



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN FARKLI İKLİM KOŞULLARINDA ENERJİ VERİMLİLİKLERİNİN İNCELENEREK EKONOMİK VE ÇEVRESEL ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

ANIL ŞİMŞEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği
Anabilim Dalı

DANIŞMAN
Dr. Öğretim Üyesi A.Talat İNAN

İSTANBUL, 2020

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tez çalışması sürecinde yardımını esirgemeyen ve her zaman motivasyon kaynağı olan tezi bitirmemde büyük emeği olan değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi A.Talat İNAN’a çok teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca beni desteklemiş eski müdürüm Mehmet BOLAT’a ve şu an beraber çalıştığım müdürüm Cem ERGÖREN’e saygılarımı sunarım.



İÇİNDEKİLER

	SAYFA
TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET	iv
ABSTRACTS	v
SEMBOLLER	vi
KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER	viii
TABLO LİSTESİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Güneş Enerjisinin Genel Görünümü	1
1.1.1. Dünya’da Güneş Enerjisi	1
1.1.2. Türkiye’de Güneş Enerjisi	3
1.1.3. Türkiye’de Güneş Enerjisinden Yararlanma	4
1.1.4. Mevzuat	6
1.2. Fotovoltaik Sistem	6
1.2.1. Fotovoltaik Hücre	6
1.2.2.1. Monokristal Güneş Hücresi	7
1.2.2.2. Polikristal Güneş Hücresi	8
1.2.2. Fotovoltaik Sistem Ekipmanları	10
1.2.3.1. Fotovoltaik Modül	11
1.2.3.2. Akü	11
1.2.3.3. Eviriciler	11
1.2.2.4. Sarj Regülatörleri	12
1.2.3. Fotovoltaik Sistem Uygulamaları	13
1.2.3.1. Çatı Üstü Şebekeden Bağımsız Sistemler	13
1.2.3.2. Çatı Üstü Şebekeye Bağlı Sistemler	15
1.2.3.3. Açık Alan Uygulamaları	16

1.2.3.4. Hibrit Sistemler	18
1.3. Tezin Amacı	18
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	20
3. MATERYAL VE YÖNTEM	26
3.1. Türkiye'nin Güneş Radyasyonu	26
3.2. Performansı Etkileyen Faktörler	28
3.2.1. Güneş Pillerinin Performansı	28
3.2.2. Panel Konumu	29
3.2.3. Panel Sıcaklığı	30
3.2.4. Güneş Radyasyonu	30
3.2.5. Rüzgar ve Nem	31
3.2.6. Arazi Kullanımı ve Gölgeden Kaçınma	31
3.2.7. Panel Temizliği	32
3.3. Modelleme Yazılımı	32
3.4. Fotovoltaik Sistem Tasarımı	34
3.4.1. Bölgelerin Seçimi ve Güneş Enerji Potansiyeli	34
3.4.2. Fotovoltaik Sistem Tasarımı	42
4. SONUÇ	49
4.1. Güneş Enerji Potansiyeli ve Verimlilik	49
4.2. Çevresel Etki	58
4.3. Ekonomik Analiz	58
4.4. Değerlendirme ve Öneriler	60
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

GÜNEŞ ENERJİ SANTRALLERİNİN FARKLI İKLİM KOŞULLARINDA ENERJİ VERİMLİLİKLERİ İNCELENEREK EKONOMİKLİK VE ÇEVRESEL ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Enerji ihtiyacı, yaşam koşulları ve sanayideki gelişmelere paralel olarak her geçen gün artmaktadır. Enerji ihtiyacını karşılamada yenilenemeyen enerjiler ve yenilenebilir enerjiler olmak üzere iki tür kaynak kullanılmaktadır. Yenilemeyen enerji kaynaklarından fosil yakıtlar ile karbon emisyonları ve sera gazları artmaktadır. Bu nedenle fosil yakıtlı enerji üretim tesisleri, ekosistemi ve insan yaşamını doğrudan etkilemektedir. Fosil yakıt rezervi sınırlı olup gittikçe azaldığından fosil yakıtlara alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına talep artmıştır.

21. Yüzyılda ülkeler tarafından en çok yatırım yapılan ve desteklenen yenilenebilir enerji kaynağı güneş enerjisidir. Amerika, Çin, Hindistan gibi ülkeler son zamanlarda ciddi yatırımlar yaparak güneş enerjisinden olabildiğince fazla yararlanmayı amaçlamaktadır. En büyük yatırımlarını AR-GE faaliyetlerine ayıran bu gibi ülkeler, düşük maliyetli yüksek verimli enerji için büyük çaba harcamaktadır.

Türkiye, güneş enerji potansiyeli açısından dünya geneline göre en verimli konumlardan biridir. Yıllık ve günlük olarak güneşlenme süresi dünya ortalamasının çok üzerindedir. Türkiye'nin yıllık ortalama güneş ışıınımı $1303 \text{ kWh/m}^2\text{yıl}$, ortalama yıllık güneşlenme süresi 2623 saattir. Bu rakam günlük $3,6 \text{ kWh/m}^2$, günde yaklaşık 7,2 saat, toplamda ise 110 günlük bir güneşlenme süresine denk gelmektedir. Bir diğer deyişle yıllık 26,2 milyon TEP potansiyeli mevcuttur. Yılın 10 ayında Teknik ve ekonomik olarak ülke yüzölçümü olarak %63'ünde ve tüm yıl boyunca %17'sinden yararlanılabilmektedir.

Bu çalışmada farklı iklim bölgelerinde aynı kapasiteli güneş enerji verimliliği incelenmiş, bu incelemeye göre enerji potansiyelleri karşılaştırılmıştır. Çalışmanın devamını yenilenebilir enerji kaynaklarının çevresel etkileri değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme yapılırken PVSYST yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım ile belirlenen bölgelere ait iklim verileri elde edilmiştir.

ABSTRACT

EVALUATION OF ENERGY OF EFFICIENCY AND ENVIRONMENTAL IMPACTS OF SOLAR POWER PLANTS IN DIFFERENT CLIMATE CONDITIONS

Energy needs are increasing day by day in parallel with the living conditions and developments in the industry. In meeting the energy needs, two types of sources are used: non-renewable energies and renewable energies. Fossil fuels, carbon emissions and greenhouse gases increase from non-renewable energy sources. For this reason, fossil fuel power generation facilities directly affect the ecosystem and human life. As the fossil fuel reserve is limited and gradually decreasing, demand for renewable energy sources has increased as an alternative to fossil fuels.

Renewable energy source is the most invested and supported by countries in the 21st century. Countries such as America, China and India have been making serious investments recently and aiming to make use of solar energy as much as possible. Such countries, which devote their largest investments to R&D activities, make great efforts for low-cost, high-efficiency energy.

Turkey, the world in terms of solar energy potential is one of the most efficient position relative to the general. The annual and daily sunbathing period is far above the world average. Turkey's average annual solar radiation of 1303 kWh / m²yıl, the average annual sunshine duration of 2623 hours. This figure corresponds to a daily sunbathing time of 3.6 kWh / m², approximately 7.2 hours a day, and a total of 110 days. In other words, there is 26.2 million TEP potential annually. In 10 months of the year, 63% of the country can be used technically and economically, and 17% of the whole year.

In this study, solar energy efficiency with the same capacity in different climatic zones was investigated and energy potentials were compared according to this study. The environmental impacts of renewable energy sources are evaluated. PVSYST software was used while making this evaluation. Climate data of the regions determined with this software were obtained.

SEMBOLLER

A	: Fotovoltaik Modül Alanı
Cal	: Kalori
G	: Güneş Radyasyonu
I	: Akım
J	: Joule
kcal	: Kilokalori
kW	: kilowatt
kWh	: Kilowatt saat
kJ	: Kilo Joule
mJ	: Mega Joule
mW	: megawatt
mWh	: Megawatt saat
W	: Watt
mWp	: Megawatt Pik
kWp	: Kilowatt Pik
P	: Güç
Pmax	: Maksimum Güç
T	: Sıcaklık
Tc	: Panel Hücre Sıcaklığı
Ta	: İstenilen Hava Sıcaklığı
U	: Isı Kayıp Faktörü
V	: Volt
Wp	: Watt Pik
η	: Verim
γ	: Güç düşüşüne ait sıcaklık katsayısı

KISALTMALAR

AR-GE	: Araştırma Geliřtirme
EN	: Avrupa Normu
EPDK	: Enerji Piyasası Denetleme Kurulu
GES	: Güneş Enerji Sistemi
NOCT	: Nominal Hücre Çalışma Sıcaklığı
OSB	: Organize Sanayi Bölgesi
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
YEKDEM	: Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları
PV	: Fotovoltaik
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. 2018 Yılı Dünya Toplam Enerji Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı	2
Şekil 1.2. 2018 yılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Kaynaklara Göre Dağılımı	2
Şekil 1.3. 2003-2018 Yılları Arasında Dünyadaki Senelik Enerji Üretim Artışı	3
Şekil 1.4. Güneş Kollektörünün Genel Görünümü	4
Şekil 1.5. Elektron ve Delikler Arasındaki Yayılım	7
Şekil 1.6. Monokristal Hücre Örnekleri	8
Şekil 1.7. Kaplamasız ve kaplamalı Polikristal Hücreler	9
Şekil 1.8. Güneş Pili, Modül ve Dizi	10
Şekil 1.9. Fotovoltaik Modül Katmanları	10
Şekil 1.10. Akünün İç Yapısı	11
Şekil 1.11. İnvertör Görünümü	12
Şekil 1.12. Sarj Regülatörü	13
Şekil 1.13. Çatı Üstü Uygulamaları	14
Şekil 1.14. Çatı Üstü Şematik Gösterimi	15
Şekil 1.15. Antalya Şehir Stadyumu Çatı Uygulaması	16
Şekil 1.16. Kayseri OSB Güneş Enerji Santrali	17
Şekil 1.17. Konya Karapınar GES Uygulaması	17
Şekil 1.18. Hibrit Sistemler	18
Şekil 2.1. Londra ve Yeni Delhi Şehirlerinin Öngörülen Üretim Verileri	20
Şekil 3.1. Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli ve İllere Göre Tahmini Elektrik Üretimi	26
Şekil 3.2. Monokristal ve Polikristal Yapı	29
Şekil 3.3. Farklı Eğimlerde Güneş Radyasyonun Aylara Göre Değişimi	30
Şekil 3.4. Farklı Güneş Radyasyonlarına göre I-V eğrileri	31
Şekil 3.5. Panel Yerleşimi ve Gölge Planlaması için Örnek Model	32
Şekil 3.6. PVSYST Yazılımı	33
Şekil 3.7. PVSYST Sistem Arayüzü	34
Şekil 3.8. İstanbul İli Belirlenen Koordinat	35
Şekil 3.9. Muğla İli Belirlenen Koordinat	35
Şekil 3.10. Mersin İli Belirlenen koordinat	36
Şekil 3.11. Konya İli Belirlenen Koordinat	36

Şekil 3.12. Ordu İli Belirlenen Koordinat	37
Şekil 3.13. Van İli Belirlenen Koordinat	37
Şekil 3.14. Gaziantep İli Belirlenen Koordinat	38
Şekil 3.16. PVSYST Yazılımında Panel ve Azımut Açışı Seçimi	43
Şekil 3.17. Güneş Paneli Teknik Çizimi	44
Şekil 3.18. Güneş Panel Akım-Gerilim Grafiği	44
Şekil 3.19. Seçilen İnvertör	46
Şekil 3.20. Sistem Tasarımı	47
Şekil 3.21. Termal Kayıp	48
Şekil 4.1 İstanbul İli Performans Verimi	50
Şekil 4.2. Muğla İli Performans Verimi	51
Şekil 4.3. Mersin İli Performans Verimi	52
Şekil 4.4. Konya İli Performans Verimi	53
Şekil 4.5. Ordu İli Performans Verimi	54
Şekil 4.6. Van İli Performans Verimi	55
Şekil 4.7. Gaziantep İli Performans Verimi	56
Şekil 4.8. İllere Göre Aylık Santral Verimi	56
Şekil 4.9. İllere Göre Aylık Elde Edilen Enerji (mWh)	57

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1. Türkiye'nin En Yüksek Kapasiteli Güneş Enerji Santralleri	5
Tablo 1.2. Güneş Pili Cinsleri	9
Tablo 2.1. Çin'de Farklı Bölgelere Ait Yıllık Güneş Radyasyon Verileri	21
Tablo 2.2 Japonya'da farklı Lokasyonlara Ait Güneş Radyasyon Verileri	21
Tablo 2.3. Önemli Literatür Çalışmaları	24
Tablo 3.1. Güneş Enerji Parametrelerinin Aylara Göre Dağılımı	27
Tablo 3.2. İstanbul'un İklim Değerleri	39
Tablo 3.3. Muğla İli İklim Verileri	39
Tablo 3.4. Mersin İli İklim Verileri	40
Tablo 3.5. Konya İli İklim Verileri	40
Tablo 3.6. Ordu İli İklim Verileri	41
Tablo 3.7. Van İli İklim Verileri	42
Tablo 3.8. Gaziantep İli İklim Verileri	42
Tablo 3.9. Panel Konumu	42
Tablo 3.10. Tesis Ana Elemanları	43
Tablo 3.11. Güneş Paneli Elektriksel Özellikleri	45
Tablo 3.12. Güneş Paneli Mekanik Özellikleri	45
Tablo 3.13. İnvertör Özellikleri	46
Tablo 3.14 Tasarım Detayları	47
Tablo 4.1 İstanbul İlinde Elde Edilen Verileri	49
Tablo 4.2. Muğla İlinden Elden Edilen Verileri	50
Tablo 4.3. Mersin için Elde Edilen Veriler	51
Tablo 4.4. Konya İlinde Elde Edilen Veriler	52
Tablo 4.5. Ordu İlinde Elde Edilen Veriler	53
Tablo 4.6. Van İlinde Elde Edilen Veriler	54
Tablo 4.7. Gaziantep İlinden Elde Edilen Veriler	55
Tablo 4.8. Yıllık Elektrik Üretimi ve Ortalama Performans Verimi	58
Tablo 4.9. Engellenen Karbon Salınımı	58
Tablo 4.10. Proje Maliyet Hesabı	59
Tablo 4.11. Tasarım Sonucu Elde Edilecek Yıllık Gelir	59



1.GİRİŞ

İnsanlık varoluşundan bu yana enerjiye her zaman ihtiyaç duymuştur. Bu ihtiyaç, buluşlar ve teknolojinin ilerlemesiyle artmıştır. İnsanlık tarihi boyunca enerjinin farklı tipleri çok amaçlı olarak kullanılmıştır. 21. Yüzyıla gelindiğinde enerjinin kullanımı değil nasıl sürdürülebilir olarak sonraki yüzyıllara taşınabileceği sorusu çıkmaya başlamıştır. Bu soru günümüzde de sorulmaya devam etmektedir. Enerji üretim yöntemlerinin ekosisteme verdiği zarar gittikçe artmakta ve bunun etkileri doğada net bir biçimde görülmesi nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları etkin çözüm olarak görülmüştür. Son yıllarda, özellikle de GES ve RES alanlarında hem Türkiye’de hem de dünyada yatırım planlamaları yapılmış ve toplam enerji üretimde yenilenebilir enerjinin payını arttırmak için stratejik hedefler belirlenmiştir [1].

1.1.Güneş Enerjisinin Genel Görünümü

Dünya’da enerji kaynağı yönünden lider ülkeler aynı zamanda ekonomik açıdan da lider konumda olmuşlardır. Çünkü ekonomik büyüme için sanayi ve teknoloji hamlelerinin yapılması gerekir ve bu hamleler için enerji talebinin başka bir ülkeye bağımlı olmadan karşılanabilmesi gerekir. Bu bağımlılık geliştirmekte olan ülkeler için önemli bir konu olmuştur.

Enerjiye olan bağımlılık nüfusun artması ve teknolojinin ilerlemesi ile gitgide artmakta ve 21.yüzyıla gelinmesi ile Dünya’nın en önemli konularından biri olmuştur. Bazı enerji üretim yöntemlerinin ekosisteme verdiği zararlar enerjiye olan duyarlılık artmıştır. Enerji üretim yöntemleri arasında Dünya’da en yaygın olarak kullanılan kaynak fosil yakıtlardır. Ancak fosil yakıt rezervi kayda değer oranda azalmıştır. Diğer taraftan fosil yakıtların doğaya ve ekosisteme verdiği zarar dikkate alındığında, bu kaynaklara olan yatırımlar düşmüştür [2].

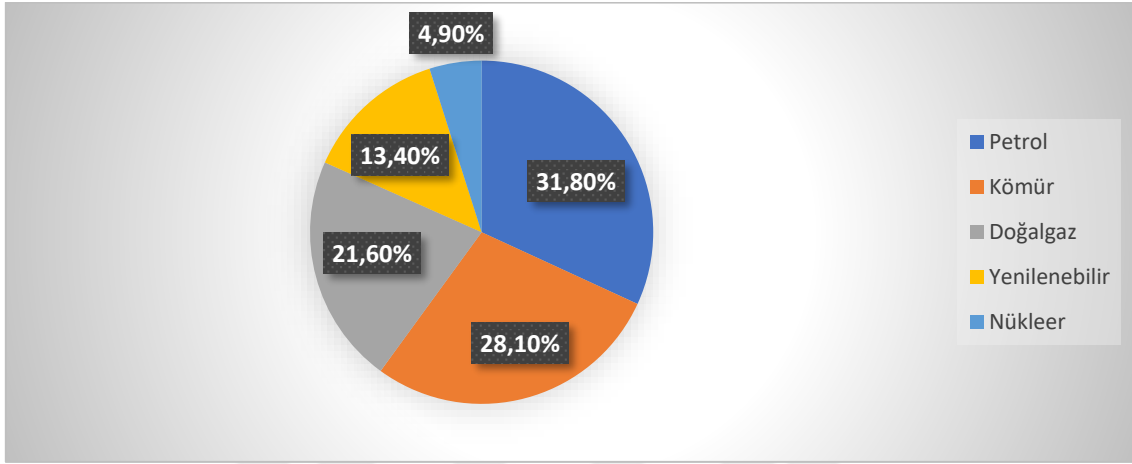
Son yıllarda elektrik üretiminde yenilenebilir enerjiler önem kazanmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynaklarından fosil yakıtlar ile karbon emisyonları ve sera gazları artmaktadır [3]. Bu nedenle fosil yakıtlı enerji üretim tesisleri, ekosistemi ve insan yaşamını doğrudan etkilemektedir. Fosil yakıt rezervi sınırlı olup gittikçe azaldığından fosil yakıtlara alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına talep artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında da maliyet ve verimlilik açısından en önemlisi güneş enerjisidir [4].

1.1.1.Dünya’da Güneş Enerjisi

21. Yüzyılda ülkeler tarafından en çok yatırım yapılan ve desteklenen yenilenebilir enerji kaynağı güneş enerjisidir. Amerika, Çin, Hindistan gibi ülkeler son zamanlarda ciddi yatırımlar yaparak güneş enerjisinden olabildiğince fazla yararlanmayı amaçlamaktadır.

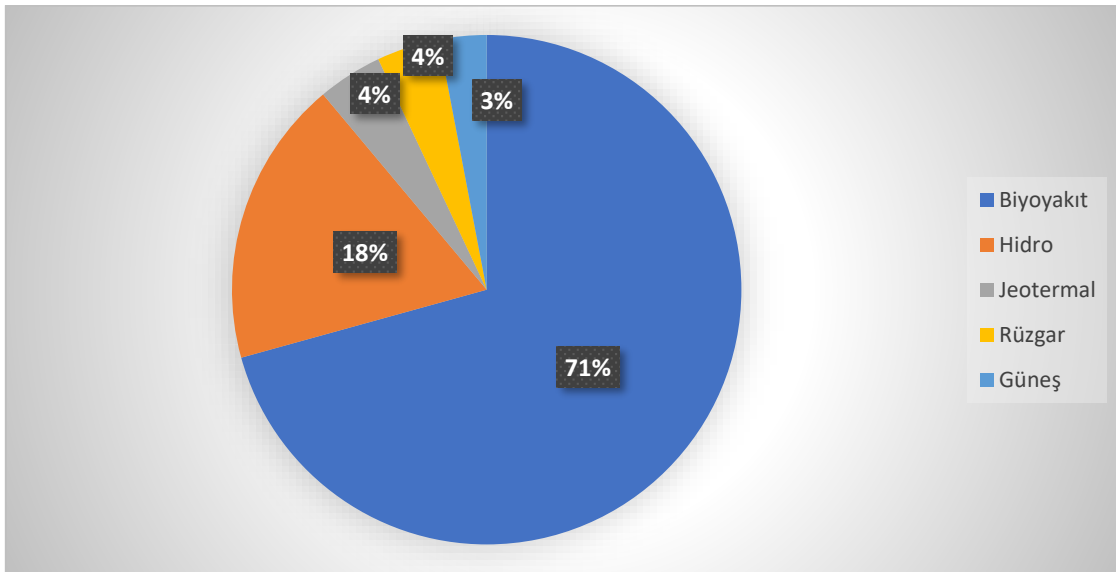
En büyük yatırımlarını AR-GE faaliyetlerine ayıran bu gibi ülkeler, düşük maliyetli yüksek verimli enerji için büyük çaba göstermektedir. [5].

Şekil 1.1’de Dünya’da toplam üretilen enerjinin, kaynaklara göre dağılımı gösterilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları %13,4 ile 4.sırada yer almaktadır. Bu kaynaklar arasında en yüksek orana sahip yöntem petroldür. Petrolden sonra kömür ve doğalgaz gelmektedir [2,6].



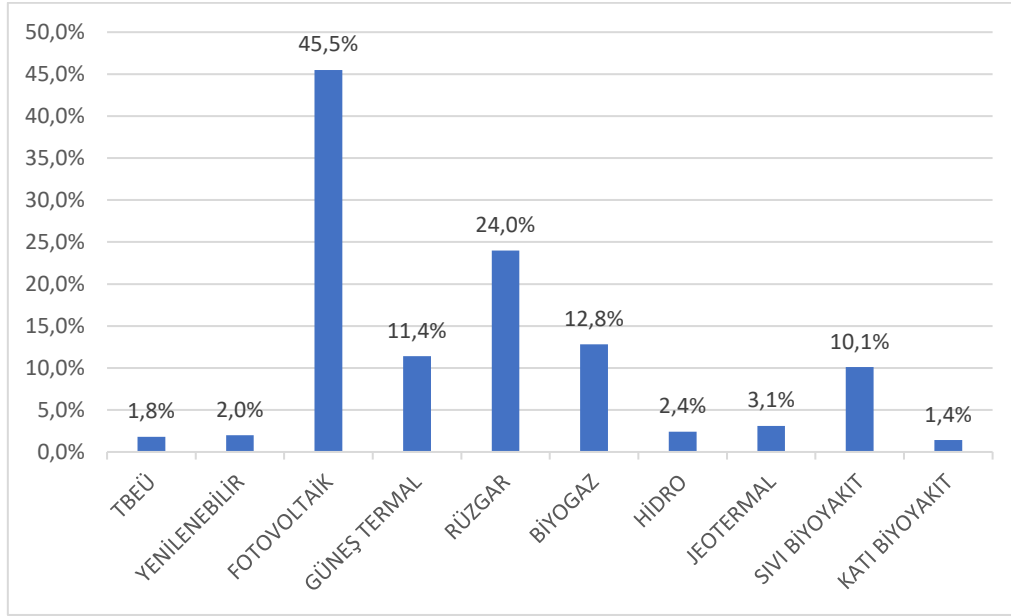
Şekil 1.1 2018 Yılı Dünya Toplam Enerji Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı [2,6].

