544 kr/kWh olarak verilmiştir. Bu veriler dikkate alınarak elektrik alış fiyatı 0,106 \$, elektrik satış fiyatı 0,074 \$ olarak alınmıştır. Bu veriler Çizelge 4.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.11: Ekonomik veriler.

Ekonomik Veriler	
Faiz Oranı (%)	8
Enflasyon Oranı (%)	10
Reel Faiz Oranı (%)	-1.82
Dolar (TL)	7.5
Elektrik Alış Fiyatı (\$)	0.106
Elektrik Satış Fiyatı (\$)	0.074

4.9 Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Sistem Tasarımı

Tekirdağ ili Çerkezköy ilçesinde bulunan bir fabrikanın ofislerinin bulunduğu binanın çatısına şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem tasarımı yapılmıştır. Farklı kaynaklardan alınan 3 farklı ışıınım verisi kullanılarak 3 farklı simülasyon sonucu bulunmuştur. Çatı alanı hesaplanarak çatı alanına yerleşecek güneş modülü sayısı hesaplanmıştır. 485 adet güneş modülünün yerleşebileceği hesaplanmış ve PV panelden 121,250 kW'lık güç sağlanacağı öngörülmüştür. Proje ömrü 25 yıl olarak düşünülmüştür. Günlük tüketilen elektrik miktarı 3900 kWh/gün olarak belirlenmiştir. HOMER yazılımı tarafından puant yük 341,83 kWh olarak hesaplanmıştır. HOMER yazılımı ile oluşturulan sistem Şekil 4.17'de gösterilmiştir.



Şekil 4.17: Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem.

4.9.1 Meteoroloji Genel Müdürlüğü ışıınım verisi kullanılarak yapılan şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem tasarımı

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün sitesinde mevcut olan yıl bazında ortalama günlük ışıınım verisi 3,92 kWh/m²/gün olarak hesaplanmıştır. Bu veri dikkate alınarak simülasyon oluşturulmuştur. Simülasyon proje ömrü 25 yıl olacak şekilde düşünülmüş ve yapılmıştır.

Çizelge 4.12’de simülasyon verileri gösterilmiştir. PV panel gücü, yerleştirilmesi planlanan 485 adet modülün oluşturduğu 121,25 kW’lık güçten gelmektedir. HOMER yazılımı, simülasyon sonucu birden çok analiz sonucu vermektedir. Bu analiz sonuçları incelendiğinde 85,5 kW’lık dönüştürücü güçlü sonucun, ilk yatırım maliyeti ve LCOE değeri açısından en uygun seçenek olduğuna karar verilmiştir. Buradan da sistemde dönüştürücünün 85,5 kW’lık güç kullandığını 100kW’lık olarak seçilen dönüştürücünün toplam gücünün tamamamını kullanmadığını görmekteyiz.

Çizelge 4.13’te dönüştürücünün simülasyon sonucu oluşan verileri gösterilmiştir. Bu çizelgeyi incelediğimizde kullanılan 85,5 kW’lık gücün maksimum çıkış gücüne karşılık geldiğini görmekteyiz. HOMER yazılımı kullanılan maksimum çıkış gücünü kapasite olarak kabul etmektedir. Ortalama çıkış gücü 17,3 kW olarak hesaplanmıştır. Kapasite faktörü ise ortalama çıkış gücünün kapasiteye oranıdır. Bu hesaplama yapıldığında %20,2 değerini bulmaktayız. Dönüştürücü çıkış gücünün ve veriminin hesaplamaları Bölüm 3’de yer alan 3.2.10.Dönüştürücü verimi ve güç hesabı kısmında yer verilmiştir.

Çizelgede belirtilen maliyetler Bölüm 3 de yer alan 3.2. HOMER yazılımında ekonomik modelleme kısmında yer alan maliyet hesaplamaları dikkate alınarak HOMER yazılımı tarafından oluşturulmuştur.

Oluşan sonuçları incelediğimizde net şimdiki maliyet değerinin ilk yatırım maliyet değerine göre yüksek olduğunu görmekteyiz. Bu durum bize şebekeden elektrik alımının fazla olduğunu göstermektedir. Şebekeden elektrik alımının fazla oluşundan dolayı yenilenebilir enerji kullanımının düşük olduğu gözükmemektedir.

Çizelge 4.12: Meteoroloji Genel Müdürlüğü ışıınım verisine göre simülasyon sonuçları.

PV Güç	Dönüştürücü Gücü	LCOE	Net Şimdiki Maliyet	İşletme Maliyeti	İlk Yatırım Maliyeti	Yenilenebilir Enerji Kullanımı
kW	kW	\$/kWh	\$	\$/yıl	\$	%
121	85,5	0,100	4,56 M	137,869	142,625	10,6

Çizelge 4.13: Dönüştürücünün HOMER yazılımındaki simülasyon sonuçları.

Dönüştürücünün Simülasyon Çıktıları	
Kapasite	85,5 kW
Ortalama çıkış gücü	17,3 kW
Minimum çıkış gücü	0 kW
Maksimum çıkış gücü	85,5 kW
Kapasite faktörü	%20,2