Şekil 1.2’de ise yenilenebilir enerji kaynaklarının kendi içinde dağılımı gösterilmiştir. Türkiye’de her ne kadar yaygın olarak bilinmese de Dünya’da %71’lik oranla en yüksek kapasiteye sahiptir. İkinci olarak %18 ile su kaynakları sonrasında %5’in altında güneş, rüzgâr ve jeotermal kaynaklar bulunmaktadır. Güneşten üretilen enerji %4 oranındadır [2,6].



Şekil 1.2: 2018 yılı Dünyada Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Üretilen Enerjinin Kaynaklara Göre Dağılımı [2,6].

Şekil.1.3'te 2003-2018 arasındaki yıllık enerji üretim ortalama artışı yüzde olarak gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi son 15 senede en yüksek artış güneş enerji kaynaklarında olmuştur. %45,5'lik artış çok ciddi bir oran olduğu diğer kaynaklarla karşılaştırıldığında anlaşılmaktadır. Güneş enerjisinden sonra rüzgâr enerjisi de kayda değer talep görmüş, %24'lük bir artış yakalamıştır. En düşük artış olan enerji kaynağı %1,4 ile sıvı, katı ve çöp gazı kullanılarak üretilen diğer bir deyişle biyoyakıtlar olmuştur [2,6].



Şekil 1.3 2003-2018 Arasında Dünyadaki Yıllık Enerji Üretiminin Yüzde Olarak Artışı [2,6].

1.1.2. Türkiye’de Güneş Enerjisi

Türkiye fosil yakıtlı enerji kaynakları yönünden dışarıya bağımlıdır ve her yıl doğalgaz kaynaklı enerji ithal etmek durumundadır [7]. Küreselleşen Dünya’da ülkeler kendi enerji kaynaklarının maksimum düzeyde kullanmak durumunda kalmıştır. Bu yeni dünya düzeni, Türkiye’yi yeni enerji kaynaklarına yönelmeye ve bu alanlara yatırım yapmaya itmiştir. Türkiye’nin gerek fosil yakıt olarak kendine yetecek durumda olmaması yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Son 15 yıldır yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım ciddi oranda artmış ve teşvikler diğer sektörlere çok daha fazladır.

Türkiye, enerji talep artışı ile beraber hem ekonomik olması hem de çevresel etki sebebiyle son yıllarda yatırımcılarına yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili teşvik ve destek vermektedir. Güneş enerji sistemleri ile ilgili olarak özellikle fotovoltaik sistemleri üreten firmalara teşvikler vermiştir [8].

1.1.3. Türkiye’de Güneş Enerjisinden Yararlanma

Türkiye’de temelde güneş enerjisinden iki şekilde yararlanılmaktadır. Güneş enerjisi ısı enerjisine çevrilerek veya fotovoltaik sistemler kullanılarak doğrudan elektrik enerjisine çevrilmektedir.

Güneş enerjisinin ısı enerjisine dönüştürüldüğü sistemlerde, ana ekipman güneş kollektörleridir. Bu güneş kollektörlerinde kollektör arasında geçen borular vasıtasıyla bir akışkanın yardımıyla ısı enerjisi elde edilir. Türkiye’de bu sistemler yaygın olarak mesken su ısıtmasında kullanılmaktadır. Bu sistemler güney bölgelerde hemen hemen her evde vardır. 2015 yılı itibari ile Türkiye’de güneş kollektörlerinin kurulu alan 19.487.206 m²’dir. Yine 2015 verilerine göre ısı kurulu güç 13.637 MW_{th} ‘dir. Bu kurulu güç ile Çin, AB ve Almanya’dan sonra Dünya’da 4. Sıradadır [9].

Şekil 1.5 de güneş kollektörlü ısı enerjisi üreten sistem görülmektedir. Türkiye’de özellikle Akdeniz ve Ege bölgesinde yaygın olarak kullanılan bu sistemler bina ısıtma sistemlerinde en önemli yere sahiptir. Türkiye güneş kollektörlerinin kurulduğu alan yaklaşık olarak 20.000.000 m²’dir [10].



Şekil 1.4. Güneş Kollektörünün Genel Görünümü [15].

TEİAŞ'ın açıkladığı verilere göre 2018 yılı sonu itibari ile toplam güneş enerji santrali kurulu gücü 5.062 MW olmuştur. 2017 yılının Eylül ayında yaklaşık 1.500 MW olan kurulu güç 15 aylık süreçte 3.500 MW artmıştır [11, 12]. Tablo 1.2'de Türkiye'de kurulan ve devrede olan en yüksek kapasiteli 10 güneş enerji santrali TEİAŞ verileri dikkate alınarak listelenmiştir.

Tablo 1.1. Türkiye'nin En Yüksek Kapasiteli Güneş Enerji Santralleri [11].

Santral Adı	İl	Firma	Kurulu Güç
Kayseri OSB GES	Kayseri	Kayseri OSB	50 MW
Özkoyuncu Madencilik GES	Balıkesir	Özkoyuncu Madencilik	40 MW
Konya Karatay Kızören GES	Konya	Tekno Enerji	18 MW
Derinkuyu GES	Nevşehir		17 MW
Elazığ Kovancılar GES	Elazığ		15 MW
Makascı Mühendislik GES	Konya	Makascı Mühendislik	10 MW
Renoe Acıpayam GES	Denizli	Erikoğlu Holding	10 MW
Tekno Ray Solar Cihanbeyli GES	Konya	Tekno Enerji	10 MW
Yaysun GES	Konya	Akfen Enerji	9,98 MW
MT Güneş Enerji Santrali	Konya	Akfen Enerji	9,98 MW
Omicron Engil 208 GES	Van	Akfen Enerji	9,95 MW
Omicron Erciş GES	Van	Akfen Enerji	9,95 MW
ME-SE Güneş Enerji Santrali	Konya	Akfen Enerji	9,90 MW
Hamal Güneş Enerji Santrali	Sivas	YBT Enerji	9 MW
Astor Enerji Bozova GES	Şanlıurfa	Astor Enerji	8,97 MW

564 santralin tamamı Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM) kapsamında belirli alım garantisi ile kurulmuştur. Alım garantisi haricinde KDV muafiyeti, yatırım teşvikleri, lisanslı santraller özelinde serbest tüketicilere doğrudan satış imkânı gibi avantajları bulunmaktadır [13].

Küçük kapasiteli santraller haricinde 2018 yılında bir başka proje ile güneş enerji sektörüne yeni bir alan açıldı. Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanı olarak isimlendirilen bu proje ile toplam 1000 MW'lık tek bir proje ile Konya bölgesine güneş enerji santrali kurulması planlanmaktadır. Bu proje ile beraber fotovoltaik hücre ve panel üretimi proje kapsamındadır. Projede 1000 kişinin istihdam edilecektir. İhaleyi alan firma Kwh başına 6,99 cent USD ile kazanmıştır [12].

1.1.4. Mevzuat

Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının mevzuatlarını belirlenmesinde Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü sorumludur. Güneş enerji kaynaklarının kullanımı, Enerji ve Tabii kaynaklar Bakanlığı bünyesinde yer alan Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından yönetilmekte ve koordine edilmektedir.

Cumhurbaşkanlığı, 26 Nisan 2018 tarihinde ile 18 Kasım 2013’de yayınlanan yönetmeliğe ek olarak Yenilenebilir Enerji kaynaklarına dayalı üretim faaliyetlerine ilişkin bir kararname yayımlamıştır. Bu kararname ile 26 Nisan 2018’den itibaren bağlantı anlaşması çağrı mektubu almaya hak kazanan ve 31/12/2020 tarihine kadar işletmeye girecek olan YEK Destekleme Mekanizmasına tabi üretim tesislerinden, kurulu gücü bağlantı anlaşması sözleşme gücü ile sınırlı olmak üzere, mesken aboneleri için 10 kW’a kadar(10 kW dahil), ticarethane, sanayi, tarımsal sulama ve aydınlatma aboneleri için ise 1000 kW’a kadar(1000 kW dahil) yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı çatı ve cephe uygulamalı elektrik üretim tesislerinde üretilen ihtiyaç fazlası elektrik enerjisi için Enerji Piyasası Denetleme Kurulu(EPDK) tarafından ilan edilen kendi abone grubuna ait perakende tek zamanlı aktif enerji bedeli, tesisin işletmeye giriş tarihinden itibaren on yıl süre ile uygulanır. Uygulamaya dair gerekli düzenlemeler Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ve EPDK tarafından yürütülmektedir [14].

1.2. Fotovoltaik Sistem

Fotovoltaik sistemler farklı dalga boylarına sahip güneş enerjisinin, yarı iletken malzemeler ile DC akıma ardından inverterler ile alternatif elektriğin daha yaygın kullanımı olan AC akıma çevirme işlemi invertör vasıtasıyla yapılır. Fotovoltaik sistemler, temelde fotovoltaik hücre, invertör, akü ve sarj regülatöründen oluşmaktadır [15].

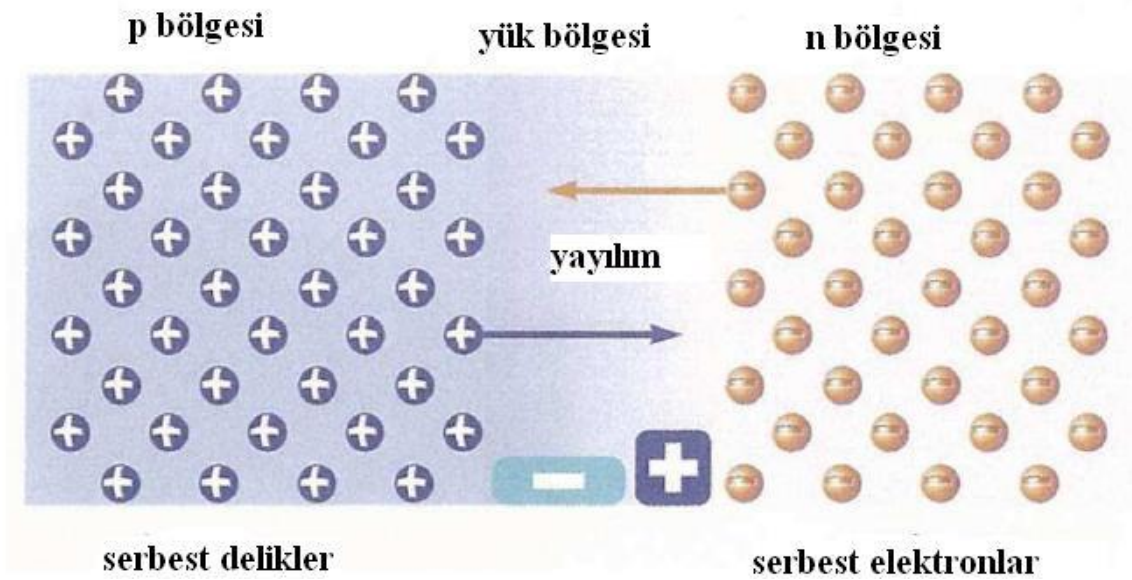
1.2.1. Fotovoltaik Hücre

Fotovoltaik sistem yapıları basitçe bir p ve n ekleminden oluşan diyotlara benzerdir. Fotoelektrik olay prensibine dayanarak pilden fotonlar tarafından kopartılan elektronlar eklemde harekete geçer ve bir elektrik akımı oluşur [15].

Güneş pili yapımında en çok silisyum, galyum arsenit, kadmiyum tellür gibi anorganik yarı iletken alzemeler kullanılır. Yarı-iletken malzemelerin güneş pili kullanılabilmesi için n ya da p tipi katkılanmaları gereklidir. Katkılanma, saf yarı-iletken eriyik içerisinde istenilen katkı maddelerinin kontrollü olarak eklenmesiyle yapılır. Elde edilen yarı-iletkenin n ya da p tipi olması katkı maddesine bağlıdır [15].

En yaygın güneş pili maddesi olarak kullanılan silisyumun n tipi silisyum elde etmek için silisyum eriyiğine periyodik cetvelin 5. Grubundan bir element örneğin fosfor eklenir. Silisyumun dış yörüngesinde 4, fosforun dış yörüngesinde 5 elektron olduğu için, fosforun fazla olan tek elektronu kristal yapıya bir elektron verir. Bu nedenle 5. Grup elementlerine “verici” ya da “n tipi” katkı maddesi nedir [15].

P tipi bir yarı iletken için 3.gruptan bir madde eklenir. Bu maddenin son yörüngesinde 3 elektron olduğu için bir atom azalır. [16].



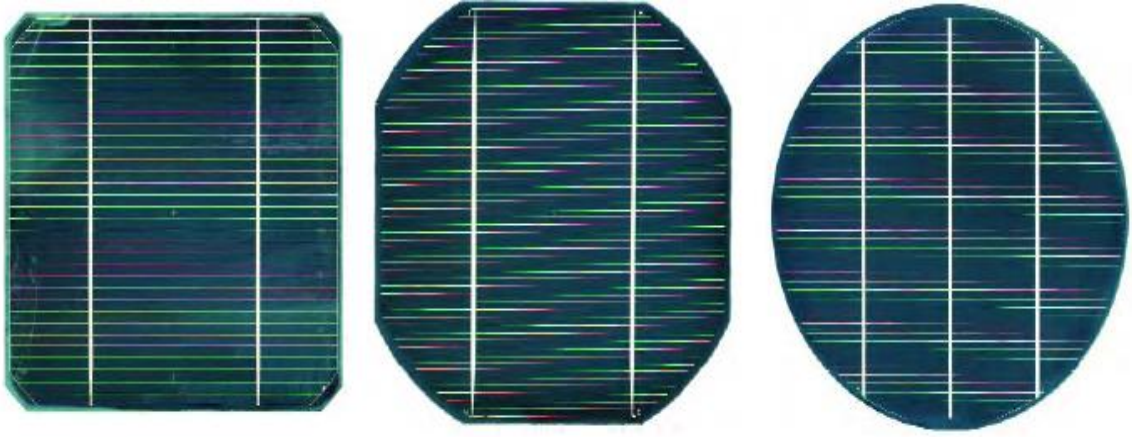
Şekil 1.5. Elektron ve delikler arasındaki yayılım [17].

1.2.1.1. Mono Kristal Güneş Hücresi

Mono kristal hücreler %15 ile %18 aralığında verimliliğe sahiptir ancak AR-GE faaliyetleriyle beraber verimlilik yüzdesi %20-%23'lere kadar çıkmaktadır. Bu durum mono kristal hücrelerin kullanılmaya devam edeceğini göstermektedir [18].

Türkiye’de saha uygulamalarında fayda-maliyet hesabı yapıldığında mono kristal uygulamaları kullanılması mantıklı görünmektedir. Keza küçük ölçekli projelerde mono kristal paneller yaygın olarak kullanılmaktadır.

Mono kristal yapıların ölçüleri 4 ile 6 inç arasında değişmekte ve aynı zamanda dairesel, kare ve köşeleri pahlanmış şekilde olabilir. Teori de 3 farklı yapısı olsa büyük oranda kare yapılar tercih edilmektedir. Şekil 3.16’ da değişik mono kristal hücreler gösterilmektedir [19].

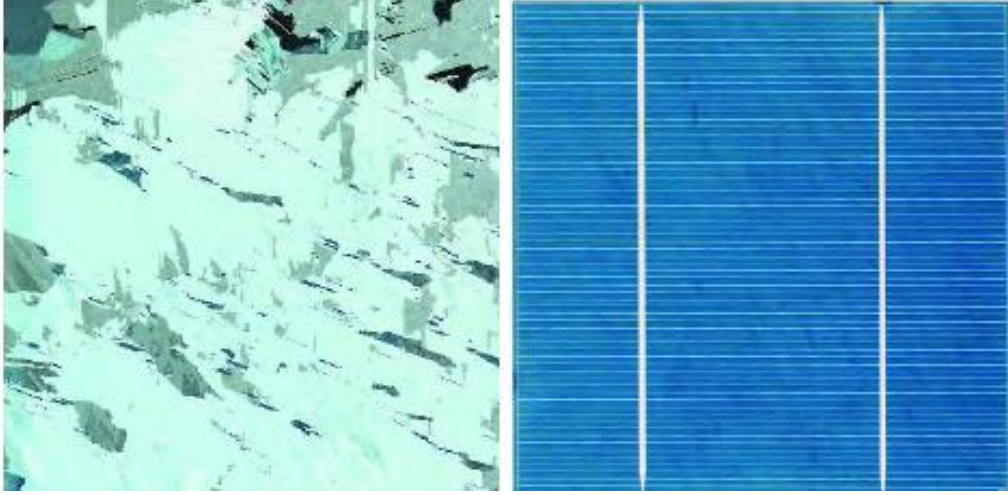


Şekil 1.6. Monokristal Hücre Örnekleri [19]

1.2.1.2 Polikristal Güneş Hücresi

Polikristal güneş hücrelerinin temeli çok kristalli silisyumdan gelmektedir. Çok kristalli silisyum genellikle dökme yöntemi ile elde edilmektedir. Başlangıcı monokristal yapıya benzerdir ve aynı şekilde yapılmaktadır. Safılık derecesi mono kristal yapıya benzer seviyede olması gerekmektedir. Polikristal hücrelerde, verimlilik %13-%18 oranına kadar azalmaktadır ancak düşük maliyeti sebebiyle monokristal yapıya göre kimi çalışmalarda mantıklı olmaktadır [20].

Polikristal hücreler, mono kristalin aksine homojen bir materyal içermez. Polikristal panellerin verimliliği %16 civarındadır. Verimliliğinin monokristala göre düşük olmasına rağmen düşük maliyetinden dolayı yatırımcılar tarafından tercih edilmektedir. Dünyada enerji üreticileri %90 oranında poli kristal panel tercih edilmekte ve kullanılmaktadır [21,22].



Şekil 1.7. Polikristal Hücre Yapıları [19].

Aşağıdaki çizelge de hücre nesillerinin ve bu nesillere dahil olmuş güneş hücreleri gösterilmiştir [19].

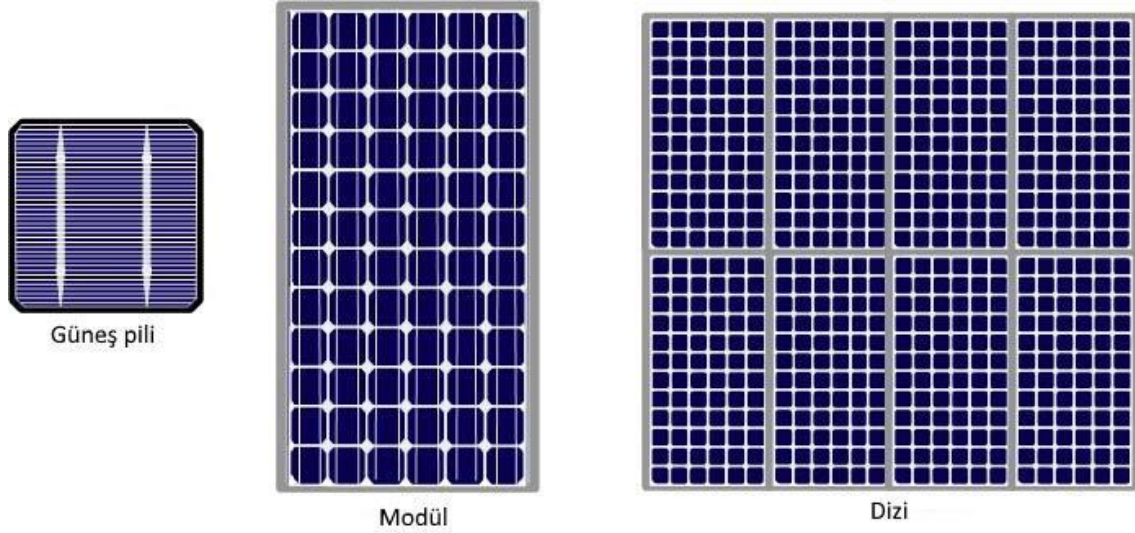
Tablo 1.2. Güneş Pili Cinsleri [19].

1. Nesil Güneş Hücresi	Monokristal Silisyum Hücresi
	Polikristal Silisyum Hücresi
	Amorf Silisyum Hücresi
2. Nesil Güneş Hücresi	Kadmiyum Tellür Hücresi
	Bakır İndiyum Selenoid Hücresi
	Galyum Arsenik Hücresi
	Çok eklemlili Hücresi
3. Nesil Güneş Hücresi	Organik Hücresi
	Boya ile Duyarlaştırılmış Hücresi
	Plastik Hücresi
	Nanokristallik Hücresi

1.2.3. Fotovoltaik Sistem Ekipmanları

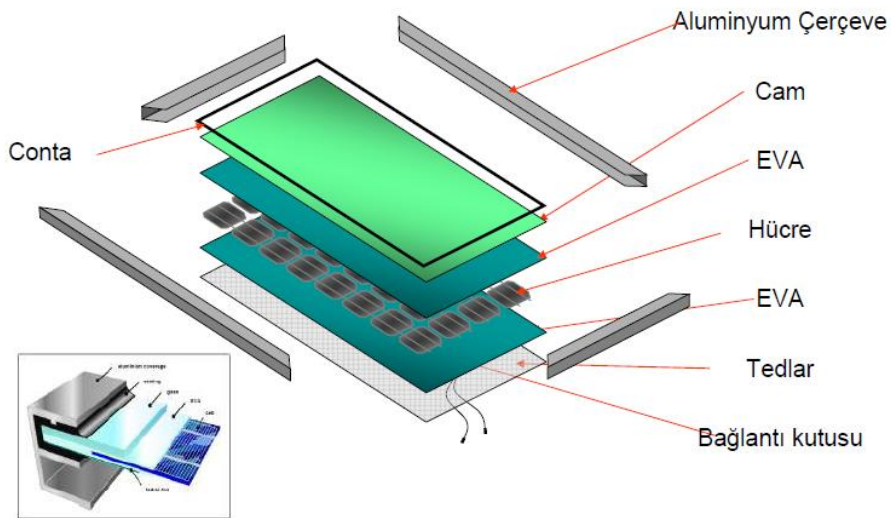
1.2.3.1. Fotovoltaik Modül

Güneş pillerinin birleştirilerek bir dizi haline getirilir ve genel anlamda bu ekipmanlara fotovoltaik modül denilmektedir [20].



Şekil 1.8. Güneş pili, modül ve dizi [20].

Fotovoltaik modüller üretim çeşitlerine göre 7 – 8 farklı bölümden oluşur. Bunlar, Eva kaplama, Cam, Ribbon (şerit), Fotovoltaik Hücre, Backsheet (arka ana taşıyıcı), Alüminyum Kasa, Junction Box (bağlantı kutusu), Kablo ve Konnektörlerdir. Şekil 1.11’da bir fotovoltaik modülün katmanları detaylı olarak gösterilmiştir [21].



Şekil 1.9. Fotovoltaik Modül Katmanları [21].

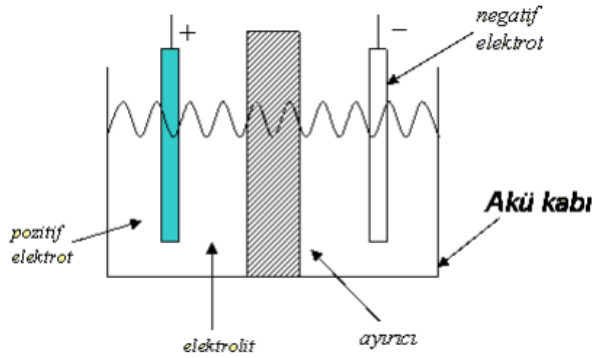
Fotovoltaik modüller, almış oldukları ışık vasıtasıyla, içlerinde oluşan elektrik akımını üzerinde diotlardan ve bağlantı kutusu (Junction Box) üzerinden geçirerek, kablolar vasıtasıyla, seri ve paralel bağlantılar yoluyla invertörlere Doğru Akım yaratırlar. Fotovoltaik modüller STC (1000 W/m² ışıma, 25oC hücre sıcaklığı, AM 1.5, EN 60904 – standartları uyarınca) standartlarında test edilerek üretim hattından çıkarlar [22,23].

Fotovoltaik modüller mekanik etkilerden ve dış etkilerden etkilenmemesi için kaplama yapılır. Bu kaplama şekline göre farklı çeşitleri olan modüllerden en fazla kullanılanı alüminyum alaşımlı panellerdir. Türkiye’deki uygulamalarla camlı modüller yaygın olarak kullanılmaktadır [22,23].

Modüllerden yüksek gerilimli bir akım gerekiyorsa, modül içerisindeki piller birbirine seri bağlanması gerekmektedir. Seri bağlamada geçen akım sabitken gerilim katlanarak artmaktadır. Eğer ki sistemden fazla gerilim istenmezse pillerin paralel bağlanması gerekmektedir. Seri üretimde çok büyük oranda pillerin seri bağlandığı modüller kullanılmaktadır [22,23].

1.2.3.2. Akü

Şebekeden bağımsız diğer bir deyişle off-grid sistemlerin olmazsa olmazı akü, üretilen enerjinin depolanmasına yarar. Özellikle küçük ölçekli mesken çatı üstü projelerde kullanılan bu eleman, gündüzleri üretilen enerjinin gün ışığının olmadığı saatlerde üretilen enerjinin kullanılmasını yardımcı olur [24].



Şekil 1.10. Bir akünün iç yapısı [24].

1.2.3.3. Eviriciler

Eviriciler, bir güneş enerji santralinin olmazsa olmaz ekipmanıdır. Çünkü fotovoltaik modüllerden üretilen elektrik doğru akımdır ve şebekeye alternatif akım olarak verilmesi gerekmektedir. Bu fazı değiştirme işlemi eviriciler iyi yapılmaktadır. Diğer bir deyişle invertörler modüllerden üretilen doğru akımı şebekeye verilecek şekilde AC akıma çevirirler.

Eviriciler genel olarak dizi tip ve merkezi tip olarak ayrı ikiye ayrılmaktadır. Dizi tip eviriciler 1 kW ile 15 kW arasında çalışmaktadır ve santrallerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Genellikle fotovoltaik panellerin yakınında yer alırlar. Aşağıdaki şekilde dizi tip bir evirici gösterilmiştir. Merkezi tip eviriciler 30 kW ile 1,25 mW arasında çalışmaktadır. Fotovoltaik panellerden uzakta genellikle trafonun yakınında bulunmaktadır [25].

Şekil 1.11’de invertör görünümü gösterilmiştir.



Şekil 1.11. Inverter görünümü [25].

1.2.2.4. Şarj Regülatörleri

Güneş enerjisi sistemi ile üretilen voltaj değeri güneşin gün içindeki konumuna veya havanın bulutlu olmasına göre değişiklik göstereceği için, güneş panelleri ile jel aküler arasında mutlaka şarj regülatörleri koyulmalıdır. Şarj regülatörü veya diğer adı ile şarj kontrol cihazının görevi güneş panellerinden üretilen doğru akımı regüle ederek, akülere iletmektir. Böylece şarj regülatöründen her zaman sabit voltajda elektrik akülere gidecektir [26].



Şekil 1.12. Sarj Regülatörü [26].

1.2.3. Fotovoltaik Sistem Uygulamaları

Fotovoltaik (PV) sistemler güneş enerjisini kullanmanın yollarından biridir. PV hücreleri güneş ışığını doğrudan elektrik ve dünyanın enerji talebini karşılamada etkili olabilir. PV sistemleri çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu uygulamalar temelde çatı üstü ve saha uygulamaları olarak iki gruba ayrılabilir [27,28].

1.2.3.1. Çatı üstü Şebekeden Bağımsız Sistemler (OFF-GRID)

Bu sistemler elektrik şebekesine bağlı değildir ve bu nedenle akü vasıtasıyla depolama gerektirir. Şebeke dışı bir güneş enerjisi sistemi, yıl boyunca yeterli güç üretecek ve daha az güneş ışığı olduğunda, evin gereksinimlerini karşılayacak kadar pil kapasitesine sahip olacak şekilde tasarlanmalıdır.

Yüksek akü ve invertör maliyeti, şebeke dışı sistemlerin şebeke üstü sistemlere göre çok daha pahalı olduğu ve bu nedenle genellikle yalnızca elektrik şebekesinden uzak olan daha uzak alanlarda ihtiyaç duyulacağı anlamına gelir. Ancak, batarya maliyetlerinin her geçen gün düştüğü için şehir merkezlerinde bile şebekeden bağımsız sistemler için büyüyen bir pazar var [29].

Şebekeden bağımsız sistemlerin ana bileşenleri güneş panelleri, montaj konstrüksiyonları, solar şarj cihazları, aküler, şebekeden bağımsız çalışan invertörlerdir. Off-Grid PV sistemlerde gün boyunca güneş panellerinin üzerine düşen güneş ışığı, ışıyım kuvveti ile orantılı olarak panel uçlarında doğru akım elektrik enerjisi üretir. Bu enerji solar şarj kontrol cihazı vasıtasıyla akü grubuna depo edilerek gündüz ya da gece saatlerinde kullanıma hazır tutulur. Sisteme invertör de eklenerek şebeke gerilimi ile çalışan cihazlar beslenir. Sisteme rüzgâr türbini, şebeke ve /veya jeneratör bağlantısı da yapılarak (hibrit sistem) uzun süren kapalı havalar sonucu oluşabilecek enerji kesintisi olasılığı mininize edilir [30].

Aşağıdaki şekilde çatı üstü şebekeden bağımsız sayılı adette güneş panelinde oluşturulmuş bir sistem gösterilmiştir. Özellikle bireysel olarak meskenlerde sıkça görülmektedir.



Şekil 1.13. Çatı Üstü Uygulaması [30].

Aşağıdaki şekilde de çatı üstü şebekeden bağımsız bir sistem simülasyon şeklinde anlatılmıştır. Fotovoltaik modüllerden üretilen doğru akım, invertör vasıtasıyla alternatif akıma oradan da akülerde depo edilmektedir ve akülerden de tüketilmektedir.



Şekil 1.14. Çatı Üstü Şematik Gösterimi [30]

1.2.3.2. Çatı Üstü Şebekeden Bağlı Sistemler (ON-GRID)

Şebeke içi güneş enerjisi sistemi, şebekeye bağlı olarak elektrik üreten sistemlerdir. Sistem tarafından üretilen elektrik, çeşitli cihazları çalıştırmak için kullanıldığı yerden şebekeye yönlendirilir ve montajı da sorunsuz, bakımı kolaydır [30,31].

Güneş enerjisi sistemi şebekeye bağlı olsa da, tüketici yalnızca tükettiğinden fazla elektriği kullandığı takdirde ödeme yapar. Aylık olarak oluşturulan fatura, tüketicinin yapılacak ödemeleri olup olmadığını belirler. Bununla birlikte, aynı zamanda tüketici daha az elektrik kullanıyorsa, fazla enerji şebekeye verilir. Bu sistemlerde akü olmadığı için bakımı oldukça kolaylaştırır [29,30].

Fotovoltaik sistem ile üretilen enerji yetmediği dönemlerde, şebekeden sağlamak mümkündür. Sistemde kullanılacak farklı iki ölçe ile tüm elektrik gelir ve gider alınabilir, ay sonlarında hesaplanır [29,30].

Şekil 1.17’de Türkiye’nin en büyük çatı üstü uygulamasının yapıldığı Antalya Stadyumu gösterilmiştir. Stad çatısında 12.000 m² kullanılarak yapılan 1,4 mW’lık kapasiteye sahiptir ve 2,5 yıldır Antalya şehir şebekesine destek olmaktadır [32].



Şekil 1.15. Antalya Şehir Stadyumu Çatı Uygulaması [32].

1.2.3.3. Açık Alan Uygulamaları (Fotovoltaik Güneş Enerji Santralleri)

Türkiye’de son 10-15 yıllık dönemde açık alan uygulamaları diğer bir deyişle güneş tarlası projeleri ciddi oranda artmıştır. Bu tesislerin ülke enerji kurulu gücüne etkisi de giriş bölümünde detaylı olarak anlatılmıştır.

Bu uygulamalardan üretilen enerji doğrudan şebekeye verilmektedir. Bu şebekeye verilen enerji birim fiyatı üzerinden son kullanıcıların hizmetine sunulmaktadır. Geçmiş dönemlerde teşviklerinde olması ile beraber yeni enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahiptir.

Kuru tarım arazisi statüsünde olan bölgelerinde yapılabilen bu uygulamalar şehir merkezlerinden oldukça uzaktadır ancak herhangi bir dağıtım merkezine belli bir yakınlıkta olması gerekmektedir [33]. EPDK’nın belli kurallarla sınırlandırdığı bu uygulamaları belli şartları sağlayan özel ve tüzel kişiler tarafından yapılabilmektedir. EPDK tarafından 1 mW üzeri ve altı olarak sınıflandırma yapılan bu yönetmeliklerde 1 mW altı lisanssız, 1 mW üstü lisanslı güneş enerji santrali kapsamındadır [34,35].

Aşağıdaki şekilde Türkiye’nin en büyük güneş enerji santrali gösterilmiştir. Kayseri Organize Sanayi Bölgesi tarafından yatırımı yapılan ve kurulan bu santral 50,6 mWp’lik bir kapasiteye sahiptir. 930.000 m²’lik bir alana kurulan tesis yıllık 82.000.000 mWh’lik enerji üretecektir. 60.000 konutun enerji ihtiyacını karşılayacağı bu tesis yıllık 49.200 ton kardondioksit salınımı engelleyecektir aynı zamanda yıllık 7.706.766 m³’lük doğalgaz ithalatını engellemesi planlanmaktadır. Proje maliyeti yaklaşık 36.000.000 dolardır.



Şekil 1.16. Kayseri OSB Güneş Enerji Santrali [36].

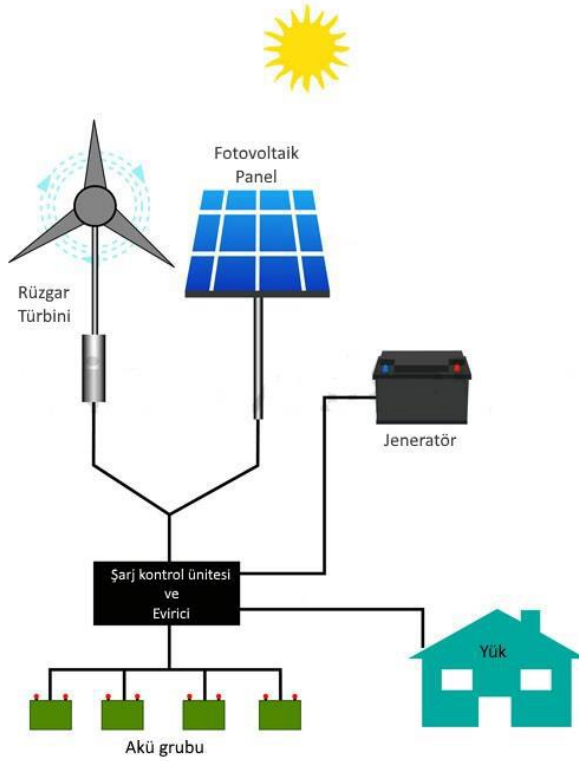
Şekil 1.19’de açık alan uygulamasına örnek gösterilebilecek Konya Karapınar’daki 4,4 mWp’lik güneş enerji santrali gösterilmiştir. Yıllık olarak toplamda 7.181.600 kWh elektrik üretimi gerçekleştirmekte olan Konya Karapınar Güneş Enerji Santrali, toplamda 82.500 m²’lik alana kurulmuştur. Konya Karapınar GES’de toplam 17.358 adet PV modül kullanılmıştır. Konya Karapınar GES yıllık ile 10.071 üzerinde ağaç kurtarılacak ve 4.368 ton CO₂ salınımının engellenmesi sağlanacaktır [36,37].



Şekil 1.17. Konya Karapınar GES Uygulaması [36].

1.2.3.4. HİBRİD SİSTEMLER

Hibrit sistemler, diğer bir adıyla karma sistemler, Fotovoltaik sistemlerin yanında ek olarak farklı elektrik üretim metodlarını içermektedir. RES, biyo atıklı sistemler, su kaynaklı sistemler, termik sistemler olabilir. Şekil 1.20’da karma enerji sistemi gösterilmektedir [37,38].



Şekil 1.18 Hibrit Sistemler [37].

1.3. Tezin Amacı

Güneş enerjisi uygulama planlamaları yapılırken, Türkiye’de bölgesel arası iklim farklılıkları dikkate alınmamaktadır. Bu çalışmada, farklı iklim karakteristiklerini gösteren bölgelerden birer il seçilerek o illere uygun güneş enerji santrallerin tasarımı yapılmıştır ve verimlilikleri incelenmiştir [39].

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de güneş enerjisi verileri doğrultusunda her iklim bölgesinin ayrı ayrı verimlilik hesapları yapılmıştır. Bu hesaplamalara göre ideal GES elemanlarının seçilmiştir. Seçim işleminden sonra da her bir iklim bölgelerine göre GES maliyetinin hesaplanması ve bölgelerarası farklılıklar bulunmuştur. Bölgesel farklılıklar dikkate alınarak çevresel ve ekonomik etkileri de belirlenmiştir.

Güneş enerji santrallerinin, farklı iklim koşulları altında karşılaştırılmalı değerlendirmesi yapıldığından ileriye dönük enerji yatırımlarının planlanmasına yardımcı olması beklenmektedir. Bu da yatırımcıya rehberlik edeceğinden daha doğru bir planlama ve projelendirme yapmasına katkı sağlayacaktır. Farklı ülkelerde, iklim koşulları dikkate alınarak verimlilik değerlendirilmesi yapılmıştır ancak ülkemizde bu alanda yeterli çalışma mevcut değildir. Bu çalışma ile eksik olan bölgelerarası GES verimlilik çalışmalarına önemli katkıda bulunulması amaçlanmıştır.

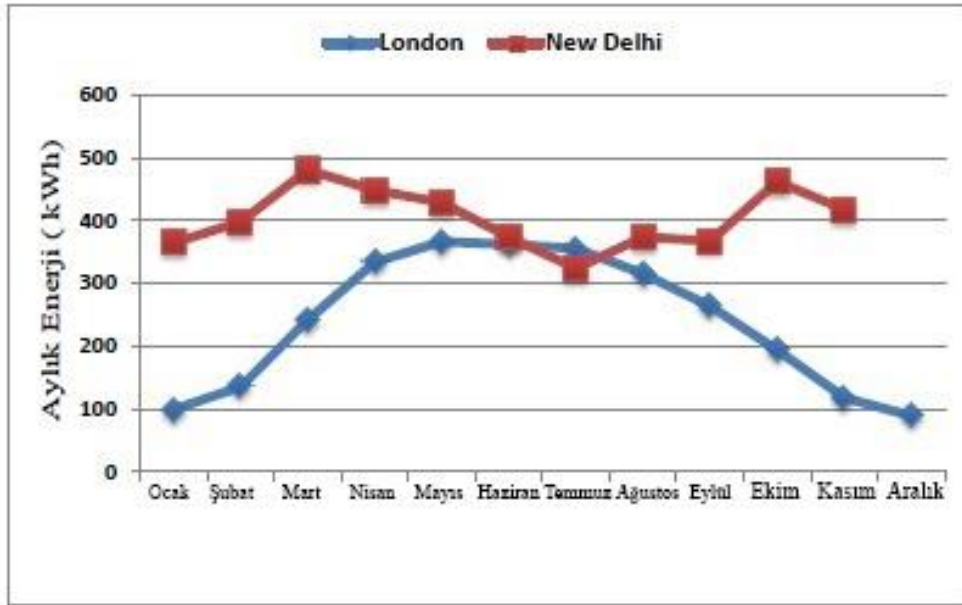
Yenilenebilir enerji sektörüne olan yatırımların arttığı da gözönüne alınırsa güneş enerji santrallerinin verimlilik değerlendirmesi gerek bilimsel gerekse yatırımların ekonomikliği ve çevresel etkileri açısından yararlı bir çalışma olmuştur. Bu çalışmada farklı iklim bölgelerinde aynı kapasiteli güneş enerji santrali projelendirmesi ile enerji verimliliği hesaplanarak, ekonomik ve çevresel etkileri değerlendirilmiştir.

Çalışmada belirtilen amaç ve hedefler doğrultusunda, PVsyst programı kullanılmıştır. Bu program ile bölgeler arası saatlik, günlük ve aylık güneşlenme süreleri, güneş ışıyım ve radyasyon değerleri belirlenmiştir. Bu çalışmada 1.bölümde Türkiye'nin ve Dünya'nın genel güneş enerji görünümü anlatılmıştır. Sonrasında Fotovoltaik sistem uygulamaları belirtilerek, fotovoltaik sistem ekipmanları belirtilmiştir. 2.bölümde çalışma konusu ile ilgili literatür çalışması yapılmıştır. 3.bölümde çalışmanın temeli işlenmiş, sistem tasarımı ve projelendirmesi yapılmıştır. Son bölümde yapılan çalışmanın ekonomik ve çevresel etkileri değerlendirilmiştir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Güneş enerji sistemleri üzerine hem Türkiye’de hem de dünyanın pek çok ülkelerinde pek çok çalışma mevcuttur.

Georgitsioti, T. (2015), Northumbria Üniversitesi’nde yapılan “Photovoltaic Potential and Performance Evaluation Studies in India and the UK” isimli doktora tezinde, Hindistan ve İngiltere’de fotovoltaik güneş enerji potansiyeli incelenmiş ve performans değerlendirmesi yapılmıştır. İlgili çalışmada elde edilen karşılaştırmalı Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Grafikte İngiltere başkenti Londra ve New Delhi şehirlerinin güneş enerjisinden üretilebilecek aylık enerji değerleri belirlenmiştir [20]. New Delhi’de maksimum enerji üretimi yaklaşık olarak 500 kWh iken, Londra’da bu değer 370 kWh olarak hesaplanmıştır. Ayrıca bu grafikte aylara göre dağılım gösterilmiştir [40].



Şekil 2.1. Londra ve Yeni Delhi Şehirlerinin aylık Ön Görülen Üretim Verileri [40].

Jung, S., (2014) Viyana Üniversitesi’nde tamamlanan “Solar Energy Potential in China, South Korea and Japan” isimli master tezinde Çin, Güney Kore ve Japonya’da güneş enerji potansiyeli araştırılmış ve bu ülkelerde güneş enerji santrallerinin ekonomik analizi yapılmıştır. Çalışmada elde edilmiş karşılaştırmalı grafikler aşağıda gösterilmiştir. Avusturya’da tamamlanan çalışmada Çin ve Japonya’nın farklı şehirlerinde yıllık radyasyon değerleri ve güneş enerjisinden elde edilebilecek enerjiler aşağıdaki iki tablo da belirtilmiştir [41].

Tablo 2.1. Çin’de Farklı Bölgelere Ait Yıllık Güneş Radyasyon Verileri [41]

Bölge	Yıllık Radyasyon		Bölgelerdeki Yıllık radyasyon (eğik düzlemde)		Eğim açısı (derece)
	Maksimum (MJ m ²)	Mininum (MJ m ²)	Miktar (MJ m ²)	Potansiyel kaynaklar (kWh m ²)	
Tibet	7,911	6,089	8,832	2,453	30
Tsinghai	6,952	6,143	7,064	1,962	40
Gansu	6,459	5,443	6,259	1,739	40
Xinjiang	6,342	5,305	6,101	1,695	45
Inner Mongalia	6,195	5,658	6,948	1,930	45
Beijing	5,620	5,620	6,294	1,748	42
Jiangsu	4,885	4,885	5,341	1,484	35
Guizhou	4,572	3,471	4,102	1,139	30
East of Sichuan	4,23	3,487	4,248	1,180	35
Hunan	4,213	4,213	4,639	1,287	30
South of Anhui	3,793	3,793	4,361	1,211	35

Tablo 2.2 Japonya’da farklı Lokasyonlara Ait Güneş Radyasyon Verileri [41]

JMA(2014)		NEDO(2013)		JO AND KANG (2013)	
BÖLGE	RADYASYON kWh/m2/Gün	BÖLGE	RADYASYON kWh/m2/Gün	BÖLGE	RADYASYON kWh/m2/Gün
Osaka	14,06	Hamamatsu	Oca.00	Naha	3,82
Hiroshima	14,02	Kobe	4,21	Osaka	3,75
Kumamoto	14	Kagoshima	4,21	Shiziuoka	3,72
Nagasaki	13,6	Hiroshima	4,17	Tokyo	3,64
Tokyo	13,48	Kumamoto	4,11	Fukuoka	3,63
Shimonoseki	13,34	Osaka	3,91	Kagoshima	3,61
Fukuoma	12,78	Sendai	3,86	Nagoya	3,56
Fukushima	12,7	Sapporo	3,82	Nagano	3,54
Aomori	12	Tokyo	3,74	Hiroshima	3,49
Sapporo	10,88	Kyoto	3,74	Sapporo	3,24

Eltayeb, S. (2013) Tromso Üniversitesi'nde tamamlanan "Renewable energy policy Comparison between EU and China" isimli master tezinde Avrupa ülkeleri ve Çin arasında yenilenebilir enerji kaynakları politikaları karşılaştırılmış ve çevresel etkileri analiz edilmiştir. Bu çalışmada elde edilmiş Avrupa ülkelerinde son 14 yılda kurulan güneş enerji santrallerinin artış grafiği gösterilmiştir [42].

Dr. Wirth, H., (2018) Avrupa'nın en büyük güneş araştırma merkezi olan Fraunhofer Institute'de gerçekleştirilen "Recent Facts about Photovoltaics in Germany" isimli çalışmada, Almanya güneş enerji potansiyeli ve verimliliği değerlendirilmiştir. Güneş enerjisinin karbon emisyonuna etkisi araştırılmış ve ekonomik değerlendirme yapılmıştır [43].

Saxena ve Gidwani (2018), 2022 yılına kadar 175 GW yenilenebilir enerji kapasitesi kurma hedefine sahip Hindistan'ın 100 GW'lık kısmını güneş enerjisi ile sağlamayı düşündüğünü belirtmektedir. Bu hedefin 40 GW'lık önemli kısmının şebeke bağlantılı çatı tipi fotovoltaik (RTPV) tarafından sağlanması düşünülmektedir. Bu çalışmada Nagar Nigam Kota Rajasthan için şebekeye bağlı çatı tipi fotovoltaik sistemini değerlendirilmektedir. Kota'daki RTPV tesis sahasının enlem ve boylamları sırasıyla 25 ° 11'33 "K ve 75 ° 48'55" D' dir. 100 kW'lık bir RTPV santralinin PVsyst programı ile tahmin edilen yıllık enerji üretimi 167822 kWh'dir [44].