Çizelge 4.14’de maliyet analizi gösterilmiştir. Maliyet analizi çizelgesi, sistemin toplam çalışma süresi içerisinde harcanan maliyetlerini göstermektedir. Toplam çalışma süresi bu çalışma için 25 yıl olarak belirlenmiştir. Çizelgeyi incelediğimizde PV panelde ilk yatırım maliyeti değeri 121,250.00 \$ olarak görülmektedir. Dönüştürücüde bu değer 21,375.00 \$ olarak bulunmuştur. Dönüştürücü ömrü 15 yıl olarak girildiğinden dolayı 15 yılın sonunda dönüştürücü değiştirilmiş ve 28,147.052 \$ değişim maliyeti oluşmuştur. Kullanılmayacak olan dönüştürücü satılarak hurda edilmiş ve buradan 11,272.19 \$ bir kazanç sağlanmıştır. PV panellerin ömrü 25 yıl olarak girildiğinden ve sistem ömründe 25 yıl olmasından dolayı PV panel değişim maliyeti oluşmamıştır. Sistem her yıl düzenli bakım gerektirmektedir. PV panel ve dönüştürücü için girilen işletme ve bakım maliyeti değerleri ile PV panel için 38,816.20 \$, dönüştürücü için de 41,057.13 \$ bir maliyet oluşmuştur. PV panel talep edilen yükü karşılamadığı zaman şebekeden elektrik satın alınarak yük karşılanmaktadır. Çizelgeye baktığımızda bu değer 4,316,900.98 \$ olduğunu görmekteyiz. Bu değer çizelgede en yüksek maliyeti oluşturmaktadır. Bunun sebebi çatı alanına kurulan PV panellerin talep edilen yükü karşılamada yetersiz oluşu ve talep edilen yükün büyük bir kısmının şebeken sağlanmasından kaynaklanmaktadır. 25 yıllık proje ömrü sonunda 4,556,274.64 \$ maliyet oluştuğu görülmektedir

Çizelge 4.14: Meteoroloji Genel Müdürlüğü ışıınım verisine göre maliyet analizi sonuçları.

Sistem Ekipmanları	İlk Yatırım Maliyeti	Değişim Maliyeti	İşletme & Bakım Maliyeti	Şebekeden Alınan Elektrik Enerjisi Maliyeti	Hurda Maliyeti	Toplam Maliyet
PV Panel	\$121.250,00	\$0,00	\$38,816.20	\$0,00	\$0,00	\$160,066.20
Şebeke	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$4,316,900.98	\$0,00	\$4,316,900.98
Dönüştürücü	\$21.375,00	\$28,142.52	\$41,057.13	\$0,00	\$-11,272.19	\$79,307.46
Sistem	\$142.625,00	\$28,142.52	\$79,873.33	\$4,316,900.98	\$-11,272.19	\$4,556,274.84

4.9.2 NASA ışıınım verisi kullanılarak yapılan şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem tasarımı

HOMER yazılımı veritabanında bulunan NASA'nın yıl bazında ortalama günlük ışıınım verisi 3,93 kWh/m²/gün olarak hesaplanmıştır. Bu veri dikkate alınarak simülasyon oluşturulmuştur. Simülasyon proje ömrü 25 yıl olacak şekilde düşünülerek yapılmıştır. Çizelge 4.15'te simülasyon verileri gösterilmiştir. Simülasyon sonuçlarına baktığımızda Meteoroloji Genel Müdürlüğü ışıınım verisi sonuçları ile benzer sonuçların oluştuğu görülmektedir. PV panel ve dönüştürücü gücünde aynı sonuçların alındığı, maliyetlerde ise işletme maliyetinde farkın olduğu görülmektedir. Bu farkın nedeni, HOMER yazılımının simülasyon sonuçlarında, şebekeden alınan elektrik enerjisi maliyetinin işletme maliyetinin içinde gösterilmesinden kaynaklanmaktadır. Yenilenebilir enerji kullanım oranlarını incelediğimizde; Meteoroloji Genel Müdürlüğü yıl bazında ortalama günlük ışıınım verisini 3,92 kWh/m²/gün olarak aldığımızda %10,6, NASA yıl bazında ortalama günlük ışıınım verisini 3,93 kWh/m²/gün olarak aldığımızda %10,5 olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.15: NASA ışıınım verisine göre simülasyon sonuçları.

PV Güç	Dönüştürücü Gücü	LCOE	Net Şimdiki Maliyet	İşletme Maliyeti	İlk Yatırım Maliyeti	Yenilenebilir Enerji Kullanımı
kW	kW	\$/kWh	\$	\$/yıl	\$	%
121	85,5	0,100	4,56 M	138,123	142,625	10,6

Çizelge 4.16’da maliyet analizi gösterilmiştir. Çizelge sonuçlarını incelediğimizde, Meteoroloji Genel Müdürlüğü ışıınım verisine göre oluşan sonuçlar ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Tek farklı sonucun şebekeden alınan elektrik enerjisi maliyetinden olduğunu görmekteyiz. Meteoroloji Genel Müdürlüğü yıl bazında ortalama günlük ışıınım verisini 3,92 kWh/m²/gün olarak aldığımızda şebekeden alınan elektrik enerjisi maliyetini 4,316,900.98 \$, NASA yıl bazında ortalama günlük ışıınım verisini 3,93 kWh/m²/gün olarak aldığımızda şebekeden alınan elektrik enerjisi maliyetini 4,325,028.74 \$ olarak hesaplandığını görmekteyiz. Buradan ışıınım verisindeki 0,01 kWh/m²/gün’lük farkın şebekeden alınan elektrik enerjisi maliyetinde 8,127.76 \$ fark oluşturduğu karşımıza çıkmaktadır.

Çizelge 4.16: NASA ışıınım verisine göre maliyet analizi sonuçları.

Sistem Ekipmanları	İlk Yatırım Maliyeti	Değişim Maliyeti	İşletme & Bakım Maliyeti	Şebekeden Alınan Elektrik Enerjisi Maliyeti	Hurda Maliyeti	Toplam Maliyet
PV Panel	\$121.250,00	\$0,00	\$38,816.20	\$0,00	\$0,00	\$160,066.20
Şebeke	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$4,325,028.74	\$0,00	\$4,325,028.74
Dönüştürücü	\$21.375,00	\$28,142.52	\$41,057.13	\$0,00	\$-11,272.19	\$79,307.46
Sistem	\$142.625,00	\$28,142.52	\$79,873.33	\$4,325,028.74	\$-11,272.19	\$4,564,402.40

4.9.3 PVGIS ışıınım verisi kullanılarak yapılan şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem tasarımı

PVGIS veritabanında bulunan yıl bazında ortalama günlük ışıınım verisi 4,20 kWh/m²/gün olarak hesaplanmıştır. Bu veri dikkate alınarak simülasyon oluşturulmuştur. Simülasyon, proje ömrü 25 yıl olacak şekilde düşünülerek yapılmıştır. Çizelge 4.17’de simülasyon verilerini incelediğimizde Meteoroloji Genel Müdürlüğü ve NASA ışıınım verilerine göre farklı sonuçların olduğu görülmektedir.