Malvoni ve diğerleri (2017), güney İtalya'da bulunan 960 kWp fotovoltaik sistemin performansını araştırmaktadır. İncelenen PV sisteminin gerçek performansı, iki simülasyon aracı olan SAM ve PVsyst kullanılarak beklenen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. SAM ve PVsyst modellerinin doğruluğunu değerlendirmek için ayrıntılı bir fark analizi yapılır. Sonuçlar, şebekeye enjekte edilen yıllık ortalama enerjinin SAM tarafından %3,0 ve PVsyst tarafından %3,3 civarında tahmin edildiğini ancak genel olarak PVsyst'in SAM' dan daha iyi performans sağladığını göstermektedir. 43 aylık periyottaki veriler izlendiğinde performans oranı ve kapasite faktörünün sırasıyla %84,4 ve % 15,6 olduğu tespit edilmiştir [45].

Faysal ve diğerleri (2018), Bangladeş'teki kırsal alanda 30 MWp şebekeye bağlı PV sistemini tasarlamaktadır. Proje, küresel günlük yatay güneş ışıınımı dahil olmak üzere geniş bir meteorolojik veritabanına ve farklı üreticilerin çeşitli yenilenebilir enerji sistemleri bileşenlerinin veritabanına sahip olan PVsyst ve RETscreen yazılımını kullanan 30 MWp şebekeye bağlı PV sisteminin ön fizibilite çalışması yapılmıştır ayrıca PV sisteminin boyutlandırılması için, PVSyst ve verim faktörü kullanılarak simülasyon yapılmıştır. [47].

Pathirana ve diğerleri (2013) Uluslararası Kıbrıs Üniversitesi yerleşkesi için kurulabilecek büyük ölçekli Fotovoltaik projeler incelemiştir. 450 ile 1200 kW arasındaki kurulu güç için PV*SOL yazılımı ile modellenmiştir. Modelleme sonucunda amortisman süresine göre en uygun kurulu

güç değerleri; var olan harcamaya göre göre 850 kW, ön görülen tahmini harcama değerlerine göre ise 1200 kW'tır [48].

Durak, F. S. (2016), Malatya İnönü Üniversitesi yerleşkesinde kurulu olan 5 MW gücündeki fotovoltaik sistemin analizini yapmıştır. Projenin geri ödeme süresi 14,5 yıl olarak hesaplanmıştır. Düzce Üniversitesi kampüsünde, Düzce şartlarında bir evin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilecek seviyede 2,5 kW kurulu güce sahip şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemin verim analizini, projelendirmesi yapılmıştır [49].

Özkök, A. (2015) İstanbul Teknik Üniversitesi'nde tamamlanan "Türkiye'nin Yedi Coğrafi Bölgesinde Evsel Elektrik İhtiyacını Çatı Üstü Fotovoltaik Sistemler ile Karşılamanın Ekonomik Analizi" isimli yüksek lisans tezinde, yedi farklı bölgede elektrik gereksinimi HOMER yazılımı ile değerlendirilmiştir. Araştırma sonunda bazı bölgelerde temel gereksinimi karşılanamazken bazı bölgelerin bazı aylarında karşılanabilmiştir. Bu inceleme sonunda kurulum maliyeti hesaplanarak ekonomik değerlendirme yapılmıştır [50].

Kaya ve Diğerleri (2018) Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği alanında yüksek lisans tezi olarak tamamlanan "Doğu Anadolu Bölgesi İllerinin İklim Verileri Rüzgar ve Güneş Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi" isimli çalışmada Doğu Anadolu Bölgesinde iklim parametreleri (güneşlenme süresi, sıcaklık, basınç, nem vb.) incelenmiş, güneş ve rüzgar enerjisindeki etkileri ve bölge illerinin enerji potansiyelleri araştırılmıştır [51].

Tablo 2.3. Önemli Literatür Çalışmaları

Yapılan Çalışmanın Adı	Sonuçlar	Çalışmayı Yapan Kişi
Photovoltaic Potential and Performance Evaluation Studies in India and the UK	Hindistan ve İngiltere güneş enerji potansiyeli karşılaştırılmış ve ekonomik analiz yapılmıştır.	Tatiani Georgitsioti (2015)
Solar Energy Potential in China, South Korea and Japan	Çin ve Japonya'nın güneş radyasyon değerleri hesaplanmıştır.	Seunghwan Jung (2017)
Renewable Energy Potential in New Zealand – By the Numbers	Yeni Zelanda'dayenilenebilir enerji kaynaklarının çevresel etkileri değerlendirilmiştir.	Shaza Eltayeb (2013)
Recent Facts about Photovoltaics in Germany	Güneş enerjisinin karbon emisyonuna etkisi araştırılmış ve ekonomik değerlendirme yapılmıştır	Dr. Harry Wirth (2020)
Estimation of Energy Production of Grid Connected Rooftop Solar Photovoltaic System at Nagar Nigam Kota, Rajasthan	Kota şehrinde 100 kW'lık bir fotovoltaik santralin santralinin PVsyst programı ile tahmin edilen yıllık enerji üretimi 167822 kWh'dir.	Gauranshi Saxena , Lata Gidwani (2018)
Long term performance, losses and efficiency analysis of a 960 kWp photovoltaic system in the Mediterranean Climate	güney İtalya'da bulunan 960 kWp fotovoltaik sistemin performansını araştırmaktadır. İncelenen PV sisteminin gerçek performansı, iki simülasyon aracı olan SAM ve PVsyst kullanılarak beklenen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.	Malvoni, M., Leggieri, A., Maggiotto, G., Congedo, P., (2017)
Potentiality of Grid Connected Photovoltaic System for The Rural Area of Bangladesh	Bangladeş'teki kırsal alanda 30 MWp şebekeye bağlı PV sistemini tasarlamaktadır. Proje, küresel günlük yatay güneş ışınlamı dahil olmak üzere geniş bir meteorolojik veritabanına ve farklı üreticilerin çeşitli yenilenebilir enerji sistemleri bileşenlerinin veritabanına sahip olan PVsyst ve RETscreen yazılımını kullanan 30 MWp şebekeye bağlı PV sisteminin ön fizibilite çalışması yapılmıştır ayrıca PV sisteminin boyutlandırılması için, PVSyst ve verim faktörü kullanılarak simülasyon yapılmıştır..	Faysal, A., Islam, M. R., Uddin, M. M., and Raihan, M. R. (2018)
Multifaceted Feasibility Analysis of PV Solar Application in Northern Cyprus	Uluslararası Kıbrıs Üniversitesi kampüsü için kurulabilecek büyük ölçekli FV sistemleri incelemiştir. 450 ile 1200 kW arasındaki kurulu güç değerleri için PV*SOL yazılımı ile modellemeler yapılmıştır.	Pathiurana, W. P. M. R., Muhtaroglu, A. (2013)
Fotovoltaik Sistemlerin Ekonomik Analizi: Malatya'daki Bir Kamu Binası Örneği. (Yüksek lisans tezi)	İnönü Üniversitesi yerleşkesinde kurulu olan 5 MW gücündeki Fotovoltaik sistemin ekonomik analizini yapmıştır. FV sistemin amortisman süresi 14,5 yıl olarak hesaplanmıştır.	Durak, F. S. (2016)

Türkiye'nin Yedi Coğrafi Bölgesinde Evsel Elektrik İhtiyacının Çatı Üstü Fotovoltaik Sistemler İle Karşılanmasının Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi	İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü'nde tamamlanan "Türkiye'nin Yedi Coğrafi Bölgesinde Evsel Elektrik İhtiyacını Çatı Üstü Fotovoltaik Sistemler ile Karşılanmasının Ekonomik Analizi" isimli yüksek lisans tezinde, yedi farklı bölgede evsel elektrik ihtiyacının HOMER yazılımı ile incelenmiştir.	Özkök A., (2015)
Dünya'da ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi	Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği alanında yüksek lisans tezi olarak tamamlanan "Doğu Anadolu Bölgesi İllerinin İklim Verileri Rüzgar ve Güneş Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi" isimli çalışmada Doğu Anadolu Bölgesinde iklim parametreleri (güneşlenme süresi, sıcaklık, basınç, nem vb.) incelenmiş, güneş ve rüzgar enerjisindeki etkileri ve bölge illerinin enerji potansiyelleri araştırılmıştır	Kaya, K., Şenel, M., Koç, E., (2018)

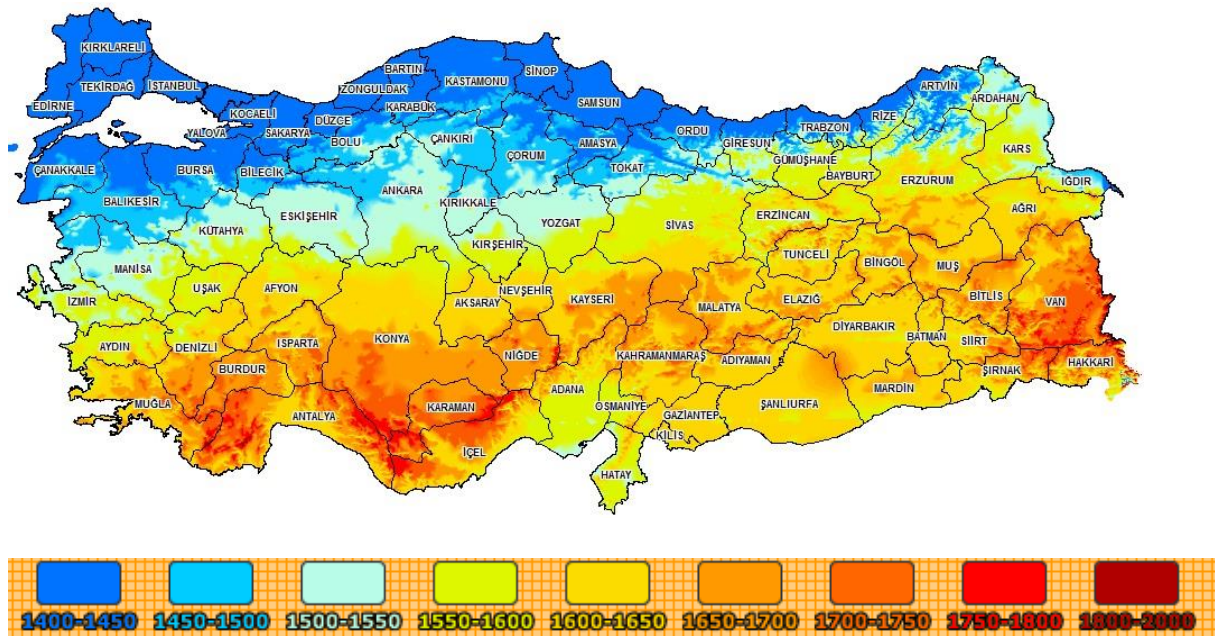
3. MATERYAL VE METOD

3.1. Türkiye’de Güneş Radyasyonu

Türkiye, güneş enerji potansiyeli açısından dünya geneline göre en verimli konumlardan biridir. Yıllık ve günlük olarak güneşlenme süresi dünya ortalamasının çok üzerindedir. Türkiye’nin yıllık ortalama güneş ışıını 1303 kWh/m²yıl, ortalama yıllık güneşlenme süresi 2623 saattir. Bu rakam günlük 3,6 kWh/m², günde yaklaşık 7,2 saat, toplamda ise 110 günlük bir güneşlenme süresine denk gelmektedir. Bir diğer deyişle yıllık 26,2 milyon TEP potansiyeli mevcuttur [52].

Yılın 10 ayında teknik ve ekonomik olarak ülke yüzölçümü olarak %63’ünde ve tüm yıl boyunca %17’sinden yararlanılabilmektedir. Türkiye’de güneş enerjisine olan yatırım ve AR-GE faaliyetleri 2013 yılından itibaren çok ciddi oranda arttı. Global anlamda önemi her geçen gün artan güneş enerji teknolojilerinde AR-GE faaliyetlerine başta Amerika, Çin ve Almanya olmak üzere birçok ülke de çok ciddi yatırımlar yapılmaktadır. Dünya genelinde ve Türkiye’de yatırımların ciddi oranda artmasıyla beraber verimlilik ve optimizasyon gibi konularda araştırmalar başlamıştır. Güneşlenme süresi, ışıma açıları, sıcaklık, nem, rüzgâr, konum (ayrıntılı koordinatlar), panel cinsi ve invertör verimi gibi birçok değişkenler AR-GE firmaları, üniversiteler tarafından detaylı olarak araştırılmaktadır [53].

Şekil 1.4’de Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Türkiye güneş enerji potansiyel haritası gösterilmiştir. Bu grafikte farklı iklim özelliklerine göre bölgelerin aldığı ışıını değerleri belirtilmiştir [54].



Şekil 3.1. Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli ve İllere Göre Tahmini Elektrik Üretimi (mWh/mWp) [54].

Tablo 3.1. Güneş Enerji Parametrelerinin Aylara Göre Dağılımı [54]

Ay	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi (saat/ay)
	(kcal/cm ² .ay)	(kWh/m ² .ay)	
Ocak	4,45	51,75	103
Şubat	5,44	63,27	115
Mart	8,31	96,65	165
Nisan	10,51	122,23	197
Mayıs	13,23	153,86	273
Haziran	14,51	168,75	325
Temmuz	15,08	175,38	365
Ağustos	13,62	158,4	343
Eylül	10,6	123,28	280
Ekim	7,73	89,9	214
Kasım	5,23	60,82	157
Aralık	4,03	46,87	103
Toplam	112,74	1311,16	2640
Ortalama	9,395	109,263	220

Tablo 3.1'e göre yılda toplam 1 cm² alana gelen güneş enerjisi değerinin ortalama 112.74 kcal olduğu ve bu değer ortalama 43,21 kcal/cm²'sinin yani %38,23' lük oranı yaz mevsiminde, 13,92 kcal/cm² sinin yani %12,35'lik oranı ise kış mevsiminde geldiği belirlenmiştir. Bu değerler mevsimsel olarak yıl içinde en fazla ve en az olarak gelen güneş enerji değerleridir. Güneş enerjisinin en az geldiği ay 4,03 kcal/cm²'lik değer ile aralık ayında gerçekleşirken, en fazla güneş enerjisinin geldiği ay ise 15,08 kcal/cm²'lik değer ile temmuz ayında gerçekleştiği belirlenmiştir.

Türkiye'nin güneşlenme süresi açısından 1033 saat ile en fazla yaz mevsiminde gelirken, en az güneşlenme süresi ise 321 saat ile kış mevsiminde geldiği belirlenmiştir. Aylık olarak ise en fazla güneşlenme süresi 365 saat ile temmuz ayında gerçekleşirken, en az güneşlenme süresi 103'er saat ile aralık ve ocak aylarında gerçekleştiği belirlenmiştir [53,54].

3.2 Fotovoltaik Sistemin Performansını Etkileyen Faktörler

Fotovoltaik sistemin kaynağı güneştir ve güneş sonsuz ve en yüksek enerjiye sahiptir. Böylesi bir sonsuz enerjisi bazı sebeplerden dolayı tamamı kullanılamamaktadır. Bu verimlilik temelde iki sebebe bağlıdır. Bunlardan birinci enerjiyi dönüştürdüğümüz fotovoltaik sistem verimi, diğeri ise çevresel etkilerdir.

Bir sistemin performansının ölçütü o sistemin verimidir. Güneş panelleri için en yüksek çıkış gücünün test koşullarında panel alanına düşen güneş radyasyon oranı, güneş panelinin verimidir [75].

$$\eta = \frac{P_{max}}{G \cdot A} = \frac{I_{max} \cdot V_{max}}{G \cdot A}$$

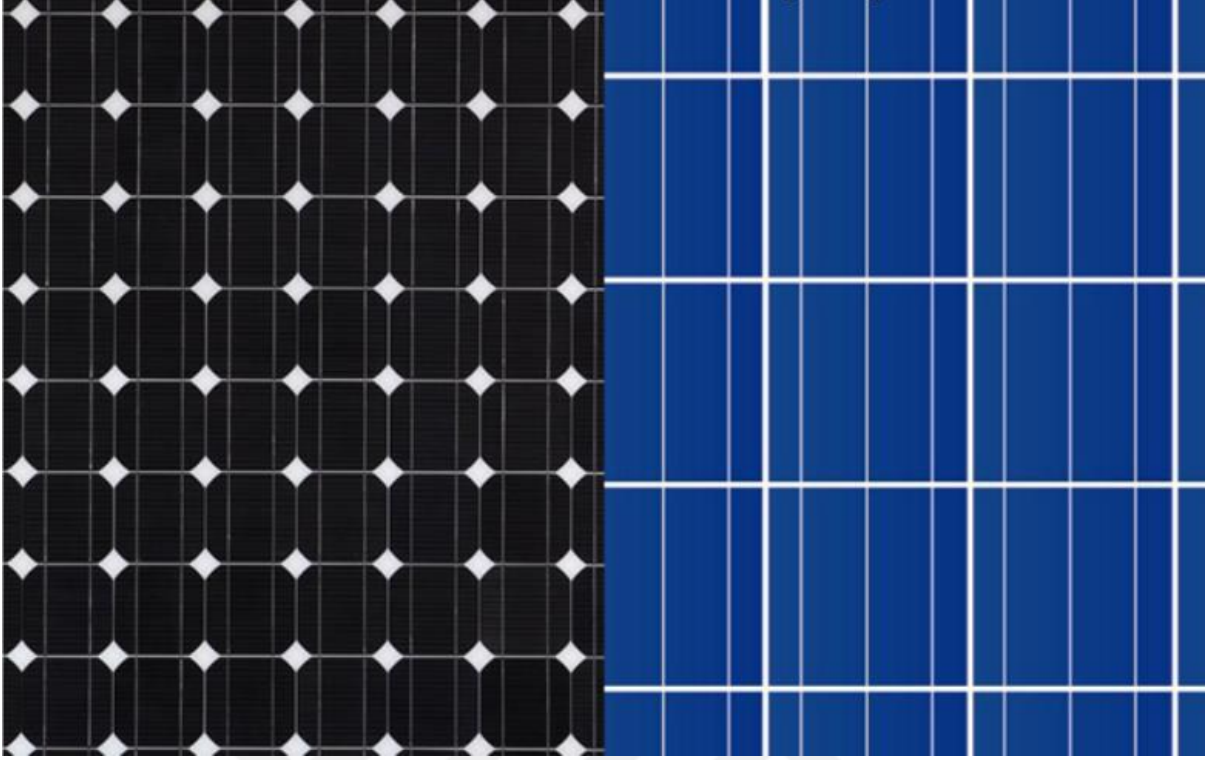
(3.1)

A panel yüzey alanını, G ise radyasyonu ifade etmektedir. Pmax gücü ifade etmektedir. Imax ve Vmax güneş pilinin maksimum güç noktasındaki akım ve voltajı vermektedir

3.2.1. Güneş Pillerinin Performansı

Güneş Pillerinin performansı temelde malzeme cinsine ve kullanılan teknolojiye göre değişkenlik göstermektedir. Daha önceki bölümlerde detaylı olarak anlatılan güneş pillerinin malzemesi verimliliği doğrudan etkilemektedir.

Kristal güneş pilleri piyasada en yaygın kullanılan en verimli pillerdir. Mono-kristal güneş pillerinin verimi %13 ile %17 arasındadır. Monokristal yapılarda ise bu verimi %10 ile %14 arasında değişmektedir [55].

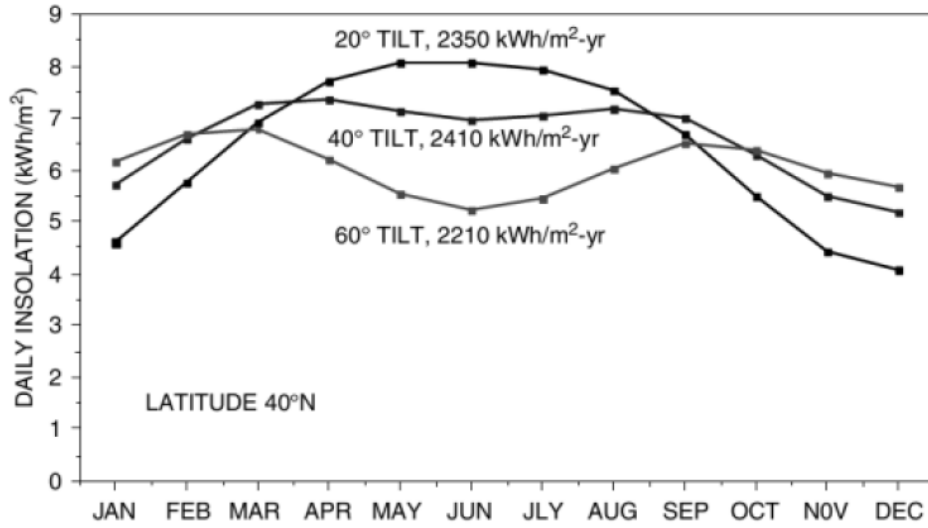


Şekil 3.2. Monokristal ve Polikristal Yapı [52].

3.2.2. Panel Konumu

Panel yüzeyine düşen güneş radyasyonu toplamı ne kadar çok olursa, elektrik üretimi de o kadar çok olacaktır. Dolayısıyla panel yerleşimi FV sistem için en başta gelen konulardan birisidir. Bundan sonraki analizlerde panel doğrultusunun güneyi gösterdiği yani azimut açısının sıfır olduğu kabul edilecektir, çünkü ancak bu durumda gelen güneş radyasyonu maksimize edilebilir. Güneş radyasyonundan üst düzey verim alabilmek için optimum eğim açısına göre planlanmalıdır [54,55].

Aşağıdaki şekilde bir FV panelin farklı eğim açılarında yüzeyine düşen güneş radyasyonunun yıllık değişimi çizilmiştir. Örnekte görüldüğü gibi eğim yükseldikçe yaz aylarında ışıınım azalırken kış aylarında artmaktadır. Bir güneş santrali yıl boyunca sürekli çalışacağı için yıl boyunca toplamın en büyük olduğu değer seçilmelidir. Açık gökyüzü ışıınım hesaplarına göre bu değer $E_{gim} = E_{nlem}$ olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak açık gökyüzü ışıınımında bulutlanma, yağmur, kar vb. gibi etkiler olmadığından dengeli olmak yerine yaz aylarına biraz ağırlık verilmesi, yani $E_{nlem} - 10 < E_{gim} < E_{nlem}$ arasında bir seçim yapılması daha uygun olacaktır [56].



Şekil 3.3.Farklı Eğimlerde Güneş Radyasyonun Aylara Göre Değişimi [56].

3.2.3. Panel Sıcaklığı

Bir Fotovoltaik panelin hücre sıcaklığı (T_c), istenilen bir hava sıcaklığı (T_a) ve ışıınım (G) değeri için NOCT sıcaklığı kullanılarak tahmin edilebilir [57].

$$T_c = T_a + \frac{NOCT - 20}{0.8} G(kW/m^2) \quad (3.2)$$

Bulunan sıcaklığı değeri, panel gücünü sıcaklığa bağımlılık katsayısı μ_p ile birlikte kullanılarak panelin çıkış gücü hesaplanabilmektedir.

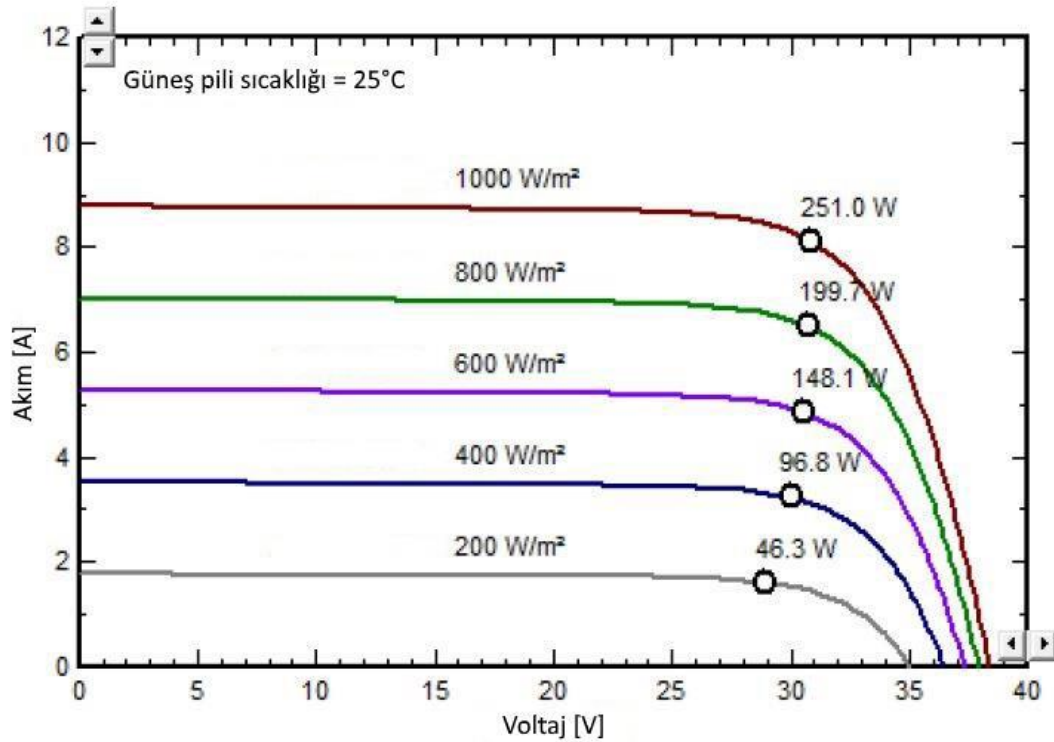
$$P_m(T_c) = P_{m,STC} [1 - \mu_p(T_c - 25)] \quad (3.3)$$

Burada $P_{m,STC}$ standard test koşullarındaki (STC) panel gücüdür. FV panellerde NOCT sıcaklığı 42-52°C arasındadır. Bu 10 derecelik sıcaklık farklılığı bağımlılık katsayısı $\mu_p=0.38-0.45$ %/K arasında Kabul edilirse, %3,8-4,5'luk verim düşüklüğü getirecektir. Dolayısıyla panel seçiminde NOCT sıcaklığı ile gücün sıcaklığa bağımlılık katsayısı birlikte değerlendirilmeli ve sıcaklıktan en az etkilenenler seçilmelidir [57].

3.2.4. Güneş Radyasyonu

Güneş paneli performansını etkileyen en önemli faktörlerden biri güneş radyasyonudur. Güneş radyasyonu arttıkça güneş pilinin performansı da orantılı olarak artmaktadır.

Aşağıdaki şekilde bir güneş paneli için 25 °C sıcaklıkta farklı güneş radyasyonları için akım gerilim grafiği gösterilmiştir.



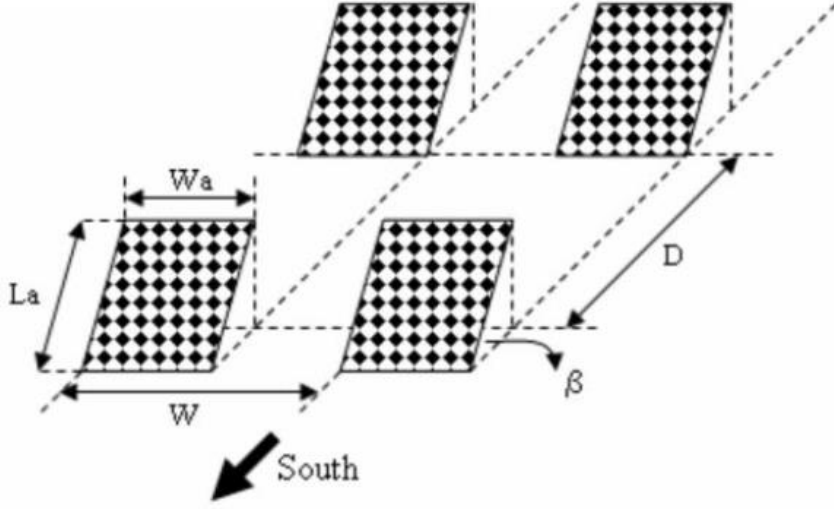
Şekil 3.4 Farklı Güneş Radyasyonlarına göre I-V eğrileri [58]

3.2.5. Rüzgar ve Nem

Rüzgar ve Nem, doğrudan enerji verimliliğini etkileyen temel faktörlerden birisi değildir. Ancak hava sıcaklığını ve radyasyonu dolaylı yoldan etkilemektedir. Güneş radyasyon hesabında PVSYST veya diğer yazılımların tamamında rüzgar ve nem dikkate alınmaktadır [59].

3.2.6. Arazi Kullanımı ve Gölgeden Kaçınma

Gölgeleme güneş pili performansını eksi yönde etkilemektedir. Panellerin doğru konumlanmaması, ağaç, binalar gibi etmenler dikkatlice analiz edilmelidir. Gölge sebebiyle bir ya da birden fazla güneş hücresi çalışmayabilir. Bu durumların önüne geçmek için by-pass diyotları sisteme entegre edilmektedir. Bu diyotlarla bir modül gölgede kalsa dahi sistem kendini by-pass diyotları ile tamamlamaktadır. Özellikle alanın kısıtlı olduğu projelerde kimi saatlerde bazı modüllerin gölgede kalmasına göz yumulmaktadır [59].



Şekil 3.5. Panel Yerleşimi ve Gölge Planlaması için Örnek Model [59]

3.2.7. Panel Temizliği

Kirlilik güneş pili performansını negatif etkileyen bir durumdur. Toz, kum ve kar gibi dış ortam etkenlerinden oluşabilir. Dış ortam olarak yağmur, genelde tozlanmayı engeller. Sistem bakımları sırasında manuel veya makineler ile paneller arındırılmalıdır [59].

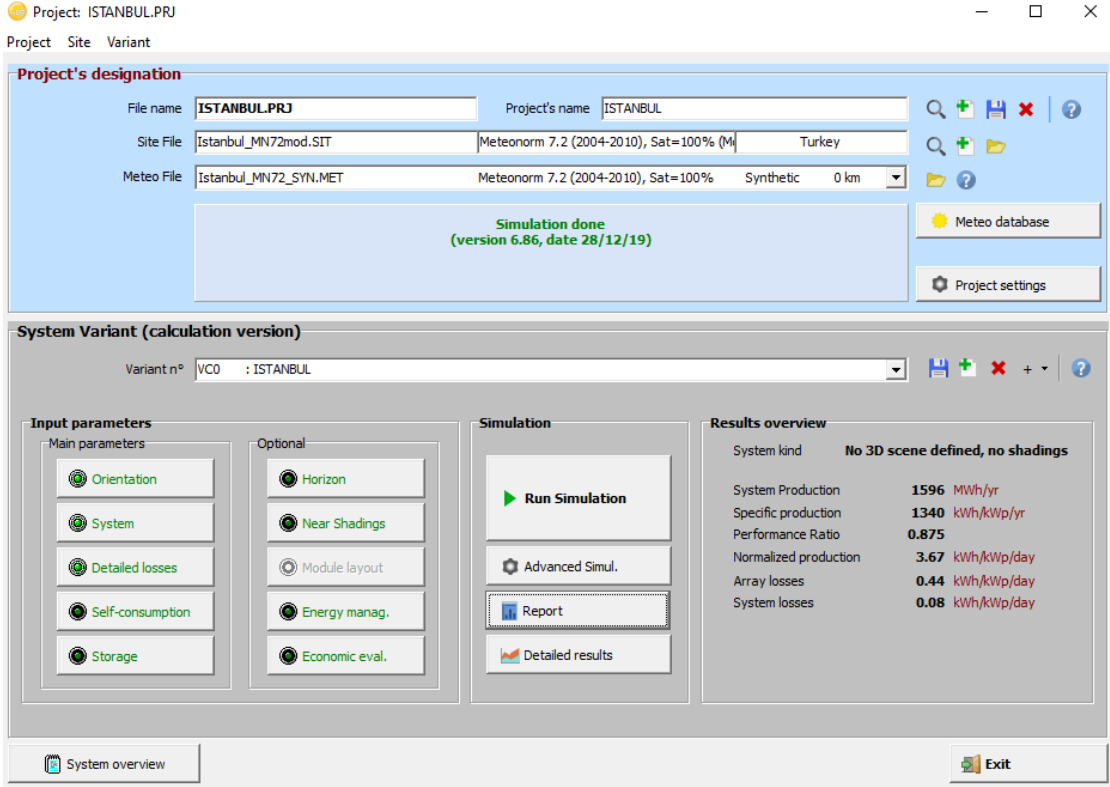
3.3. Modelleme Yazılımı

Fotovoltaik sistem uygulamalarında verimlilik ve uygunluk analizinin yapılmasında bir çok yazılım kullanılmaktadır. Bu yazılımlar temelde sistemden üretilebilecek enerji gücünü hesaplamaktadır ancak başka kaynaklardan yararlanılarak güneş radyasyon ve ısıtım değerleri de hesaplanabilmektedir. Bu programların ticari kullanımı genellikle ücretlidir ve aynı zamanda kurulumu gerekebilmektedir. Ancak programları öğrenme aşamasında demo versiyonların ücretsiz ve tüm özellikleri açıktır.

Bu çalışmada, PVSYST programının demo versiyonu kullanılmıştır. Bu yazılım ile istenilen bir koordinatta performansı etkileyen ışıınım, rüzgar, nem, sıcaklık, gölgelenme ve diğer tüm parametreler rahatlıkla elde edilemektedir. Bu veriler Meteonorm ve Nasa verileri dikkate alınmaktadır. Elde edilen parametreler ile tesis parametreleri de girilerek sistem sonuçları görülmektedir [61].



Şekil 3.6. PVSYST Yazılımı [61].



Şekil 3.7. PVSYST Sistem Arayüzü

3.4. Fotovoltaik Sistem Tasarımı

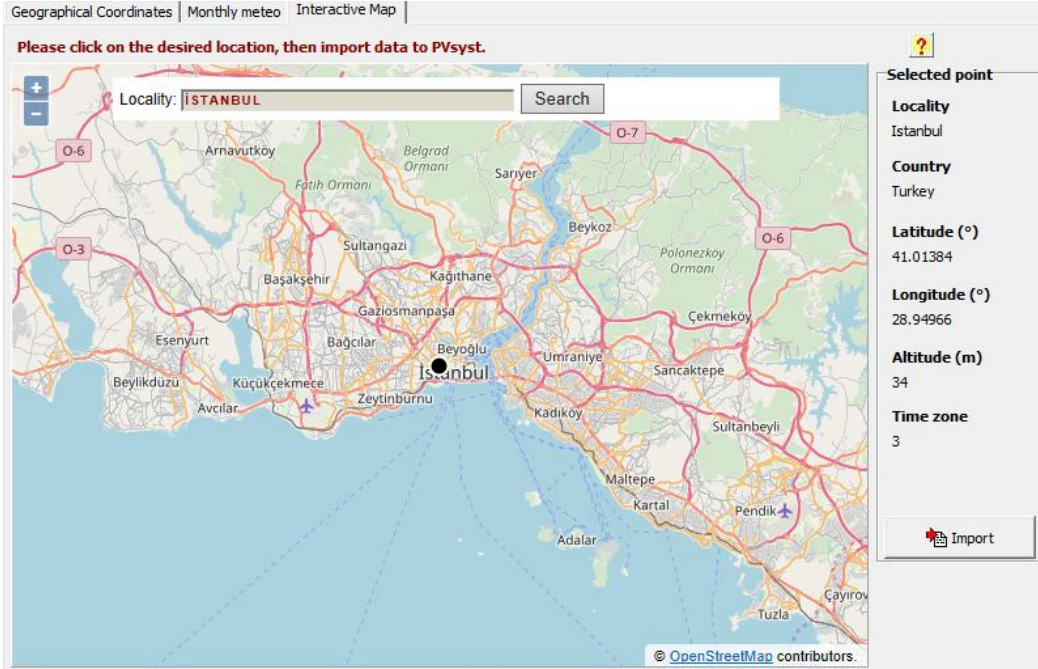
Fotovoltaik sistem projelendirmesi yapılırken birinci öncelik her zaman doğru bölgenin seçilmesidir. Bölgenin ortalama sıcaklık ve ışınlam değerleri, nemlilik, rüzgar değerleri doğru projelendirme için çok önemlidir.

3.4.1. Bölgelerin Seçimi ve Güneş Enerji Potansiyelleri

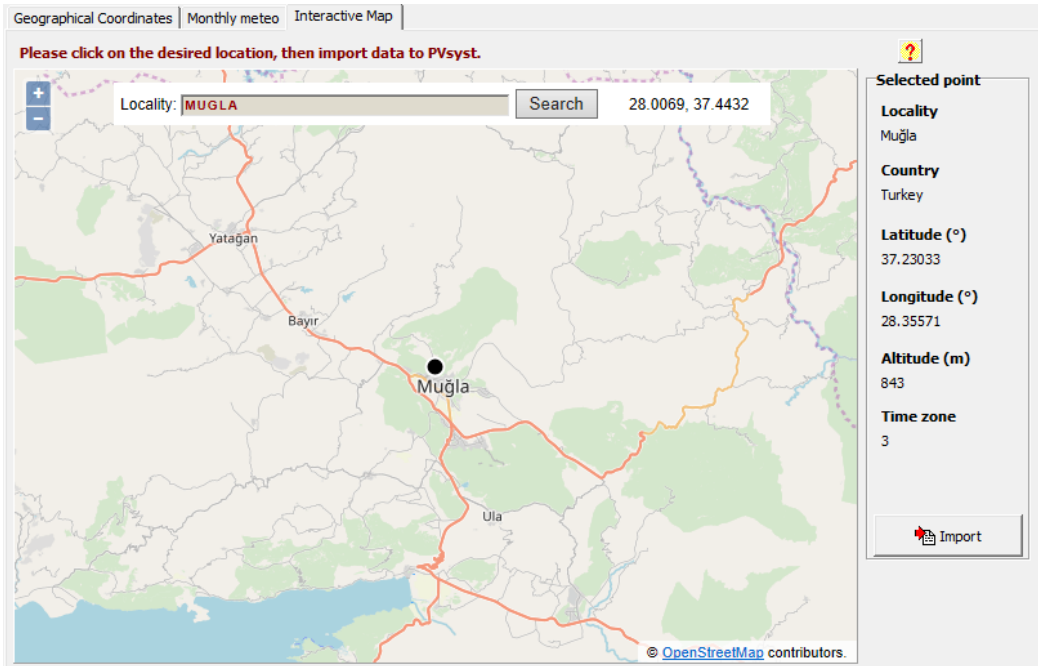
Bu çalışmada Türkiye'nin farklı iklimlerine sahip 7 farklı şehri projelendirme için seçilmiştir. Bu şehirlerin kurulmuş güneş enerji santrallerine göre düzenlenmiştir. Bu şehirler İstanbul, Muğla, Mersin, Konya, Ordu, Van ve Gaziantep'tir. Bu şehirlerin seçilmesine Türkiye'nin coğrafi yapısı dikkate alınmıştır ve farklı iklim özellikleri sahip olması beklenmiştir.

Sadece şehirlerin belirlenmesi güneş enerji potansiyelinin hesaplanmasında yeterli olmayacaktır. Yazılımda doğru çıktıların alınabilmesi için koordinat bazında bölge seçilmelidir. Belirlenen koordinatlara göre parametreler elde edilebilecektir.

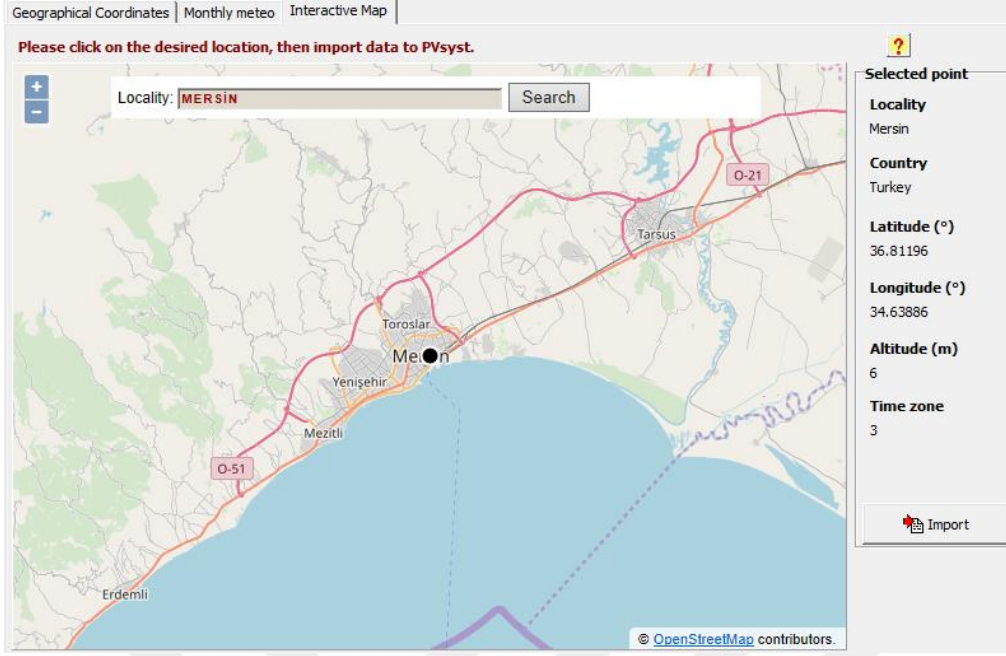
Belirlenen şehirlerin koordinatları ve lokasyonları aşağıda gösterilmiştir. Bu çalışmada teorik olarak bir analiz yapıldığı için belirlenen koordinatların gerçekte uygunluğu gözardı edilmiştir. Karşılaştırmalı analiz yapılacağı için şehirler üzerinden koordinat seçilmiştir.



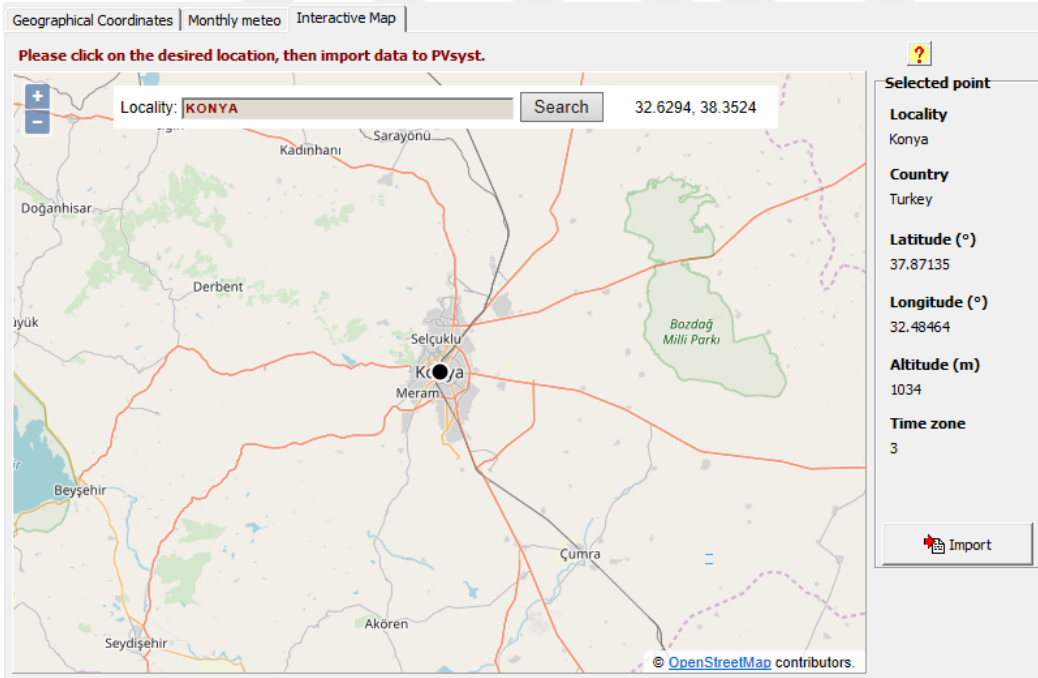
Şekil 3.8 İstanbul İli Belirlenen Koordinat



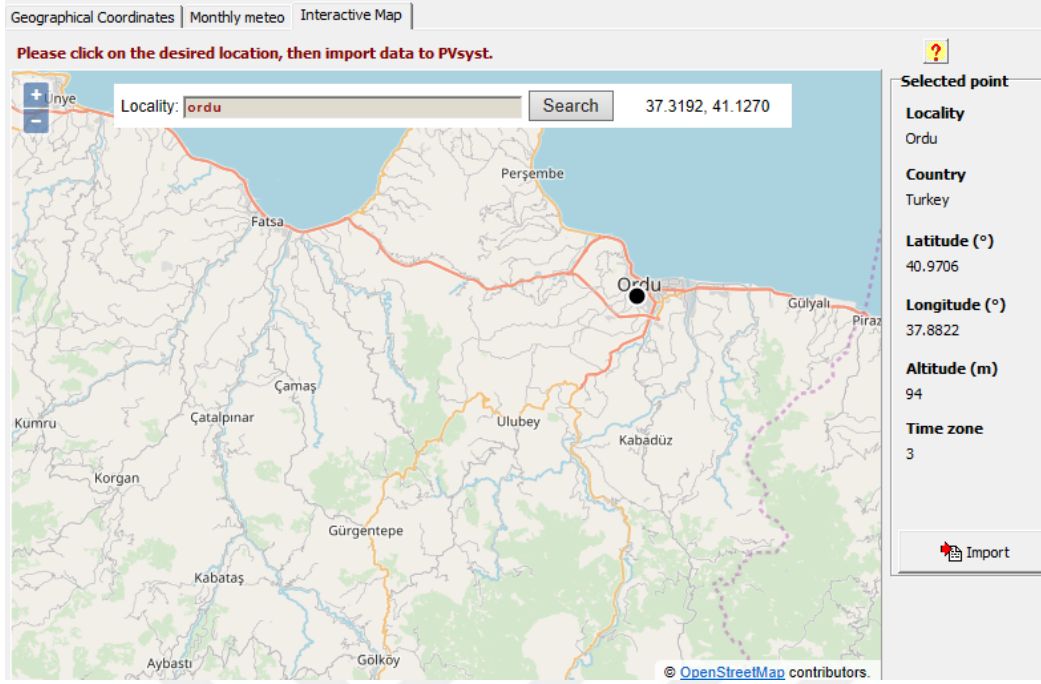
Şekil 3.9. Muğla İli Belirlenen Koordinat