PV panel ve dönüştürücü güçlerinin aynı olduğu, maliyetlerde ise farkların olduğu görülmektedir. Bu farkın ışınlam verisindeki farktan kaynaklandığı görülmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü yıl bazında ortalama günlük ışınlam verisini 3,92 kWh/m²/gün, NASA yıl bazında ortalama günlük ışınlam verisini 3,93 kWh/m²/gün olarak almıştı. PVGIS ışınlam verisi; Meteoroloji Genel Müdürlüğü ışınlam verisine göre 0.28 kWh/m²/gün'lük, NASA ışınlam verisine göre 0.27 kWh/m²/gün'lük fark oluşturduğu gözükmemektedir. Bu farktan dolayı, LCOE değerlerinde 0,0005 \$/kWh, net şimdiki maliyette 0.03 M \$, yenilenebilir enerji kullanım oranında yaklaşık %0,6 oranında farkın olduğu görülmektedir. İlk yatırım maliyetlerinin aynı olduğu, bu durumun her üç ışınlam verisinde de aynı ekipmanların kullanılmasından dolayı olduğu görülmektedir. İşletme maliyetlerinde, üç ışınlam verisi içinde farklı olduğunu görmekteyiz. Bu farkın şebekeden alınan elektrik enerjisi maliyetinin HOMER yazılımında işletme maliyetine dahil edilerek gösterilmesinden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.17: PVGIS ışınlam verisine göre simülasyon sonuçları.

PV Güç	Dönüştürücü Gücü	LCOE	Net Şimdiki Maliyet	İşletme Maliyeti	İlk Yatırım Maliyeti	Yenilenebilir Enerji Kullanımı
kW	kW	\$/kWh	\$	\$/yıl	\$	%
121	85,5	0,0995	4,53 M	137,140	142,625	11,1

Çizelge 4.18'de maliyet analizi gösterilmiştir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü ve NASA ışınlam verileri ile oluşturulan maliyet analizi sonuçları ile karşılaştığımızda maliyetlerin aynı olduğu tek farkın şebekeden alınan elektrik enerjisi maliyetinde olduğu görülmektedir. Bu farkın ışınlam verisindeki farktan olduğu görülmektedir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü yıl bazında ortalama günlük ışınlam verisini 3,92 kWh/m²/gün olarak aldığımızda şebekeden alınan elektrik enerjisi maliyetini 4,316,900.98 \$, NASA yıl bazında ortalama günlük ışınlam verisini 3,93 kWh/m²/gün olarak aldığımızda şebekeden alınan elektrik enerjisi maliyetini 4,325,028.74 \$, PVGIS yıl bazında ortalama günlük ışınlam verisini 4,20 kWh/m²/gün olarak alındığında şebekeden alınan elektrik enerjisi maliyetini 4,293,568.18 \$ olarak hesaplandığı görülmektedir. Şebekeden alınan elektrik enerjisi maliyetini karşılaştırdığımızda Meteoroloji Genel Müdürlüğü ışınlam verisi maliyetine göre 23,332.8 \$, NASA ışınlam verisi maliyetine göre 31,460.56 \$ farkın olduğunu

görmekteyiz. Buradan ışıınım verisindeki yaklaşık 0,28 kWh/m²/gün'lük farkın şebekeden alınan elektrik enerjisi maliyetinde büyük farkların oluşabileceği sonucunu görmekteyiz.

Çizelge 4.18: PVGIS ışıınım verisine göre maliyet analizi sonuçları.

Sistem Ekipmanları	İlk Yatırım Maliyeti	Değişim Maliyeti	İşletme & Bakım Maliyeti	Şebekeden Alınan Elektrik Enerjisi Maliyeti	Hurda Maliyeti	Toplam Maliyet
PV Panel	\$121.250,00	\$0,00	\$38,816.20	\$0,00	\$0,00	\$160,066.20
Şebeke	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$4,293,568.18	\$0,00	\$4,293,568.18
Dönüştürücü	\$21.375,00	\$28,142.52	\$41,057.13	\$0,00	\$-11,272.19	\$79,307.46
Sistem	\$142.625,00	\$28,142.52	\$79,873.33	\$4,293,568.18	\$-11,272.19	\$4,532,941.84

Çizelge 4.19'da Üç farklı ışıınım verisi kullanılarak oluşan simülasyonlar sonucunda, PV panelin ve şebeke elektriğinin yıllık kullanım miktarları gösterilmiştir. Bu sonuçları incelediğimizde;

Meteoroloji Genel Müdürlüğü ışıınım verisi kullanıldığında, 158,939 kWh/yıl PV panel ve 1,272,293 kWh/yıl şebeke elektriğinin kullanıldığı görülmektedir. Elektrik alış fiyatını 0,106 \$ olarak kabul edip bu fiyatı PV panelden sağlanan yıllık kullanılan enerji miktarı 158,939 kWh/yıl ile çarptığımızda 16,847.534 \$/yıl değerini elde etmekteyiz. Hesaplanan bu tutar kadar yıl bazında elektrik faturasından tasarruf edildiği görülmektedir.. Elektrik alış fiyatında enflasyona bağlı yıllık değişim olacağından hesaplanan fiyatta yıllık olarak değişecektir.