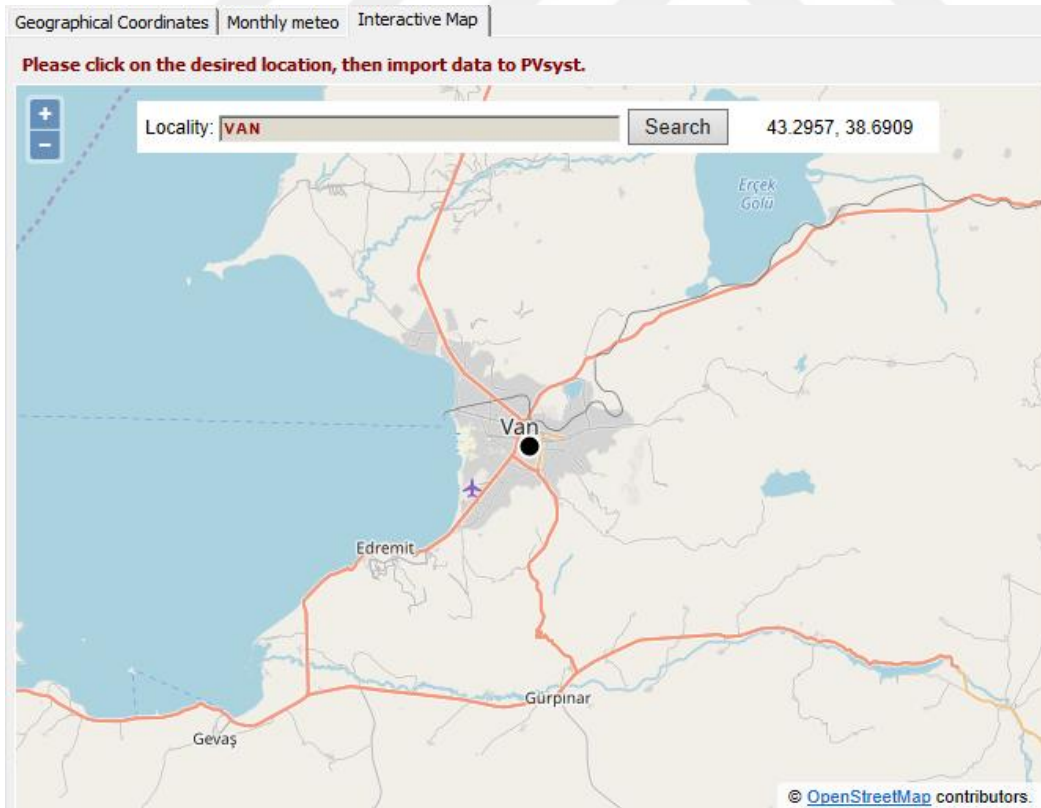
Şekil 3.10. Mersin İli Belirlenen koordinat



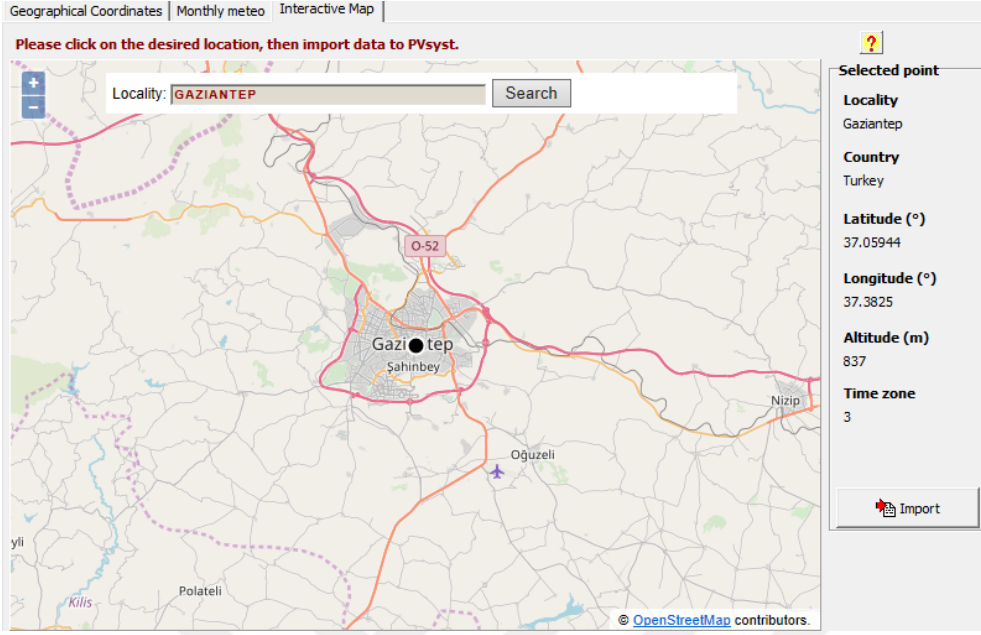
Şekil 3.11. Konya İli Belirlenen Koordinat



Şekil 3.12. Ordu İli Belirlenen Koordinat



Şekil 3.13. Van İli Belirlenen Koordinat



Şekil 3.14. Gaziantep İli Belirlenen Koordinat

PVSyst yazılımında bölgeler ve koordinatlar seçildikten akabinde METENOM'dan bölgenin aylık yatay ve dikey ışınım, ortalama sıcaklık, rüzgar ve nem gibi parametreler elde edilir. Bu veriler Tablo aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 3.2. İstanbul'un İklim Değerleri

Aylar	GlobHor kWh/m2	DiffHor kWh/m2	T_Amb °C	Wind Velocity m/s	Linke Turbidity	Relative Humidity %
Ocak	46,2	24,5	6,30	4,89	2,714	75,7
Şubat	57,7	32,9	6,3	5	2,86	75,5
Mart	96,5	46,9	9	4,59	3,069	71,3
Nisan	134,6	72,3	12,3	4,2	3,267	67
Mayıs	175,2	76,4	17,8	4,1	3,202	65
Haziran	187,3	91,3	22,4	4,3	3,267	60,4
Temmuz	194,3	83,1	25,6	4,81	3,267	58,9
Ağustos	167,7	74,1	25,5	4,9	3,392	62,8
Eylül	128	53,7	20,9	4,4	3,202	67,1
Ekim	87,3	49,4	17	4,3	3,069	72,5
Kasım	55,4	30,1	11,9	4,4	2,931	75,1
Aralık	41,7	25,9	8,2	4,99	2,714	73,7
Yıllık	1371,9	660,6	15,27	4,573333	3,0795	68,75

Tablo 3.3. Muğla İli İklim Verileri

Aylar	GlobHor kWh/m2	DiffHor kWh/m2	T_Amb °C	Wind Velocity m/s	Linke Turbidity	Relative Humidity %
Ocak	78,1	30,6	5,20	1,6	2,614	74,7
Şubat	84	36,3	5,5	1,69	2,834	73,3
Mart	126,9	58,9	9,2	1,71	3,109	65,8
Nisan	175,1	59,6	12,7	1,7	3,239	64
Mayıs	222,3	61	18,5	1,7	3,302	52,2
Haziran	235,5	59,9	23,6	1,9	3,239	43,11
Temmuz	247,8	50,7	27,5	2,09	3,302	36,5
Ağustos	221,5	51,6	27,2	1,9	3,363	39,3
Eylül	160,6	50,6	21,5	1,8	3,109	48,1
Ekim	117,5	45,4	16,4	1,5	2,974	61
Kasım	87,5	26,8	10,2	1,31	2,761	74
Aralık	75,6	23,5	6,5	1,49	2,688	78,2
Yıllık	1832,4	555	15,33	1,7	3,0445	59,2

Tablo 3.4. Mersin İli İklim Verileri

	GlobHor kWh/m2	DiffHor kWh/m2	T_Amb °C	Wind Velocity m/s	Linke Turbidity	Relative Humidity %
Ocak	69,5	27,7	9,40	2,59	2,884	59,2
Şubat	83	40,6	10,6	2,69	3,096	61,9
Mart	130,9	58,4	14,3	2,59	3,417	62,3
Nisan	159	69,1	17,5	2,49	4,343	64,6
Mayıs	188,2	82	22	2,4	3,761	61,7
Haziran	199	87,2	25,8	2,5	3,537	62,3
Temmuz	204,2	71,7	28,8	2,49	3,651	66,2
Ağustos	194,2	74,6	29	2,39	3,813	65,7
Eylül	157	51,9	25,7	2,29	3,537	61,2
Ekim	112,2	49,4	22,2	2,09	3,417	54,5
Kasım	74,4	37,3	15,6	2,09	3,025	58,3
Aralık	61	33,3	10,9	2,5	2,884	59,7
Yıllık	1632,5	683,3	19,3	2,4	3,447	61,4

Tablo 3.5. Konya İli İklim Verileri

	GlobHor kWh/m2	DiffHor kWh/m2	T_Amb °C	Wind Velocity m/s	Linke Turbidity	Relative Humidity %
Ocak	68,1	28,1	-0,80	2,9	2,949	81,4
Şubat	88,2	35,1	0,7	3,59	3,361	76,3
Mart	134,9	52,5	6,7	4,00	3,296	60,2
Nisan	158,5	72,1	10,9	3,7	3,722	56,9
Mayıs	203,6	79	16	3,69	3,361	52,2
Haziran	223	64,5	20,9	4,4	3,361	42,2
Temmuz	236,5	59,3	24,7	4,69	3,487	34,9
Ağustos	216,1	54,9	24,4	4,5	3,547	35,6
Eylül	168,7	46,9	18,8	3,6	3,229	45,7
Ekim	119,9	43,3	13,6	3,2	3,092	55,7
Kasım	83,1	28,9	6,4	2,8	2,949	73,7
Aralık	62,6	24,3	1,2	2,79	2,875	82,2
Yıllık	1763,4	589	12	3,7	3,269	58,1

Tablo 3.6. Ordu İli İklim Verileri

	GlobHor kWh/m2	DiffHor kWh/m2	T_Amb °C	Wind Velocity m/s	Linke Turbidity	Relative Humidity %
Ocak	48,6	27,1	6,7	2,69	2,816	66,6
Şubat	62,2	38,8	6,8	2,9	2,816	69,3
Mart	94,7	56,6	9	3,02	3,735	70,6
Nisan	118,6	62,3	11,2	2,6	3,46	77,7
Mayıs	152,9	84,9	15,8	2,39	3,386	78,4
Haziran	165,7	78	20,1	2,7	3,386	76,1
Temmuz	155,3	84,4	23,8	2,89	3,46	72,9
Ağustos	140,6	82,1	24,5	2,9	3,532	73,1
Eylül	110,8	58,5	20,7	2,9	3,311	75
Ekim	78,9	49,6	17,2	2,61	3,233	74,3
Kasım	50,6	29,3	12	2,61	2,904	71,4
Aralık	43,5	23,4	8,4	2,7	2,727	68,3
Yıllık	1222,5	675,1	14,7	2,7	3,231	72,8

Tablo 3.7. Van İli İklim Verileri

	GlobHor kWh/m2	DiffHor kWh/m2	T_Amb °C	Wind Velocity m/s	Linke Turbidity	Relative Humidity %
Ocak	66,5	30,7	-3,4	1,59	3,34	76,6
Şubat	84,8	35,3	-1,6	1,79	3,777	75,9
Mart	123,3	53,7	3,1	2,09	4,426	72,8
Nisan	156,8	65,3	8,2	2,4	4,686	70,1
Mayıs	199,7	77,4	13,2	2,39	3,888	65,5
Haziran	218,6	71,3	18	2,09	3,719	56,1
Temmuz	221,3	63,9	21,9	2,09	4,166	54,3
Ağustos	208,9	55,1	22,1	2	3,888	49,5
Eylül	168,5	46,9	17,3	2	3,599	52,5
Ekim	118,2	45,4	12	2,11	3,537	63,4
Kasım	77,2	28,3	4,5	1,89	3,407	71,5
Aralık	58,5	26,5	-0,8	1,8	3,537	74,5
Yıllık	1702,2	600	9,5	2	3,831	65,2

Tablo 3.8. Gaziantep İli İklim Verileri

	GlobHor kWh/m2	DiffHor kWh/m2	T_Amb °C	Wind Velocity m/s	Linke Turbidity	Relative Humidity %
Ocak	73,3	27,5	3,4	1,59	2,789	71,7
Şubat	82,5	39,1	5,1	1,79	3,08	72,4
Mart	143,1	52,9	9,9	2,09	3,349	65,9
Nisan	179,3	55,2	14	2,4	3,71	62,9
Mayıs	212,7	68,5	19,8	2,39	3,595	53,2
Haziran	246,2	46,6	25,8	2,09	3,536	39,4
Temmuz	253,9	47,3	30,2	2,09	3,653	32
Ağustos	226,5	47,9	29,5	2	3,765	35,4
Eylül	184	37,8	23,9	2	3,536	42,8
Ekim	136,4	34,4	18,2	2,11	3,475	52,7
Kasım	92,2	30	10	1,89	3,01	67,1
Aralık	73,8	25,1	5	1,8	2,864	70,7
Yıllık	1903,9	512,3	16,2	2	3,363	55,5

3.4.2. Sistem Tasarımı

Güneş enerji santral tasarımında öncelikli olarak panel eğim açısı ve azimut değeri girilmesi gerekmektedir. 12 Aylık maksimum verimi elde edebilmek için farklı senaryolar oluşturularak en uygun panel eğim açısı ve azimut açısı belirlenmiştir. Tablo 3.9’de belirlenen panel eğim açısı ve azimut açısı gösterilmiştir.

Tablo 3.9. Panel Konumu

Panel Eğim Açısı	30°
Azimut Açısı	0°

Şekil 3.16’de PVSyst sisteminde parametrelerin girildiği sayfa gösterilmiştir.

The screenshot displays the PVSyst software interface for setting field parameters. At the top, the 'Field type' is set to 'Fixed Tilted Plane'. Below this, the 'Field parameters' section includes input fields for 'Plane Tilt' (30.0°) and 'Azimuth' (0.0°). To the right, two diagrams illustrate the panel orientation: one showing a panel tilted at 30° and another showing a panel facing South (Azimuth 0°) with West and East directions indicated. Below the diagrams, the 'Optimization by respect to' section has three radio buttons: 'Yearly irradiation yield' (selected), 'Summer (Apr-Sep)', and 'Winter (Oct-Mar)'. To the right of these is a 'Show Optimization' button. Further right, the 'Yearly meteo yield' section displays three metrics: 'Transposition Factor FT' (1.14), 'Loss By Respect To Optimum' (-0.1%), and 'Global on collector plane' (1567 kWh/m²). At the bottom right, there are 'Cancel' and 'OK' buttons.

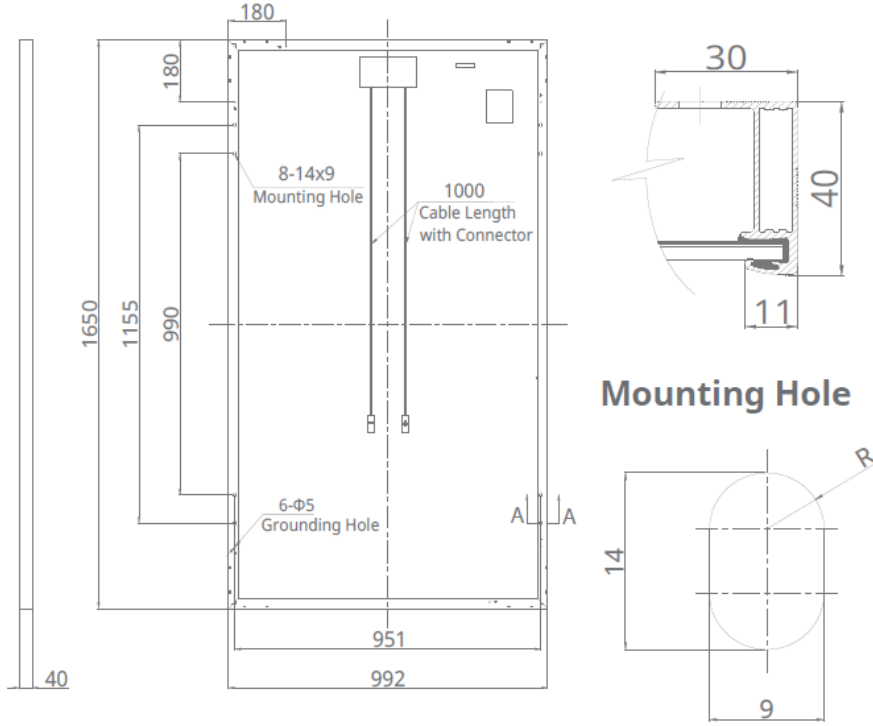
Şekil 3.16. PVSYST Yazılımında Panel ve Azimut Açısı Seçimi

Tasarımın devamında panel ve invertör seçimi yapılacaktır. Bu çalışmamızda panel olarak Kanadalı panel üreticisi Canadian Solar, invertör olarak Avusturya menşeli Fronius marka seçilmiştir. Bu üreticiler uluslararası alanda kendilerini kanıtlamış güneş enerji sektörünün önde gelen şirketleridir. [12,13].

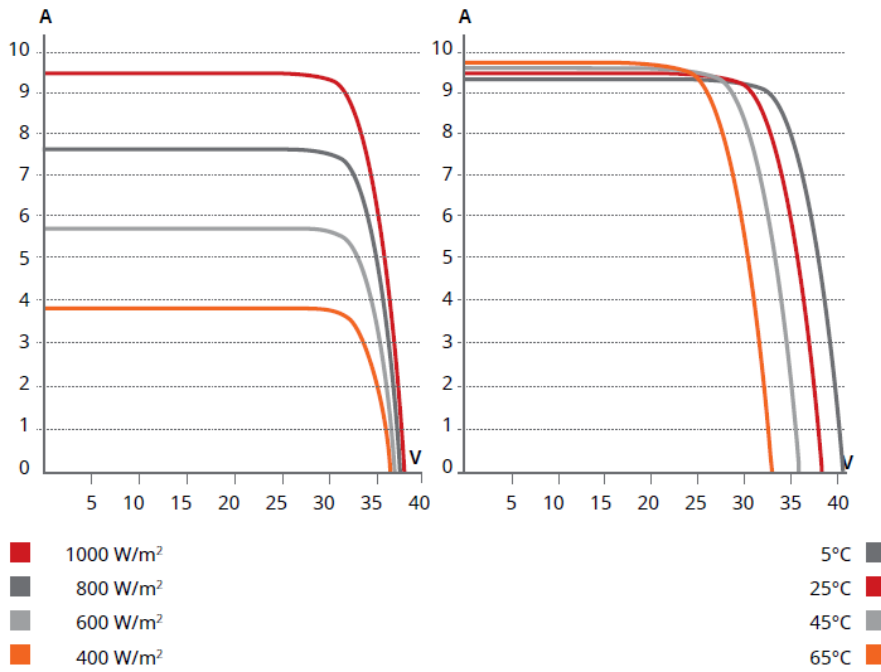
Tablo 3.10. Tesis Ana Elemanları

	Üretici	Kapasite
PV Modül	Canadian Solar	280 Wp - 26 V
İnvertör	Fronius	27 kW

Şekil 3.17’ de Canadian Solar marka güneş panelinin basit teknik resmi gösterilmiştir. Bu teknik resimler tesis tasarımında PVSYST yazılımının arka planında hesaplanmaktadır. Şekil 3.15.’de ise güneş panelinin teorik olarak hesaplanan akım-gerilim grafiği gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Güneş Paneli Teknik Çizimi [62].



Şekil 3.18. Güneş Panel Akım-Gerilim Grafiği [62].

Tablo 3.10 ve Tablo 3.11’da ürün kataloğundan alınan panel mekanik ve elektriksel özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 3.11. Güneş Paneli Elektriksel Özellikleri [63]

Nominal Maksimum Güç (Pmax)	280 W
Optimum Çalışma Gerilimi (Vmp)	31,3 V
Optimum Çalışma Akımı (Imp)	8,95 A
Açık Devre Gerilimi(Voc)	38,2 V
Kısa Devre Akımı (Isc)	9,52 A
Modül Verimi	17,11%
Çalışma sıcaklığı	-40°C ~ +85°C
Maksimum Sistem Gerilimi	1000 V

Tablo 3.12. Güneş Paneli Mekanik Özellikleri [63]

Hücre Tipi	Polikristal
Hücre Yapısı	60 (6x10)
Boyut	1665x99x40 mm
Ağırlık	18,2 Kg
Çerçeve Malzemesi	Alüminyum Alaşımı

Şekil 3.16’de Seçilen Fronius Eco 27kW invertörün fotoğrafı gösterilmiştir. Türkiye’de Fronius, güneş enerji sektöründe bilinen ve çok kullanılan bir markadır. Gerek fiyat gerekse performans açısından yatırımcılar tarafından tercih edilmektedir [90].



Şekil 3.19. Seçilen İnvertör [90].

Tablo 3.13 'de invertörün teknik parametreleri gösterilmiştir. İnvertörün maksimum giriş akımı 47,7 amperdir ve maksimum verimi %98,3'tür.

Tablo 3.13. İnvertör Özellikleri [90].

Maksimum Giriş Akımı	47,7 A
Maksimum Kısa Devre Akımı Modül Alanı	71,6 A
Nominal Giriş Gerilimi	580,0 V
Maksimum FV Jeneratör Gücü	37,8 kW _{peak}
AC Nominal Güç	27,0 kW
Maksimum Çıkış Gücü	27,0 kVA
Frekans	50 / 60 V
Koruma Derecesi	IP 66
Maksimum Verimi	98,30%

Şekil 3.20’de PVSyst programı üzerinde invertör ve panel seçim sayfası gösterilmiştir. Panel ve invertör seçimi haricinde dizaynında sonuçlanmasında önemli noktalardan birisi de string sayısıdır. Bu string sayısı, seri bağlanacak panel adedini belirtmektedir [90].

Global System configuration

1 Number of kinds of sub-arrays

Global system summary

Nb. of modules	4255	Nominal PV Power	1191 kWp
Module area	6998 m²	Maximum PV Power	1119 kWdc
Nb. of inverters	37	Nominal AC Power	999 kWac

PV Array

Sub-array name and Orientation

Name: PV Array

Orient: Fixed Tilted Plane

Tilt: 30°

Azimuth: 0°

Presizing Help

☒ No sizing

Enter planned power: 0.0 kWp

... or available area(modules): 0 m²

Select the PV module

Available Now Filter: All PV modules

Canadian Solar Inc. 280 Wp 26V Si-poly CS6K - 280PB-FG HE Since 2017 Manufacturer 2018

Sizing voltages: Vmpp (60°C) 26.8 V

Voc (-10°C) 42.4 V

☐ Use Optimizer

Select the inverter

Available Now Output voltage 400 V Tri 50Hz

Fronius International 27 kW 580 - 850 V TL 50/60 Hz ECO 27.0-3-S Since 2015

Nb. of inverters: 37

Operating Voltage: 580-850 V

Input maximum voltage: 1000 V

Global Inverter's power: 999 kWac

"String" inverter with 6 inputs

Design the array

Number of modules and strings

Mod. in series: 23 between 22 and 23

Nbre strings: 185

Overload loss: 0.1 %

Pnom ratio: 1.19

Nb. modules: 4255 Area: 6998 m²

Operating conditions

Vmpp (60°C): 615 V

Vmpp (20°C): 730 V

Voc (-10°C): 975 V

Plane irradiance: 1000 W/m²

Impp (STC): 1671 A

Isc (STC): 1761 A

Isc (at STC): 1761 A

Max. operating power at 1000 W/m² and 50°C: 1076 kW

Array nom. Power (STC): 1191 kWp

System overview Cancel OK

Şekil 3.20. Sistem Tasarımı.