NASA ışıınım verisi kullanıldığında, 156,188 kWh/yıl PV panel ve 1,274,658 kWh/yıl şebeke elektriğinin kullanıldığı görülmektedir. Elektrik alış fiyatını 0,106 \$ olarak kabul edip, bu fiyatı PV panelden sağlanan yıllık kullanılan enerji miktar 156,188 kWh/yıl ile çarptığımızda 16,555.928 \$/yıl değerini elde etmekteyiz. Hesaplanan bu tutar kadar yıl bazında elektrik faturasından tasarruf edildiği görülmektedir.

PVGIS ışıınım verisi kullanıldığında, 165,983 kWh/yıl PV panel ve 1,265,407 kWh/yıl şebeke elektriğinin kullanıldığı görülmektedir. Elektrik alış fiyatını 0,106 \$ olarak kabul edip, bu fiyatı PV panelden sağlanan yıllık kullanılan enerji miktar 165,983 kWh/yıl ile çarptığımızda 17,594,188 \$/yıl değerini elde etmekteyiz. Hesaplanan bu tutar kadar yıl bazında elektrik faturasından tasarruf edildiği görülmektedir.

Toplam yıllık kullanılan enerji miktarlarını incelediğimizde; Meteoroloji Genel Müdürlüğü ışıınım verisi kullanıldığında 1,431,232 kWh/yıl, NASA ışıınım verisi kullanıldığında 1,430,846 kWh/yıl ve PVGIS ışıınım verisi kullanıldığında 1,431,390 kWh/yıl enerji tüketimi olduğu görülmektedir. Işıınım verisi en yüksek olan PVGIS verisi ile oluşturulan simülasyonda en fazla enerji tüketiminin olduğu görülmektedir.

Kullanım oranlarını incelediğimizde; Meteoroloji Genel Müdürlüğü ışıınım verisi kullanıldığında, PV panelin %11,1 ve şebeke elektriğinin %88,9 oran ile kullanıldığı, NASA ışıınım verisi kullanıldığında, PV panelin %10,9 ve şebeke elektriğinin %89,1 oran ile kullanıldığı, PVGIS ışıınım verisi kullanıldığında PV panelin %11,6 ve şebeke elektriğinin %88,4 oran ile kullanıldığı görülmektedir. Işıınım verisi en yüksek olan PVGIS verisi ile oluşturulan simülasyonda, PV panelden en fazla enerji sağlandığı görülmektedir.

Çizelge 4.19: Farklı ışıınım verisi kaynaklarına göre PV panel ve şebeke elektriğinin yıllık kullanım miktarları.

Işıınım Verisi Kullanılan Kaynak	Meteoroloji Genel Müdürlüğü		NASA		PVGIS	
Işıınım Verisi kWh/ m ² /gün	3,92		3,93		4,20	
Birim	kWh/yıl	%	kWh/yıl	%	kWh/yıl	%
PV Panelin Kullanımı	158.939	11.1	156.188	10.9	165.983	11.6
Şebeke Elektriğinin Kullanımı	1,272.293	88.9	1,274.658	89.1	1,265.407	88.4
Toplam	1,431.232	100	1,430.846	100	1,431.390	100

Çizelge 4.20’de Üç farklı ışıınım verisi kullanılarak oluşturulan simülasyonlar sonucunda, kirletici gazların yıllık kullanım miktarları gösterilmiştir. Bu çalışmada talep edilen yükün PV paneller ile karşılanamadığı durumda şebekeden elektrik alımı yapılmıştır. Şebekeden elektrik alımı sonucunda kirletici gazlarda atmosfere salınmaktadır. Kirletici gazların emisyon faktörleri bulunmaktadır. Bu değer tüketilen yakıt birimi başına yayılan kirletici gaz olarak ifade edilir. kWh/kg birimi ile gösterilir. Şebekeden sağlanan elektriğin büyük bölümü kömürden üretiliyorsa bu değer

yüksektir. Doğal gaz ile şebeke elektriğinin sağlanması durumunda daha düşük emisyon faktörleri oluşur. Nükleer ve hidro ile üretimde bu kirleticiler neredeyse hiç emisyonu neden olmaz.

3.2.6 HOMER yazılımında bulunan kirletici gazların emisyon hesabı bölümünde kirletici gazlar anlatılmış, emisyon miktarlarının nasıl hesaplandığına değinilmiştir. HOMER yazılımında altı kirletici gaz için emisyon miktarları hesaplanmaktadır. Bu kirletici gazlardan 4'ü için emisyon faktörünü doğrudan kullanıcı belirleyebilmektedir. Bu gazlar karbon monoksit, yanmamış hidrokarbonlar, partikül madde ve nitrojen oksitlerdir. HOMER, belirlenen emisyon faktörlerini ve elektrik üretimi için kullanılan yakıtın karbon ve kükürt içeriğini kullanarak karbon dioksit ve kükürt dioksit için emisyon faktörlerini hesaplar. Bu hesaplamayı yaparken karbon monoksit veya yanmamış hidrokarbon olarak salınmayan herhangi bir karbonun karbondioksit olarak salınacağı düşünülür. Bundan dolayı Çizelge 4.20'de karbonmonoksit ve yanmamış hidrokarbon emisyon değeri 0 olarak gözükmektedir. Yakıtta yakılan partikül madde olarak yayılmayan kükürt, kükürt dioksit olarak yayılmaktadır. Bundan dolayı da Çizelge 4.18'de partikül madde 0 olarak gösterilmiştir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü ışıınım verisi kullanıldığında, yıllık bazda 804,089 kg/yıl karbondioksit, 3,486 kg/yıl kükürtdioksit ve 1,705 kg/yıl azot oksit kirletici gazlarının salınımı olacağı hesaplanmıştır. Çizelge 4.19'daki veriler dikkate alındığında, belirlenen salınım miktarlarının 1,272,293 kWh/yıl şebeke elektriğinin kullanımı sonucu oluştuğunu görmekteyiz. PV panel kullanılarak 158,939 kWh/yıl enerji sağlanmıştır. Oran orantı hesabıyla yıllık bazda 100,449 kg/yıl karbondioksit, 0,435 kg/yıl kükürtdioksit ve 0,213 kg/yıl azot oksit kirletici gazlarının atmosfere salınımının engellendiği bulunmuştur.