Sistem tasarımına göre 1000 kWe’lık bir tesis için 27 kW’lık 37 adet invertör kullanılması gerekmektedir. Her bir invertörde 6 adet string vardır ancak biz çalışmamızda beşini kullandık ve birini boşta bıraktık. Sistem bize 22 veya 23 adet seri panel bağlanmaktadır. Bu çalışmada string başına 23 seri panel üzerinde projeledirme yapılmıştır. 5 string ve 23 seri panel kullanımından dolayı invertör başına 115 panel kullanılmıştır. Toplam 37 invertör olduğu için tasarımda 4255 adet panel kullanılmıştır. Yazılım tarafından hesaplanan bu veriler Tablo 3.14 ’de gösterilmiştir.

Tablo 3.14 Tasarım Detayları.

Kurulu Güç (kWe)	1000
İnvertör (kW)	27
İnvertör Adedi	37
String Sayısı	5
String Seri Sayısı	23
Panel Sayısı/İnvertör	115
Toplam Panel	4255
Panel Gücü (kW)	265
Toplam Pik Güç (Wp)	1127575
Toplam Pik Güç (kWp)	1127,575

PVSyst yazılımında aynı zamanda, sistem tasarımına göre, bölge koşulları dikkate alınarak termal kayıp faktörü otomatik olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.19’da bu sistem görüntüsü gösterilmiştir.

Şekil 3.21. Termal Kayıp.

4. SONUÇ

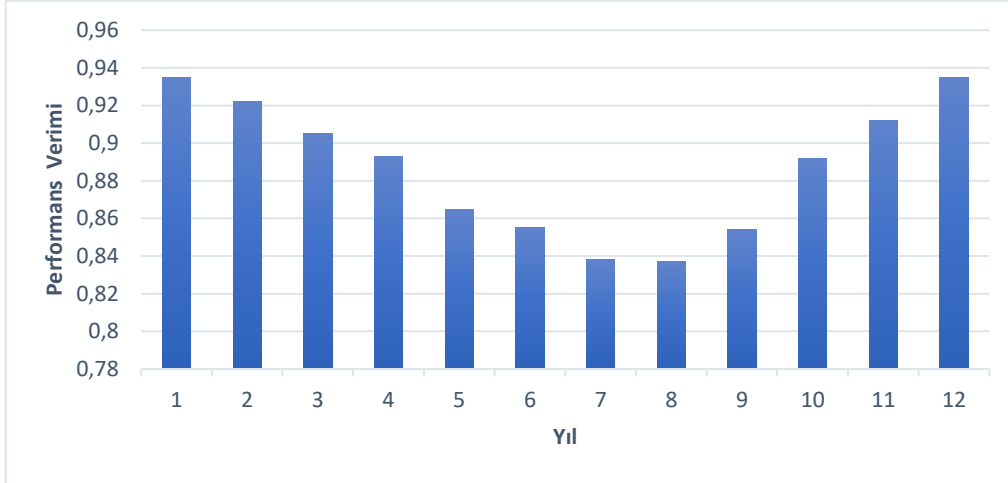
Bu çalışmanın sonucunda 7 farklı iklim bölgesinde yer alan illerin güneş enerji potansiyeli ve verimliliği, karbon salınımını ve ekonomik analizi hesaplanmıştır.

4.1. Güneş Enerji Potansiyeli ve Verimlilik

İstanbul, Konya, Van ve Ordu'da PVSyst yazılımı ile yapılan projelendirme ile bu bölgelerdeki ışıınım, ortam sıcaklığı, yükler, PV sistemden çıkan enerji, şebekeye verilen enerji ve santral verimi elde edilmiştir.

Tablo 4.1 İstanbul İlinde Elde Edilen Veriler.

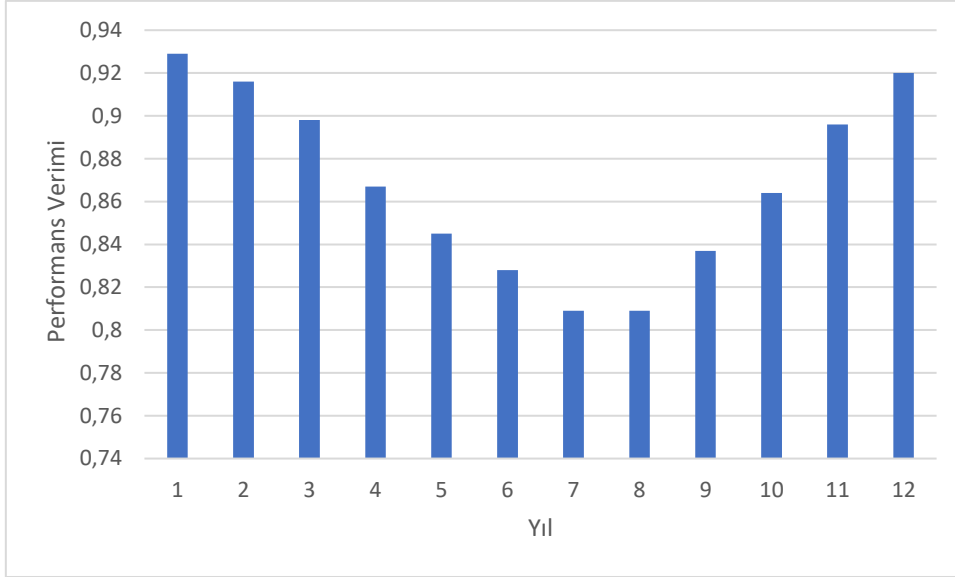
	Yatay Işınım kWh/m ²	Dikey Işınım kWh/m ²	Çevre Sıcaklığı°C	Küresel Yük kWh/m ²	Küresel Efektif Yük kWh/m ²	Üretilen Efektif Enerji MWh	Şebekeye Giren Enerji MWh	Performans Verimi
Ocak	46,2	24,46	6,25	70,8	69,6	80,8	78,9	0,935
Şubat	57,7	32,86	6,27	75	73,7	84,4	82,4	0,922
Mart	96,5	46,85	8,96	117,30	115,1	129,3	126,4	0,905
Nisan	134,6	72,27	12,32	144,5	141,3	157,1	153,6	0,893
Mayıs	175,2	76,37	17,78	172,4	168,7	181,5	177,6	0,865
Haziran	187,3	91,28	22,37	178,2	174,2	185,5	181,6	0,855
Temmuz	194,3	83,09	25,59	187,3	183,2	190,9	186,9	0,838
Ağustos	167,7	74,08	25,54	177,2	173,5	180,5	176,8	0,837
Eylül	128	53,7	20,93	150,7	147,8	156,6	153,3	0,854
Ekim	87,3	49,37	17,05	112,5	110,3	122,3	119,6	0,892
Kasım	55,4	30,14	11,93	81,8	80,3	90,9	88,9	0,912
Aralık	41,7	25,87	8,25	63,2	62	72,1	70,4	0,935
Yıllık	1371,9	660,35	15,33	1530,7	1499,6	1632	1596,2	0,875



Şekil 4.1 İstanbul İli Performans Verimi.

Tablo 4.2. Muğla İlinden Elden Edilen Verileri.

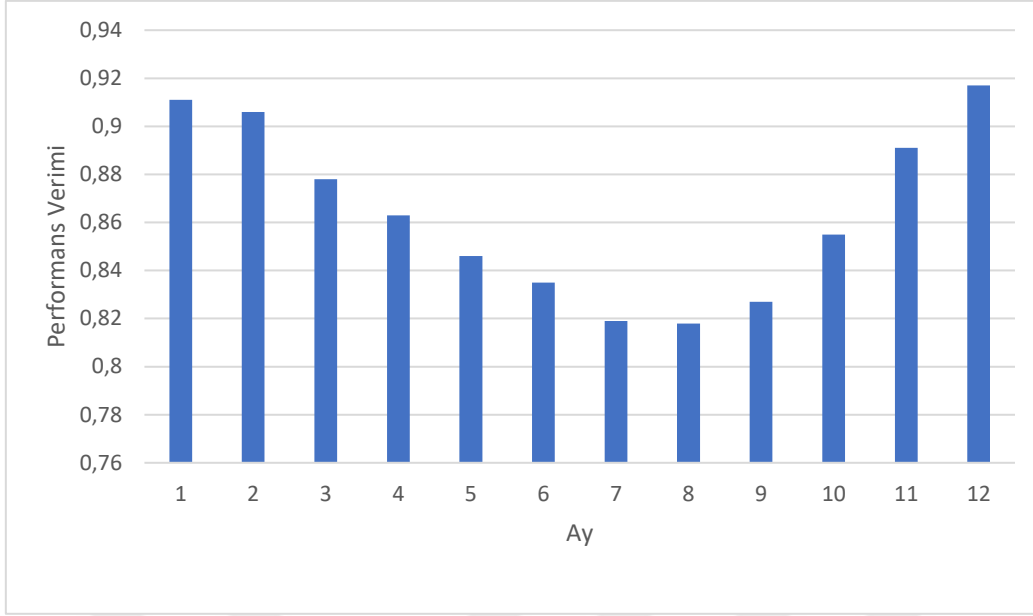
	Yatay Işınım kWh/m2	Dikey Işınım kWh/m2	Ortalama Sıcaklık °C	Küresel Yük kWh/m2	Küresel Efektif Yük kWh/m2	Üretilen Efektif Enerji MWh	Şebekeye Giren Enerji MWh	Performans Verimi
Ocak	78,1	30,6	5,20	124,5	69,6	140,9	137,7	0,929
Şubat	84	36,3	5,5	112,3	73,7	125,3	122,4	0,916
Mart	126,9	58,9	9,2	152,60	115,1	166,9	163,2	0,898
Nisan	175,1	59,6	12,7	187,8	141,3	198,1	193,8	0,867
Mayıs	222,3	61	18,5	216,8	168,7	223	218,3	0,845
Haziran	235,5	59,9	23,6	217,9	174,2	219,5	215	0,828
Temmuz	247,8	50,7	27,5	234,4	183,2	230,4	225,8	0,809
Ağustos	221,5	51,6	27,2	230,2	173,5	226,3	221,8	0,809
Eylül	160,6	50,6	21,5	187,8	147,8	191,2	187,2	0,837
Ekim	117,5	45,4	16,4	153,1	110,3	161,1	157,7	0,864
Kasım	87,5	26,8	10,2	137,5	80,3	150	146,8	0,896
Aralık	75,6	23,5	6,5	128,4	62	144	140,8	0,92
Yıllık	1832,2	554,98	15,39	2083,2	1499,6	1632	2130,6	0,858



Şekil 4.2. Muğla İli Performans Verimi.

Tablo 4.3. Mersin için Elde Edilen Veriler.

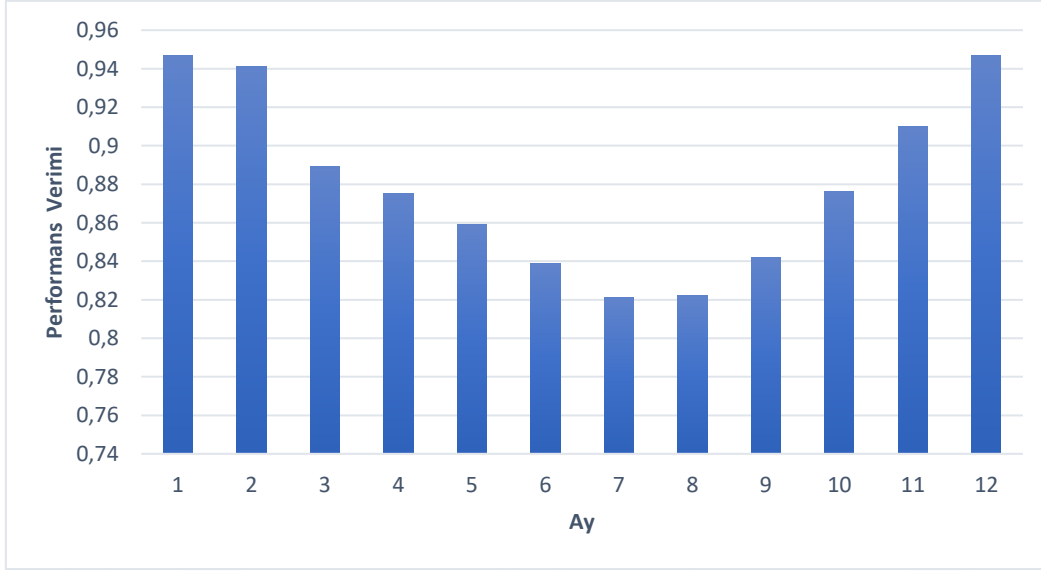
	Yatay Işınım kWh/m ²	Dikey Işınım kWh/m ²	Ortalama Sıcaklık °C	Küresel Yük kWh/m ²	Küresel Efektif Yük kWh/m ²	Üretilen Efektif Enerji MWh	Şebekeye Giren Enerji MWh	Performans Verimi
Ocak	69,5	27,73	9,35	108	106,4	119,9	117,3	0,911
Şubat	83	40,6	10,61	111,5	109,6	123,1	120,3	0,906
Mart	130,9	58,42	14,32	155,80	153,1	166,6	163	0,878
Nisan	159	69,14	17,55	170,5	167,1	179,2	175,3	0,863
Mayıs	188,2	82,03	22,05	180,7	176,8	186,1	182,2	0,846
Haziran	199	87,15	25,78	185,7	181,6	188,7	184,8	0,835
Temmuz	204,2	71,7	28,77	193,4	189,3	192,6	188,7	0,819
Ağustos	194,2	74,59	29,04	200,2	196,2	199,2	195,2	0,818
Eylül	157	51,93	25,7	183	179,9	184	180,3	0,827
Ekim	112,2	49,41	22,18	145,7	143,3	151,5	148,4	0,855
Kasım	74,4	37,27	15,56	107,1	105,3	116,2	113,7	0,891
Aralık	61	33,29	10,87	93,2	91,6	104,2	101,9	0,917
Yıllık	1632,5	683,27	19,37	1834,9	1800,1	1911,2	1871	0,856



Şekil 4.3. Mersin İli Performans Verimi.

Tablo 4.4. Konya İlinde Elde Edilen Veriler.

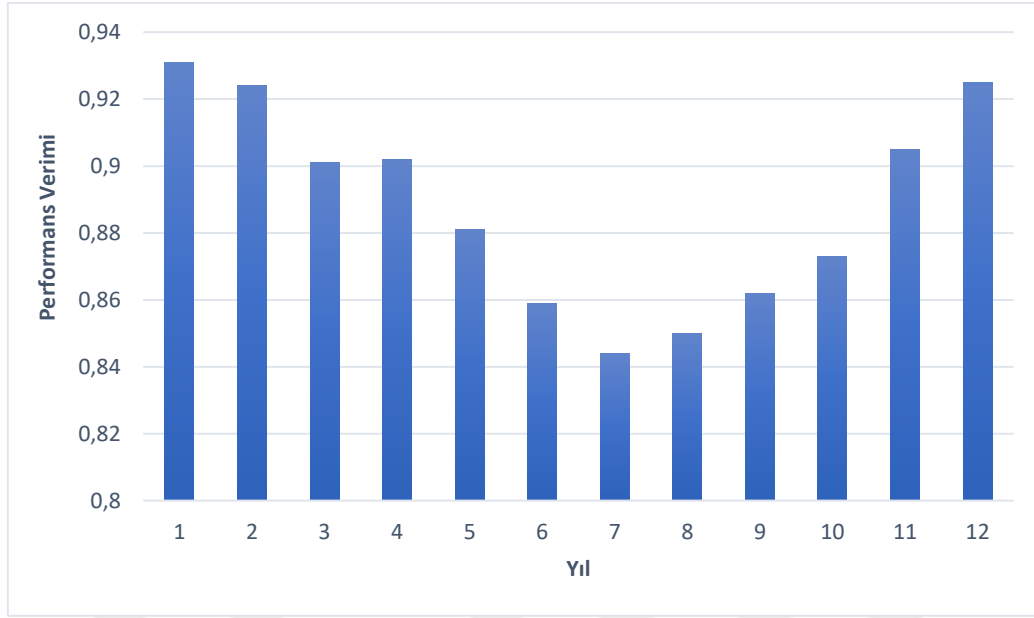
	Yatay Işınım kWh/m ²	Dikey Işınım kWh/m ²	Çevre Sıcaklığı°C	Küresel Yük kWh/m ²	Küresel Efektif Yük kWh/m ²	Üretilen Efektif Enerji MWh	Şebekeye Giren Enerji MWh	Performans Verimi
Ocak	70,4	28,2	-0,70	110,8	109,2	128	125	0,947
Şubat	89,1	36,1	1	126,4	124,4	144,9	141,7	0,941
Mart	136,5	53,2	6,5	167,10	164,1	181	177	0,889
Nisan	159,3	73,5	11	168,2	164,7	179,3	175,4	0,875
Mayıs	204,1	76	16,3	199,3	195	208,5	204	0,859
Haziran	224	62,8	21	208,4	203,9	212,7	208,3	0,839
Temmuz	236,7	58,1	24,9	224,5	219,8	224,2	219,6	0,821
Ağustos	215,1	52,5	24,3	225,6	221,2	225,4	220,8	0,822
Eylül	165,4	50,1	18,6	194,9	191,3	199,7	195,6	0,842
Ekim	119,5	41,1	13,3	161,3	158,8	172	168,3	0,876
Kasım	79,3	28,9	6,1	122,4	120,6	135,8	132,8	0,91
Aralık	61,7	23,8	1,1	105,2	103,5	121,4	118,6	0,947
Yıllık	1761,1	584,3	12,02	2014,2	1976,5	2133	2087	0,87



Şekil 4.4. Konya İli Performans Verimi.

Tablo 4.5. Ordu İlinde Elde Edilen Veriler.

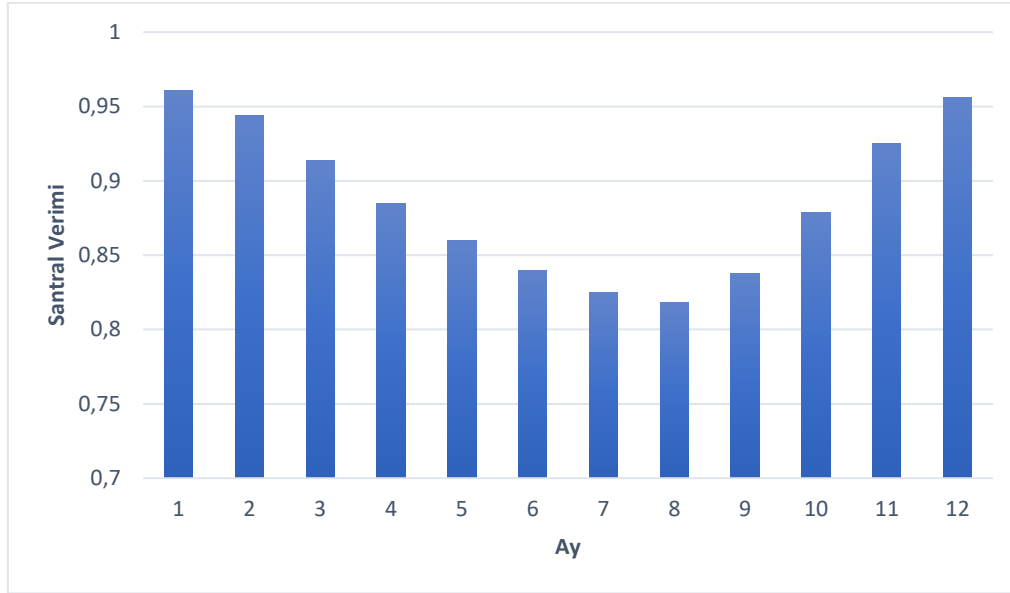
	Yatay Işınım kWh/m2	Dikey Işınım kWh/m2	Ortalama Sıcaklık °C	Küresel Yük kWh/m2	Küresel Efektif Yük kWh/m2	Üretilen Efektif Enerji MWh	Şebekeye Giren Enerji MWh	Performans Verim
Ocak	48,5	24,6	6,41	76	74,7	86,3	84,3	0,931
Şubat	62,4	33,4	6,58	83,2	81,8	93,8	91,6	0,924
Mart	94,6	50,32	8,87	110,20	108,1	121,2	118,3	0,901
Nisan	117,9	73,7	11,15	124,2	121,5	136,6	133,5	0,902
Mayıs	151,3	87,7	15,66	148,3	144,7	159,1	155,6	0,881
Haziran	164	82	20,04	156,7	153,1	163,9	160,4	0,859
Temmuz	153,1	78	23,78	146,8	143,3	150,9	147,6	0,844
Ağustos	138,8	81,37	24,43	141,4	138,1	146,4	143,2	0,85
Eylül	110	61,64	20,6	124,8	122,3	131,1	128,2	0,862
Ekim	78,6	40,08	17,06	100,3	98,5	106,7	104,3	0,873
Kasım	50,3	27,05	11,85	74,3	73	82,1	80,2	0,905
Aralık	43,3	23,6	8,22	69	67,7	77,9	76,1	0,925
Yıllık	1212,7	663,47	14,61	1355,3	1326,9	1455,9	1423,2	0,881



Şekil 4.5. Ordu İli Performans Verimi.

Tablo 4.6. Van İlinde Elde Edilen Veriler.

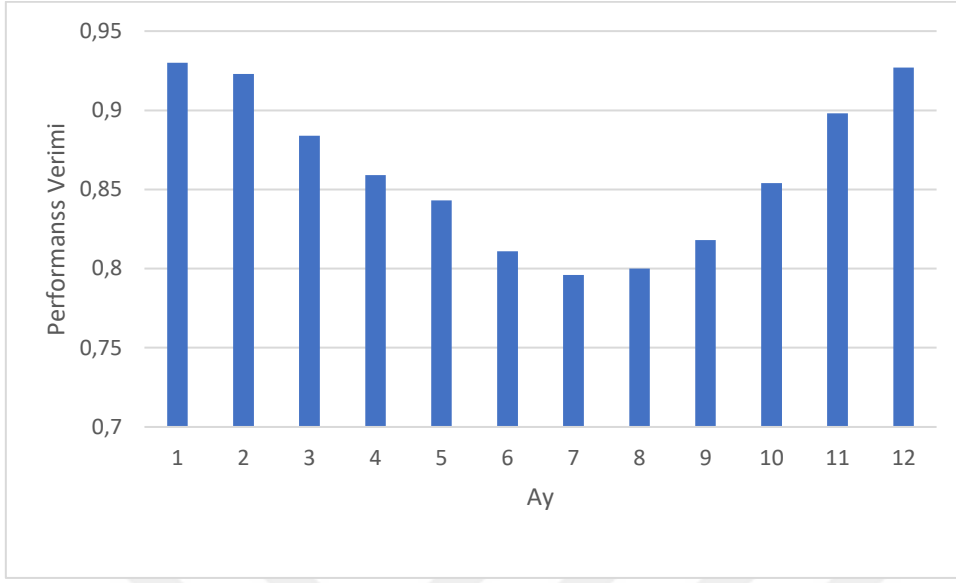
	Yatay Işınım kWh/m ²	Dikey Işınım kWh/m ²	Çevre Sıcaklığı°C	Küresel Yük kWh/m ²	Küresel Efektif Yük kWh/m ²	Üretilen Efektif Enerji MWh	Şebekeye Giren Enerji MWh	Performans Verimi
Ocak	61,7	30,99	-2,23	93,6	92	109,7	107,1	0,961
Şubat	79,3	46,75	2,74	103,4	101,6	118,9	116,2	0,944
Mart	117,3	71,86	8,97	136,50	133,9	152	148,7	0,914
Nisan	153	79,82	13,72	164,6	161,3	177,5	173,6	0,885
Mayıs	198,8	85,03	18,47	196,3	192,3	205,5	201,1	0,86
Haziran	218	85,77	23,31	207,1	202,8	211,5	207,2	0,84
Temmuz	221,5	86,45	26,76	214,8	210,4	215,5	211,2	0,825
Ağustos	209,7	67,8	26,86	222	217,9	220,8	216,3	0,818
Eylül	169,5	49,48	21,69	203,8	200,3	207,8	203,5	0,838
Ekim	117,6	48	15,67	157,7	155,2	168,7	165,1	0,879
Kasım	75,9	36,92	7,73	113,4	111,6	127,8	125	0,925
Aralık	55,1	31,22	1,08	84,3	82,8	98,3	96,1	0,956
Yıllık	1677,4	720,1	13,79	1897,6	1862,1	2014,1	1971,2	0,872



Şekil 4.6. Van İli Performans Verimi.