NASA ışıınım verisi kullanıldığında, yıllık bazda 805,584 kg/yıl karbondioksit, 3,493 kg/yıl kükürtdioksit ve 1,708 kg/yıl azot oksit kirletici gazlarının salınımı olacağı hesaplanmıştır. Çizelge 4.19'daki veriler dikkate alındığında, belirlenen salınım miktarlarının 1,274,66 kWh/yıl şebeke elektriğinin kullanımı sonucu oluştuğunu görmekteyiz. PV panel kullanılarak 156,188 kWh/yıl enerji sağlanmıştır. Oran orantı hesabıyla yıllık bazda 98,710 kg/yıl karbondioksit, 0,428 kg/yıl kükürtdioksit ve 0,209 kg/yıl azot oksit kirletici gazlarının atmosfere salınımının engellendiği bulunmuştur.

PVGIS ışıınım verisi kullanıldığında, yıllık bazda 799,737 kg/yıl karbondioksit, 3,467 kg/yıl kükürtdioksit ve 1,696 kg/yıl azot oksit kirletici gazlarının salınımı olacağı hesaplanmıştır. Çizelge 4.19'daki veriler dikkate alındığında, belirlenen salınım miktarlarının 1,265,41 kWh/yıl şebeke elektriğinin kullanımı sonucu oluştuğunu görmekteyiz. PV panel kullanılarak 165,983 kWh/yıl enerji sağlanmıştır. Oran orantıhesabıyla yıllık bazda 104,90 kg/yıl karbondioksit, 0,455 kg/yıl kükürtdioksit ve 0,222 kg/yıl azot oksit kirletici gazlarının atmosfere salınımının engellendiği bulunmuştur.

Çizelge 4.20: Farklı ışıınım verisi kaynaklarına göre kirletici gazların yıllık kullanım miktarları.

Kirletici Gazlar	Birim	Meteoroloji Genel Müdürlüğü	NASA	PVGIS
İşınım Verisi	kWh/m ² /gün	3,92	3,93	4,20
Karbon dioksit	kg/yıl	804,089	805,584	799,737
Karbonmonoksit	kg/yıl	0	0	0
Yanmamış hidrokarbon	kg/yıl	0	0	0
Partikül Madde	kg/yıl	0	0	0
Kükürt dioksit	kg/yıl	3,486	3,493	3,467
Azot oksitler	kg/yıl	1,705	1,708	1,696

Çizelge 4.21'de üç farklı ışıınım verisi sonucu oluşan simülasyon sonuçlarının özeti gösterilmiştir. Çizelgeyi incelediğimizde tüm veriler açısından PVGIS ışıınım verisi sonucu oluşan sonucun, en uygun sonuç olduğu görünmektedir. Talep edilen yükü karşılamada PV panellerde üretilen enerjinin yetersiz kaldığı görülmektedir. Talep edilen enerjinin büyük bölümü şebekeden satın alınarak karşılanmıştır. Maliyetleri incelediğimizde, 25 yıllık proje döneminde net şimdiki maliyet değerinin ilk yatırım maliyet değerinden çok yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum talep edilen yükün çoğunluğunun şebeke elektriğinden karşılanmasından dolayıdır. Yenilenebilir enerji kullanım oranlarının yaklaşık %11 gibi düşük bir oranda kalmasının nedeni de aynıdır. Böyle bir sistemin kurulması maliyet açısından uygun olmadığı sonucunu görmekteyiz. Sistemin kurulacağı yerin etrafında boş alanlar var ise, sisteme rüzgar türbini de eklenerek hibrit bir sistem için simülasyon oluşturulabilir. PVGIS ışıınım verisi sonucu oluşan sistem sonucunda PV panel kullanılarak yıllık bazda 165,983 kWh/yıl enerji sağlanmıştır. Böylece talep edilen yükün % 11,6'sı karşılanmış

olmaktadır. 104,90 kg/yıl karbondioksitin atmosfere yayılması engellenilerek katkıda bulunulmuştur.

Çizelge 4.21: Üç farklı ışıınım verisi sonucu oluşan simülasyonların sonuçları

	Birim	Meteoroloji		
		Genel	NASA	PVGIS
		Müdürlüğü		
Işıınım Verisi	kWh/m ² /gün	3,92	3,93	4,20
PV Güç	kW	121,25	121,25	121,25
Dönütürücü Gücü	kW	85,5	85,5	85,5
LCOE	\$/kWh	0,100	0,100	0,0995
Net Şimdiki Maliyet	M \$	4,56	4,56	4,53
İşletme Maliyeti	\$/yıl	137,869	138,123	137,140
İlk Yatırım Maliyeti	\$	142,625	142,625	142,625
Yenilenebilir Enerji Kullanım Oranı	%	10,6	10,5	11,1
PV Panelin Kullanımı	kWh/yıl	158,939	156,188	165,983
PV Panel Kullanım Oranı	%	11,1	10,9	11,6
Şebeke Elektriğinin Kullanımı	kWh/yıl	1,272.232	1,274,658	1,265.407
Şebeke Elektriğinin Kullanım Oranı	%	88,9	89,1	88,4
Karbondioksit	kg/yıl	804,089	805,584	799,737
Kükürt dioksit	kg/yıl	3,486	3,493	3,467
Azot oksitler	kg/yıl	1,705	1,708	1,696

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Tekirdağ ili Çerkezköy ilçesinde bulunan bir fabrikanın ofis katlarının bulunduğu binanın çatı katına fotovoltaiik sistem tasarımı yapılması düşünülerek çalışma yapılmıştır. Sistemin şebeke bağlantılı olarak çalışacağı düşünülüp, üç farklı kaynaktan alınan ışıınım verisi kullanılarak HOMER yazılımında, sistem simülasyonu ve optimizasyonu yapılmıştır. HOMER yazılımında optimizasyon çalışması dışında duyarlılık analizi de yapılabilinmektedir. Bu çalışmada PV panellerin kurulu gücü 121,250 kW olarak belirlenilerek duyarlılık analizi de yapılmıştır.