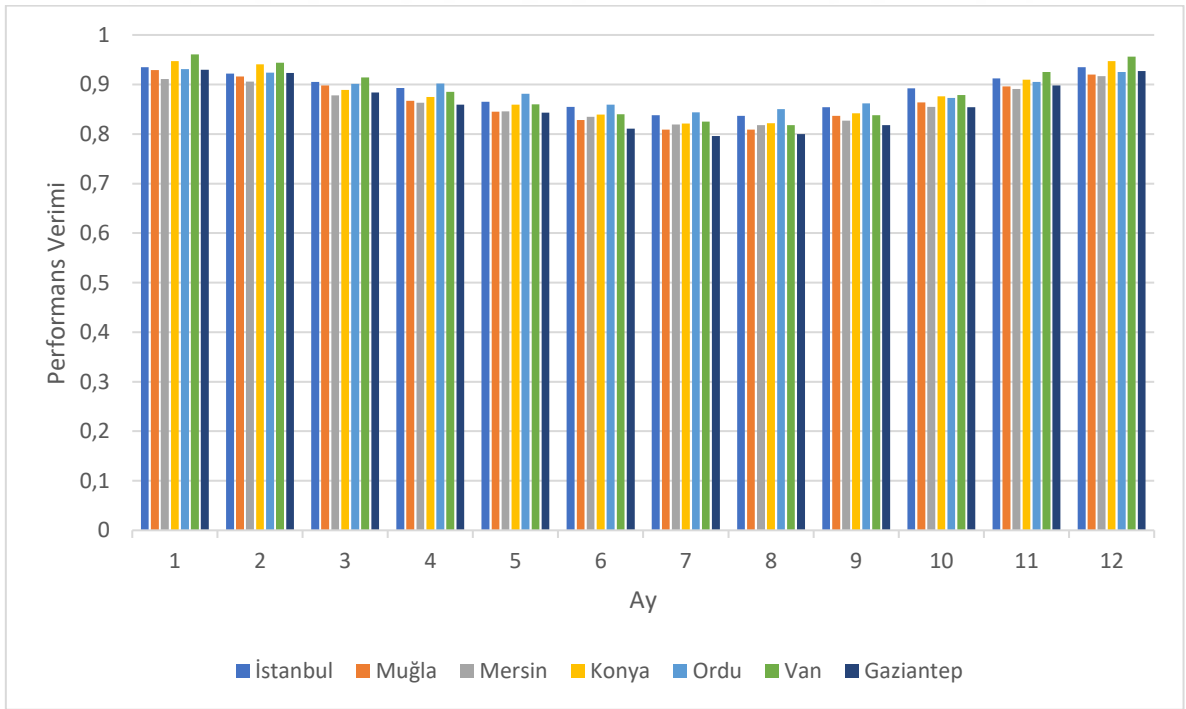
Tablo 4.7. Gaziantep İlinden Elde Edilen Veriler.

	Yatay Işınım kWh/m ²	Dikey Işınım kWh/m ²	Ortalama Sıcaklık °C	Küresel Yük kWh/m ²	Küresel Efektif Yük kWh/m ²	Üretilen Efektif Enerji MWh	Şebekeye Giren Enerji MWh	Performans Verimi
Ocak	73,3	27,5	3,41	117,1	115,3	132,7	129,7	0,93
Şubat	82,5	39,11	5,09	110,3	108,5	124	121,2	0,923
Mart	143,1	52,89	9,86	173,20	170,4	186,4	182,3	0,884
Nisan	179,3	55,18	14,02	193,8	190,6	202,7	198,3	0,859
Mayıs	212,7	68,54	19,78	204,8	200,5	210,1	205,8	0,843
Haziran	246,2	46,6	25,78	226,8	222	223,6	219,1	0,811
Temmuz	253,9	47,31	30,23	239,7	234,8	231,8	227,2	0,796
Ağustos	226,5	47,92	29,46	235,9	231,7	229,2	224,7	0,8
Eylül	184	37,8	23,89	219,8	216,5	218,6	214,2	0,818
Ekim	136,4	34,4	18,2	188,5	185,9	195,8	191,8	0,854
Kasım	92,2	29,97	9,98	144,3	142,3	157,9	154,5	0,898
Aralık	73,8	25,11	4,99	126,7	124,8	143,1	140	0,927
Yıllık	1903,9	512,33	16,29	2180,9	2143,2	2255,8	2208,6	0,875

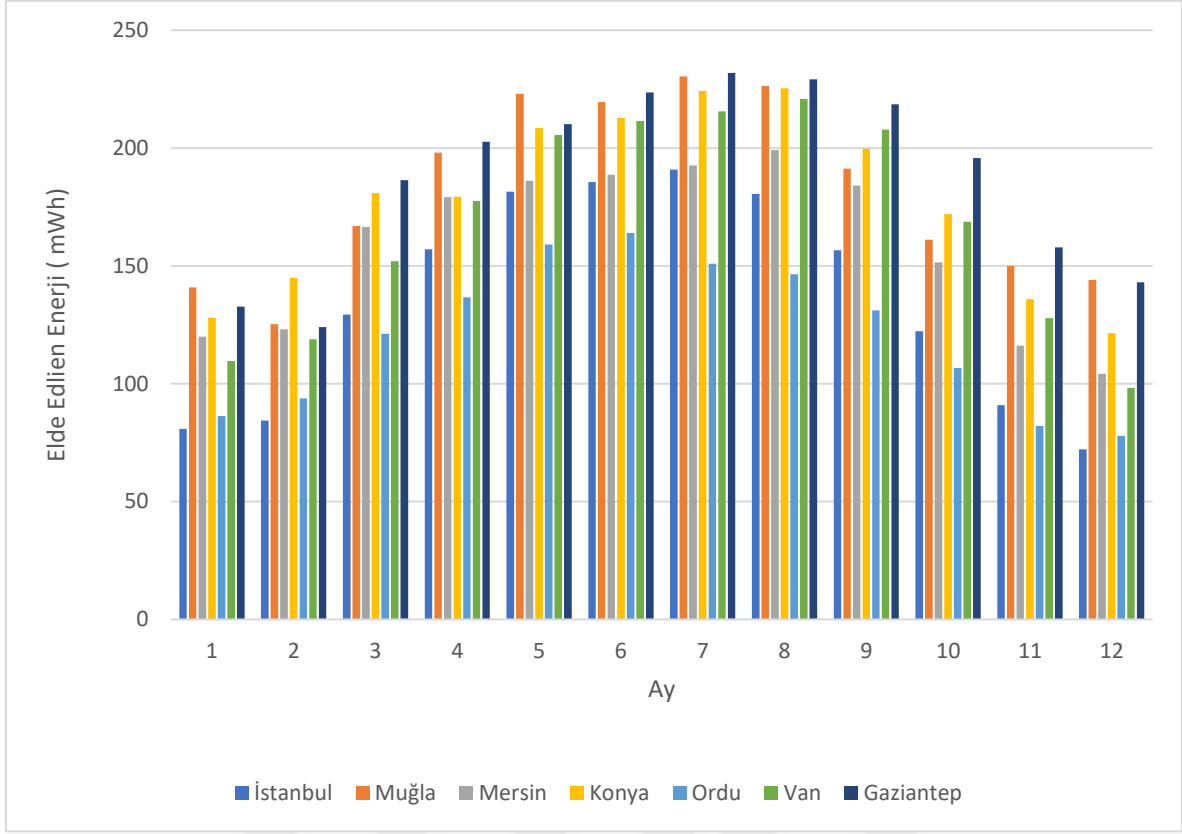


Şekil 4.7. Gaziantep İli Performans Verimi.

4 Farklı bölgeden elde edilen veriler enerji üretim verileri ve santral verimleri karşılaştırma grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.8. İllere Göre Aylık Performans Verimi.



Şekil 4.9. İllere Göre Aylık Elde Edilen Enerji (mWh).

Farklı bölgelerde yer alan İstanbul, Muğla, Mersin, Konya, Ordu, Van ve Gaziantep illerinde yapılan güneş enerji santral projelendirmesi yapılmıştır. Bu projelendirme ile PVsyst yazılımı kullanılarak meteorolojik veriler elde edilmiş ve sonrasında başlıca güneş enerji santral elemanı olan panel ve invertör seçimi yapılmıştır.

PVsyst yazılımı ile her bir ildeki enerji üretim verileri ve verimliliklerinin karşılaştırmalı sonuçları grafiklerle gösterilmiştir. Çalışmanın devamında santral elemanları ve diğer tüm giderler hesaplanarak 1 mWe'lik kurulu güce sahip bir tesisin kurulum maliyeti hesaplanmıştır.

Sonuç olarak, İstanbul, Konya, Van ve Ordu illerinde yapılan projelendirme ile İstanbul'da yılda 1596 mWh, Muğla'da 2131 mWh, Mersin'de 1871 mWh, Konya'da yılda 2087 mWh, Ordu'da 1423 mWh, Van'da yılda 1971 mWh ve Gaziantep'te 2209 mWh elektrik üretimi olması beklenmektedir.

Tablo 4.8. Yıllık Elektrik Üretimi ve Ortalama Performans Verimi

	MWh/Yıl	Santral Verimi
İstanbul	1596	87,52%
Muğla	2131	85,84%
Mersin	1871	85,59%
Konya	2087	86,97%
Ordu	1423	88,14%
Van	1971	87,19%
Gaziantep	2209	85,00%

5.2. Çevresel Etki

Doğaya zararı olmayan güneş enerjisi ile üretilen enerjinin karbon salınımı engellemektedir. Tablo 4.9’da belirlenen illerde güneş enerji santrali kurulmuş olsaydı, tabloda belirtilen miktarlarda karbon salınımı engellenmiş olacaktı.

Tablo 4.9. Engellenen Karbon Salınımı

İstanbul	686,28 ton
Muğla	1002,33 ton
Mersin	804,53 ton
Konya	897,41 ton
Ordu	611,89 ton
Van	847,53 ton
Gaziantep	949,87 ton

4.2. Ekonomik Analiz

7 Farklı ildeki güneş enerji santralleri, aynı kapasiteli planlandığı için sistem elemanları ve diğer süreçler aynı olacaktır. Bu durumdan dolayı tek bir maliyet fizibilitesi yapılması yeterli olacaktır.

Aşağıdaki tabloda tüm gereklilikler belirtilmiş olup, birim eleman maliyeti ve toplam maliyeti belirtilmiştir. Bu analiz ile santral kurulum maliyeti 616.270,00 \$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.10. Proje Maliyet Hesabı.

	Birim maliyet	Toplam maliyet
PV Panel (Wp)	\$ 0,28	\$ 338.800,00
Kontrüksiyon (Wp)	\$ 0,07	\$ 85.470,00
DC-AC Kablo		\$ 20.000,00
İnvertör	\$ 2.000,00	\$ 74.000,00
AC Pano	\$ 5.000,00	\$ 5.000,00
Trafo	\$ 25.000,00	\$ 25.000,00
Enerji Nakil Hattı	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
Topraklama	\$ 3.000,00	\$ 3.000,00
Tel Çit Kamera	\$ 15.000,00	\$ 15.000,00
Saha Tesfiye Nakliye	\$ 30.000,00	\$ 30.000,00
Santral Kurulum Maliyeti		\$ 616.270,00

2019 yılında Türkiye’de ortalama elektrik birim fiyatı yaklaşık 85 \$/mWh ‘tır. Yenilenebilir enerji kaynakları ile kurulan bu sistemlerin yatırımcıya katkısı aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Yatırımcı veya devlet bu güneş enerji santrali kurmak isterse, İstanbul’da yatırımını 4,54 yıl, Muğla’da 3,40 yıl, Mersin’de 3,88 yıl, Konya’da 3,47 yıl, Ordu’da 5,1 yıl, Van’da 3,68 yıl, Gaziantep’te 3,28 yılda çıkarmaktadır. Bu hesaplama %100 anapara ile kurulan bir tesis için geçerlidir. **Tablo 4.11.** Tasarım Sonucu Elde Edilecek Yıllık Gelir.

	MWh/Yıl	Elektrik Piyasa Takas Fiyatı	Yıllık Gelir
İstanbul	1596		\$ 135.660,00
Muğla	2131		\$ 181.135,00
Mersin	1871		\$ 159.035,00
Konya	2087	\$ 85,00	\$ 177.395,00
Ordu	1423		\$ 120.955,00
Van	1971		\$ 167.535,00
Gaziantep	2209		\$ 187.765,00

Tablo 4.12. Yatırımın Amortisman Süresi.

Şehir	Amortisman Süresi (Yıl)
İstanbul	4,54
Muğla	3,40
Mersin	3,88
Konya	3,47
Ordu	5,10
Van	3,68
Gaziantep	3,28

4.3. Değerlendirme

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi farklı iklim koşullarında verimlilikleri incelenmiştir. Bu inceleme ile beraber 1 mW'lık bir güneş enerji santralinin ekonomik analizi ve çevresel etkileri değerlendirilmiştir. Bu inceleme neticesinde güneş radyasyonunu etkileyen faktörler göz önünde bulundurularak, her bir bölgedeki üretilebilecek enerji miktarı ve performans verimleri hesaplanmıştır. Güneş enerjisinden üretilen enerji ile ne kadarlık karbon salınımının engellendiği hesaplanmıştır. Van ilindeki güneş enerji potansiyelinin Mersin ilinden daha iyi olduğu gözlenmiştir. Bu gibi birçok detay çalışmamızda yer almaktadır. Sonuç olarak bu çalışmanın gerek akademik gerekse yatırımcılara yardımcı olması planlanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Ertuğrul, Ö., Kurt, B., (2009) Yenilebilir Enerji Kaynakları Maliyet Analizi ve Sürdürülebilir Yek Uygulamaları. 5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 18-21 Haziran, Diyarbakır.
- [2] BP Statistical Review of world Energy Workbook (2014). Retrieved from BP Statistical Review of world Energy.
- [3] Çoban A., Kılınç N., Yenilenebilir Enerji Tüketimi ve Karbon Emisyonu İlişkisi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Sayı:38, 195-208.
- [4] Ürün, E., Soyu, E., (2017) Sosyal Bilimler Dergisi ICEBSS Özel Sayısı, 2017.
- [5] İncekara, A., Demez, S., Akyol, (2014) M., Arge Harcamalarına Yapılan Teşviklerin Etkinliği: Türkiye Brics Ülkeleri Karşılaştırmalı Analizi, İktisat Politikaları Araştırmaları Dergisi, Cilt 1, Sayı 2.
- [6] International Energy Agency. (2016), Key Renewables Trends Excerpt from: Renewables information.
- [7] Dikmen, B.Ç., ve Gültekin, B.A., (2011), Usage of renewable energy resources in buildings in the context of sustainability, Journal of Engineering Science and Design, 1(3):96-100.
- [8] Dinçer, F. (2011) Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Potansiyeli – Ekonomik Analiz ve AB Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Değerlendirme, KSU Mühendislik Dergisi, 14(1), 8-1.
- [9] Clover, I. ve Tsagas, I. (2018) www.pv-magazine.com/2018/02/09/europe-added-8-61-gw-of-solar-in-2017-with-turkey-taking-top-spot/, 02 Eylül 2020.
- [10] <https://www.teias.gov.tr/tr/i-kurulu-guc>.
- [11] Dinçer, F. (2011). Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Potansiyeli – Ekonomik Analiz ve AB Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Değerlendirme, KSU Mühendislik Dergisi, 14(1), 8-1.
- [12] <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-24/elektrikyillik-sektor-raporu>
- [13] Arslan, L., (2015) Güneş Enerjisi Santrali (GES) Yatırım Süreci ve Mevzuat. EMO-GENSED-İTÜ Güneşin Geleceğini Anlatıyor.
- [14] 30 Nisan Tarihli Cumhurbaşkanlığı Kararnamesi.
- [15] The German Solar Energy Society (DGS). (2013). Planning and Installing Photovoltaic Systems: A Guide for Installers, Architects and Engineers. Earthscan from Routledge.
- [16] Kaplan, Z. (2012). Fotovoltaik Sistem Tasarımı, Yüksek lisans tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [17] Siemens, (2008) Training Notes, İstanbul.
- [18] http://photochemistry.epfl.ch/EDEY/PV_materials.pdf
- [19] Şenol, M., Abbasoğlu, S., Kükrer, O., Babatunde, A. A. (2016). Aguide in installing large-scale PV power plant for self consumption mechanism. Solar Energy, 132, 518-537.
- [20] Siemens, (2008) Training Notes, İstanbul.

- [21] <https://ohioline.osu.edu/factsheet/AEX-652-11>>, (23 Aralık 2019)
- [22] Tozlu, C. (2004). Muğla Üniversitesinde Kurulu Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Performans Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- [23] Sayın, S., Koç, İ. (2011). Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik (PV) Sistemler ve Yapılarda Kullanım Biçimleri. Selçuk Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, c.26, s.3, 89-106.
- [24] Aslan, N. 2005. Güneş Arabasında Fizik ve Elektronik. Formula-G Yarışları.
- [25] <http://www.sma.de/en/products/solar-inverters/sunny-central.html> (6.12.2019)
- [26] Yong, H., (2016), Influence of the charge regulator strategy on state of charge and lifetime of VRLA battery in household photovoltaic Systems, Solar Energy, Volume 80, Issue 3, Pages 281-287.
- [27] https://www.labri.fr/perso/billaud/Helios2/resources/en10/Chapter_10_EN.pdf (15.12.2019)
- [28] <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/2014/5/4/how-solar-works> (15.12.2019)
- [29] Şen, İ., Yıldırım, N., (2014) Güneş Enerji Santrallerinin Teknolojik ve Sosyal Etkileri, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Sempozyumu, Bursa.
- [30] M. Šuri, T. A. Huld, E. D. Dunlop, (2017) Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries,» Solar energy, cilt 81, no. 10, pp. 1295-1305.
- [31] Gilbert M.,(2013) Renewable and Efficient Electric Power Systems, IEEE Press, England.
- [32] <https://www.solar.ist/antalya-stadyumu-catisina-kurulan-2-gunes-enerji-santrali-ile-25-yildir-elektrik-uretiyor/> (29.12.2019)
- [33] <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/23-2-3/mevzuat/> (1.12.2019)
- [34] <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-92/elektriklisanssiz-> (1.12.2019)
- [35] <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-86/elektriklisans-islemleri/> (1.12.2019)
- [36] Aslan, N. (2005) Güneş Arabasında Fizik ve Elektronik. Formula-G Yarışlar, İstanbul.
- [37] <https://www.teknoenerji.com.tr/karapinar-ges/> (2.12.2019)
- [38] Kaplan, Z. (2012). Fotovoltaik Sistem Tasarımı, Yüksek lisans tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [39] Alkan, S. (2014), Düzce Şartlarında Bir Evin Enerji İhtiyacını Karşılacak Fotovoltaik Sistemin Kurulumu, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce.
- [40] Georgitsioti, T. (2015) Photovoltaic Potential and Performance Evaluation Studies in India and the UK- Doctoral thesis, Northumbria University, England.

- [41] Jung, S., (2014) Solar Energy Potential in China, South Korea and Japan, Master Thesis, University of Vienna.
- [42] Eltayeb, S. (2013) Renewable Energy Potential in New Zealand – By the Numbers, Master Thesis, Massey University, New Zealand.
- [43] Dr. Wirth, H., (2018) Recent Facts about Photovoltaics in Germany, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 82, Part 1, pp 894-900.
- [44] Gidwani, L. (2018). Estimation of Energy Production of Grid Connected Rooftop Solar Photovoltaic System at Nagar Nigam Kota, Rajasthan. 2018 3rd International Innovative Applications of Computational Intelligence on Power, Energy and Controls with their Impact on Humanity (CIPECH), Ghaziabad, India.
- [45] Malvoni, M., Leggieri, A., Maggiotto, G., Congedo, P., and De Giorgi, M. (2017) Long term performance, losses and efficiency analysis of a 960 kWp photovoltaic system in the Mediterranean climate. Energy Conversion and Management, 145, 169-181.
- [46] Kolanu, H. K. (2017) Zero Net Energy Building: Feasibility Study at California State University, Long Beach, America.
- [47] Faysal, A., Islam, M. R., Uddin, M. M., and Raihan, M. R. (2018). Potentiality of Grid Connected Photovoltaic System for The Rural Area of Bangladesh. 2018 International Conference on Advancement in Electrical and Electronic Engineering (ICAEEE), Gazipur, Bangladesh.
- [48] Pathirana, W. P. M. R., Muhtaroglu, A. (2013). Multifaceted Feasibility Analysis of PV Solar Application in Northern Cyprus. International Journal of Renewable Energy Research, Vol.3, No4, 941-950.
- [49] Durak, F. S. (2016), Fotovoltaik Sistemlerin Ekonomik Analizi: Malatya'daki Bir Kamu Binası Örneği. (Yüksek lisans tezi). İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- [50] Özkök A., (2015) Türkiye'nin Yedi Coğrafi Bölgesinde Eysel Elektrik İhtiyacının Çatı Üstü Fotovoltaik Sistemler İle Karşılmasının Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [51] Kaya, K., Şenel, M., Koç, E., (2018) Dünya'da ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi, Technological Applied Sciences, Sayı 13 sf.219-234.
- [52] Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y., Uğurlu, İ. (2018) Dünyada ve Türkiye'de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi, Mühendis ve Makina cilt 59, sayı 692, s. 86-114.
- [53] Türkiye' nin Güneş Enerjisi Parametre Değerleri (2018) İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, Cilt 7, Sayı 3.

- [54] Şen, Z. (2014) Türkiye'nin Temiz Enerji İmkânları, Mimar ve Mühendis Dergisi, Sayı: 33, Nisan Mayıs-Haziran, 6-12.
- [55] Cura, D. (2015). Evaluation Of The Technical And Economic Aspects Of Solar Photovoltaic Plants Which Were Built Under Different Climate Conditions And Feed-in Tariff Zones. (Yüksek lisans tezi). Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [56] https://www.pvsyst.com/wp-content/uploads/2019/01/PVsyst_Tutorials.pdf
- [57] www.alternative-energy-tutorials.com/solar-power/pv-panel.html
- [58] M. Boztepe, E. Cetin, E. Deniz ve M. Colak, (2008) Evaluation of Sun Tracking in Photovoltaic Arrays Using Shading Analysis, %1 içinde 5th International Symposium on Electrical and Computer Systems, Lefke, Turkish Republic of North Cyprus.
- [59] Girgin, M., (2011) Karaman Bölgesinde 5 MW'lık Güneş Enerji Santrali için Enerji Üretim Değerlendirmesi ve Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Enerji Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi .
- [60] Yong, H., (2016), Influence of the charge regulator strategy on state of charge and lifetime of VRLA battery in household photovoltaic Systems, Solar Energy, Volume 80, Issue 3, Pages 281-287.
- [61] Kaplan, Z. (2012). Fotovoltaik Sistem Tasarımı, Yüksek lisans tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.