Fotovoltaiik sistem tasarımı üzerine yapılan literatür çalışmaları incelenmiş olup, sistemin tasarlanmasında bu çalışmalardan yararlanılmıştır. Türkiye'nin kurulu gücünün yıllar içindeki değişimi incelenmiş, elektrik tüketimindeki artışlara bağlı olarak kurulu güç miktarında da artış olduğu görülmüştür. Yenilenebilir enerji kullanım oranlarına baktığımızda da son birkaç yılda artışın olduğu görülmektedir. Güneş ve rüzgar enerjisi kurulum maliyetlerindeki yıllar içinde oluşan azalışlar yenilenebilir enerji sektörüne yapılan yatırımları arttırmıştır.

Tekirdağ ili Çerkezköy ilçesinde koordinatları 41° 16' 43" N ve 27° 58' 54" E olan ofis binasının elektrik yük talebini karşılaması için çatı tipi fotovoltaiik sistem tasarımı yapılmıştır. Öncelikle aylık ve yıllık bazda tüketilen elektrik verilerine ulaşılmıştır. Bu verilerden yararlanılarak günlük ortalama tüketilen elektrik enerjisi miktarı 3900 kWh olarak belirlenmiştir. Daha sonra kurulumu yapılması düşünülen çatı alanı incelenmiş, 2613,75 m²'lik uygun kullanılabilir alan hesaplanmıştır. Bu alan 6 bölgeye bölünerek, her bölgenin alanı hesaplanmış ve yerleşebilecek modül sayısı bulunmuştur. Modüllerin yerleşim kriterleri dikkate alınarak toplam 485 adet modülün kurulumunun yapılabileceği öngörülmüştür. Bu modüllerin oluşturacağı kurulu güç 121,250 kW olarak hesaplanmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğünün verilerinden yararlanılarak ortalama sıcaklık ve ışıınım verilerine ulaşılmıştır. NASA ve PVGIS'den de ışıınım verileri alınarak 3 farklı ışıınım verisi için simülasyon yapılmıştır.

HOMER veritabanında bulunan PV panel ve dönüştürücü seçilerek sistem tasarımı oluşturulmuştur. Bu ekipmanların yatırım, değiştirme ve işletme, bakım maliyetleri yapılan çalışmalar, piyasa verileri dikkate alınarak belirlenmiş, sisteme girilmiştir.

Ekonomik veriler de ekipman verileri gibi sisteme işlenmiştir. Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası son 10 yıl verileri göz önünde bulundurularak faiz oranı %8, enflasyon oranı %10 olarak alınmıştır. Reel faiz oranı %-1,82 olarak hesaplanmıştır. Proje ömrü, en uzun ömre sahip olan ekipman olan PV panellere paralel olarak 25 yıl olarak belirlenmiştir.

Belirlenen ekipmanlar ve sistemin çalışması için gerekli veriler sisteme tanımlanarak HOMER yazılımında simülasyon yapılmıştır. Şebeke bağlantı olarak tasarlanan sistem sonucunda ekonomik analizlerin sonuçları oluşturulmuştur.

Sistem simülasyonu sonucu oluşan sonuçlar değerlendirildiğinde PV panellerin, talep edilen elektrik yük talebini karşılamada yetersiz kaldığı görülmüştür. PV panellerin yıllık olarak talep edilen elektrik yükünün yaklaşık %11'ini karşılayabildiği bulunmuştur. Proje ömrü sonunda oluşan sistemin toplam maliyetlerine baktığımız zaman, talep edilen elektrik enerjisinin çoğunluğunun şebekeden temin edilmesinden dolayı yatırım maliyetinden daha fazla bir tutar göze çarpmaktadır.

Bu sistemin uygulanabilirliği olmak ile birlikte hibrit bir sistem oluşturularak yapılan bir çalışmada, elektrik talebini karşılamada daha fazla katkı sağlanacağı öngörülmektedir. Araştırılan literatür çalışmalarında da böyle bir sonucun ekonomik olarak daha uygun olduğu belirtilmektedir.

Küresel bazda iklim değişikliklerinin yaşandığını görmekteyiz. Bunun önemli sebebi atmosfere yayılan sera gazlarının artışıdır. Atmosferdeki sera gazının artışı, sıcaklıklarda artışların oluşmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda buzulların erimesi, seller, şiddetli kasırgalar, deniz suyu seviyelerinin yükselmesi ve okyanuslardaki asit oranlarının artması meydana gelmektedir. Paris İklim Antlaşması'nda iklim değişikliğinin yıkıcı etkilerini en aza indirmek için ortalama sıcaklıklardaki artışın maksimum 2° C ile sınırlandırılması gerektiği belirtilmiştir. Bu hedefe ulaşmak için CO₂ oranının 450 ppm'i geçmemesi gerekmektedir. Türkiye'de bu antlaşmayı imzalayarak sera gazı kullanımının azaltılmasında katkı sağlayacağını belirtmiştir. Referans senaryoya göre sera gazı emisyonlarında 2030 yılında %18 ila %21 azaltım sağlanması hedefi konulmuştur. Bunu gerçekleştirmek için yapılması

planlanan çalışmalar bulunmaktadır. Bunlardan biri de güneş enerjisinden elektrik üretiminin 2030 yılında 10 GW kapasiteye ulaşmasıdır.

Bu alışma ile bu hedefin gerçekleşmesine katkı sağlanmıştır. PVGIS ışınım verisi sonuçları dikkate alındığında PV panellerden yıllık bazda 165,983 kWh/yıl elektrik talebi karşılanabileceği, böylece 104,90 kg/yıl karbondioksit, 0,455 kg/yıl kükürtdioksit ve 0,222 kg/yıl azot oksit kirletici gazlarının atmosfere salınımı engellenebilecektir. Bu çalışmanın atmosferdeki sera gazının azaltılması için büyük katkı sağlayacağı görülmektedir.

Bu alışma, yüksek elektrik tüketimi olan binalar için bir örnek oluşturmaktadır. Güneş enerji sistemlerinin kurulması yaygınlaştırılarak, atmosferdeki sera gazı azaltımına katkı sağlanmalıdır. lkeler bu sistemlerin kurulmasına teşvik etmeli, sistem maliyetini sağlamak için kredi ve özel indirimler sunmalıdır.



KAYNAKLAR

- [1] **Shilpa N. & Sridevi HR.** (2019). Optimum design of Rooftop PV System for An Education Campus Using HOMER, 2019 Global Conference for Advancement in Technology (GCAT).
- [2] **Barhoumi, E. M., Farhani, S., Okonkwo, P. C., Zghaibeh, M., Housni, F. K. A. & Bacha, F.** (2021). Economic Analysis and Comparison of Stand alone and Grid Connected Roof Top Photovoltaic Systems, 2021 6th International Conference on Renewable Energy: Generation and Applications (ICREGA).
- [3] **Duman, A. C., & Güler, Ö.** (2020). Economic analysis of grid-connected residential rooftop PV systems in Turkey. Renewable Energy, 148, 697–711. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.157>
- [4] **Kumari, J., Subathra P., Moses E. J., & Shruthi, D.** (2017). Economic analysis of hyrid energy system for rural electrification using HOMER. 2017 International Conference on Innovations in Electrical, Electronics, Instrumentation and Media Technology (ICEEIMT).
- [5] **Sureshkumar, U., Manoharan, P. S., & Ramalakshmi, P.S.** (2012). Economic Analysis of Hyrid Energy System for Rural Electrification Using HOMER. 2012 International Conference on Advances in Engineering, Science and Management (ICAESM).
- [6] **Pathirana, W. P. M. R., & Muhtaroğlu, A. C.** (2013). Multifaceted Feasibility Analysis of PV Solar Application in Northern Cyprus International Journal of Renewable Energy Research Vol.3, No.4
- [7] **Rahman, A. M. M., Al Awami, A. T., & Rahim, A.H.M.A.** (2014). Hydro - PV – Wind – Battery – Diesel Based Stand – Alone Hybrid Power System. International Conference on Electrical Engineering and Information & Communication Technology (ICEEICT).
- [8] **Rodrigues, S., Torabikalaki, R., Faria, F., Cafôfo, N., Chen, X., Ivaki, A. R., Mata-Lima, H., & Morgado-Dias, F.** (2016). Economic Feasibility Analysis of Small Scale PV Systems in Different Countries. Sol. Energy 131 81-95.
- [9] **He, G., Cheng, L., Xu, J., Chen, L., & Tao, W.** (2017). Optimal Configuration of a Wind/PV/Battery Hybrid Energy System Using HOMER Software. Chemical Engineering Transactions, 61, 1507-1512p, DOI: 10.3303/CET1761249.
- [10] **Diab, F., Lan, H., Zhang, L., & Ali, S.** (2015). An Environmentally Friendly Factory In Egypt Based On Hybrid Photovoltaic/Wind/Diesel/ Battery System. Journal of Cleaner Production 112 3884 - 3894.

- [11] **Batić, I., & Đurišić, Ž.** (2021). Analysis of the Photovoltaic Systems Construction Capacities and Conditions on the Preschool Buildings Roofs in Serbia 2021 IEEE 48 th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC).
- [12] **Omrani, M., Zandi, M., Pierfederici, S., & Omrani, M.** (2021). Investigation of an Appropriate Location for Construction the Large-Scale Photovoltaic Power Plant In Southeastern Iran 2019 Iranian Conference on Renewable Energy & Distributed Generation (ICREDG).
- [13] **Nhau, N., Li, J., Wang, W., Yu, W., Zhao, C., & Liu, Y.** (2021). Simulation and Analysis of Economics Benefits of Different Types of PV Systems in Shanghai 2021 Power System and Green Energy Conference (PSGEC).
- [14] **Romoacca, J., Lopez, A., Quispe, F., Yu, & Castillo, R.** (2021). Study of Effect of Temperature on Electrical Performance in Monocrystalline and Polycrystalline Photovoltaic System in Cusco-Peru 2021 IEEE XXVIII International Conference On Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON).
- [15] **Chen, S.** (2021). Designing an Off-Grid PV System for A Farm in Vanuatu 2021 IEEE 48th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC).
- [16] **Abdelaziz, S., Abdelrazik, K., & Hatem, T.** (2021). Solar Energy Potential in Africa: Is Covid-19 a Challenge or an Opportunity 2021 IEEE 48 th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC).
- [17] **Sadmai, O., Plangklang, B., & Hiranvarodom, S.** (2021). Performance Analysis of a 3kWp Grid Connected PV System in The University of Pathumthani Province 2021 9 th International Electrical Engineering Congress (IEECON).
- [18] **Satpathy, P., Panda, S., Mahmoud, A., & Sharmas, R.** (2021). Pre- Installation Analysis of a 8,3 kWp Roof-Top Based Stand-Alone PV System for Uninterrupted Power Supply 2021 1st Odisha International Conference on Electrical Power Engineering, Communication and Computing Technology (ODICON).
- [19] **Nasution, E., Hasibuan, A., Siregar, W., & Ismail, R.** (2020). Solar Power Generation System Design: Case Study of North Sumatra Muhammadiyah University Building (2020) 4rd International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (ELTICOM).
- [20] **Mohanty, B., & Srivalli, M.** (2020). Optimization and Design of Grid Connected Rooftop Solar Power Plant under Various Operating Conditions 2020 International Conference on Computational Intelligence for Smart Power System and Sustainable Energy (CISPSSE).
- [21] **Kulkarni, S., Kulkarni, B., Patil, D., Suryavanshi, S., & Suryavanshi, R.** (2020). A Case Study of 450 kW Roof top Solar PV Plant at KLS'S Gogte Institute of Technology Belgaum, Karnataka 2020 IEEE International Conference for Innovation in Technology (INOCON).

- [22] **Mubarak, H., Hasibuan, A., Setiawan, A., & Daud, M.** (2020). Optimal Power Analysis for the Installation of On-Grid Rooftop Photovoltaic Solar Systems (RPVSS) in the Industrial Engineering Laboratorium Building, Bukit Indah Universitas Malikussaleh Lhokseumawe Aceh 2020 4rd International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering (ELTICOM).
- [23] **Majumdar, D., Pal, S., & Ganguly, R.** (2021). Comparative Reliability Analysis of PV Modules under tropical conditions 2021 Innovations in Energy Management and Renewable Resources (52042).
- [24] **Alharthi, Y.** (2021). Solar PV System Performance in a Combined Hybrid Grid-Connected System 2021 IEEE 48th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC).
- [25] **Anctil, A.** (2021). Comparing The Carbon Footprint of Monocrystalline Silicon Solar Modules Manufactured in China and The United States 2021 IEEE 48th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC).
- [26] **Alharthi, Y., Najjar, N., Mechraoui, A., Moalla, M., & Mohammed, S** (2021). Design and Simulation of PV Grid Connected System Considering Sensitivity Analysis 2021 IEEE 48th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC).
- [27] **Hayat, M., Shahnian, F., Arefi, A., Lu, H., & Fernando, T** (2017). Comparison of the Economic Benefit and The Payback Periods of Rooftop Solar Panels In Australia 2017 3rd International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies (PGSRET).
- [28] **Kilimi, M., Motjoadi, V., & Bokoro, P** (2021). Improvement of an Off-grid Electric Supply System: A Case Study in Corisco International Airport 2021 International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering (ICECCME).
- [29] **Dellosa, J., Panes, M., & Espina, R** (2021). Techno Economic Analysis of a 5 MWp Solar Photovoltaic System in the Philippines 2021 IEEE International Conference on Environmental and Electrical Engineering and 2021 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe).
- [30] **Alzgool, M., Nasan, O., & Khatabi, L** (2021). Design and Economics Analysis of Solar PV System: A Case Study Size 148.8 kWp for Al-Tafila Center for Care and Rehabilitation (Jordan) 2021 12th International Renewable Engineering Conference (IREC).
- [31] **Chakraborty, S., Sadhu, P. K., Pal, N.** (2015). Technical mapping of solar PV for ISM-an approach toward green campus. Energy Science and Engineering, 3, 196-206
- [32] **Url-1** <<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=TEKIRDAG>>, erişim tarihi 06.09.2021.
- [33] **Url-2** <https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx?il=tekirdag>, erişim tarihi 06.09.2021.

- [34] **Url-3** <<https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>>, erişim tarihi 06.04.2021.
- [35] **Url-4** < <https://www.enerjiatlas.com/elektrik-uretimi> >, erişim tarihi 06.04.2021.
- [36] **Url-5** < <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes> >, erişim tarihi 12.04.2021
- [37] **Url-6** < <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> >, erişim tarihi 12.04.2021.
- [38] **Url-7** < <https://www.teknoraysolar.com.tr/fotovoltatik-moduller/> >, erişim tarihi 20.04.2021.
- [39] **Url-8** < <https://www.gses.com.au/recycling-pv-modules/> >, erişim tarihi 20.04.2021.
- [40] **Ceylan, M.** (2018). Kampüs Binalarında Şebekeden Bağımsız Bir Çatı Üstü Fotovoltaik Sistem Tasarımı ve Benzetimi. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [41] **Gülkokan, O.** (2017). Farklı Coğrafyalarda Bulunan Aynı Büyüklükteki Müstakil Elektrik Enerjisi İhtiyacının Fotovoltaik-Rüzgar Hibrit Enerji Sistemlerinden Karşılınması İçin Yapılan Tasarım ve Optimizasyon Çalışması (Yüksek lisans tezi). Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- [42] **Url-9** <<https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/latest/index.html>>, erişim tarihi 08.05.2021.
- [43] **Url-10** <https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/latest/solving_problems/>, erişim tarihi 08.05.2021
- [44] **Url-11** < <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis> >, erişim tarihi 18.09.2021.
- [45] **Url-12** < <https://www.irena.org/publications/2021/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2020> >, erişim tarihi 18.09.2021
- [46] **Url-13** <<https://www.ensolar.com/pv/panel>>, erişim tarihi 13.11.2021
- [47] **Url-14** <<https://www.ensolar.com/pv/inverter>>, erişim tarihi 13.11.2021
- [48] **Diaf, S., Diaf, D., Belhamel, M., Haddadi, M., & Louche, A** (2007). A Methodology For Optimal Sizing Autonomous Hybrid PV/Wind System, Energy Policy 35.11 (2007) 5708 .
- [49] **Sawle, Y., Gupta, S., & Bohre, A** (2018). Socio-Techno-Economic Design of Hybrid Renewable Energy System Using Optimization Techniques, Renewable Energy 119 (2018) 459-472

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad :Umut ÖZKAN

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği, 2016