

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



MUNZUR
ÜNİVERSİTESİ
2008

**TEK VE ÇİFT YÖNLÜ GÜNEŞ PANELLERİNİN VE GÜNEŞ ENERJİ
SANTRALLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI İNCELEMESİ**

Talha YÜCEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Cihad FİDAN

TUNCELİ – 2025

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



MUNZUR
ÜNİVERSİTESİ
2008

**TEK VE ÇİFT YÖNLÜ GÜNEŞ PANELLERİNİN VE GÜNEŞ ENERJİ
SANTRALLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI İNCELEMESİ**

Talha YÜCEL
(210080041)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Cihad FİDAN

TUNCELİ – 2025

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**TEK VE ÇİFT YÖNLÜ GÜNEŞ PANELLERİNİN VE GÜNEŞ ENERJİ
SANTRALLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI İNCELEMESİ**

Talha YÜCEL
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ ANABİLİM DALI

Bu tez 03/06/2025 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

İmza
Doç. Dr. Melih
YÜCESAN
(Munzur Üniversitesi)
BAŞKAN

İmza
Dr. Öğr. Üyesi Cihad FİDAN
(Munzur Üniversitesi)
DANIŞMAN

İmza
Dr. Öğr. Üyesi
Cihangir KALE
(Fırat Üniversitesi)
ÜYE

Bu tez, Enstitümüz Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mühendislik Yönetimi Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Doç. Dr. Nagihan KARAASLAN AYHAN
Enstitü Müdürü

NOT: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı “Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu”ndaki hükümlere tabidir.

TEŞEKKÜR

Lisansüstü eğitimim süresince her alanda bilgi ve tecrübe birikimiyle bana yol gösteren saygı değer danışmanım sayın Dr. Öğr. Üyesi Cihad FİDAN' a teşekkürlerimi sunuyorum. Bu çalışmamda güneş enerji sahasının sahibi Murat KAYA Bey'e enerji santrali ile ilgili bilgilerini hiçbir şekilde çekinmeden paylaşarak çalışmamı tamamlamamda yardımlarından dolayı şükranlarımı sunuyorum. ACB enerji yöneticilerinden Mehmet Taha YILDIZ Bey'e göstermiş olduğu ilgi alakadan dolayı teşekkür ederim. Bu tezin bilgilerinin toplanıp iç dizaynının oluşturulmasında ve karşılaştığım her zorlukta desteklerini esirgemeyen Dr. İbrahim Cemaleddin KULOĞLU'na teşekkür ederim. Hayat boyu şefkat ve sevgi ile bana her konuda desteklerini esirgemeyen çok değerli annem ve babama şükranlarımı sunuyorum. Yazım süresi ve gerekse çalışmamın yapılması süresi boyunca benimle beraber çalışmalarına yardım eden çok kıymetli eşime bu durumlara sabrettiği için en kalbi duygularıyla teşekkür ediyorum. Çalışmamın en başımdan en sonuna kadar burada ismini sayamadığım hocalarıma, aile dostlarıma ve iş arkadaşlarıma da teşekkür ediyorum.

Tunceli 2025

Talha YÜCEL

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ŞEKİLLER LİSTESİ	IV
TABLolar LİSTESİ	VI
KISALTMALAR LİSTESİ	VII
ÖZET	VIII
ABSTRACT	IX
1. GİRİŞ.....	1
2. ENERJİ KAYNAKLARINA GENEL BAKIŞ	3
2.1. Yenilenebilir Enerjinin Tanımı ve Sınıflandırılması.....	3
2.1.1 Güneş enerjisi	7
2.1.2 Hidrojen enerjisi	14
2.1.3 Biyokütle enerjisi.....	15
2.1.4 Rüzgâr enerjisi	17
3. FOTOVOLTAİK HÜCRELER	22
3.1. Fotovoltaik Hücreler ve Tarihsel Gelişimi	22
3.2 Fotovoltaik Hücrelerin Fiziksel Özellikleri.....	24
3.3 Fotovoltaik Hücrelerin Çalışma Prensibi	25
4. FOTOVOLTAİK PANEL LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	27
5. PROJE DEĞERLENDİRME YÖTEMLERİ.....	42
5.1. Paranın Zaman İçinde Değer Değişimini Dikkate Almayan Yöntemler (Statik Yöntemler).....	43
5.1.1. Proje maliyetlerinin karşılaştırıldığı yöntem	43
5.1.2. Projelerin karlılıklarının karşılaştırıldığı yöntem	44
5.1.3.Proje Karlılıklarının Analizi Yapıldığı Yöntemi	45
5.1.4.Projenin geri ödeme süresinin değerlendirildiği yöntem.....	46
5.2. Paranın Zaman İçinde Değer Değişimini Dikkate Alan Yöntemler (Dinamik Yöntemler).....	47
5.2.1.Net bugünkü değer yöntemi	48
5.2.2. Dinamik geri ödeme yöntemi	55
5.2.3. İç karlılık oranı yöntemi (İKO)	56
5.2.4. Karlılık endeksi yöntemi	58
5.2.5.Yıllık eşdeğer masraf oranı yöntemi	59
6.PROBLEMİN TANIMI	61
6.1. Çalışmanın Kapsamı ve Amacı	62
6.2. Çalışmanın Kısıtlılıkları	63
7. MATERİYAL VE METOD.....	64
7.1.Yatırım Maliyetleri	64
7.1.1. Mühendislik Giderleri ve Lisans Bedeli	65
7.1.2. Arazi maliyeti	65
7.1.3. GES kurulumu için arazinin hazırlanması ve inşa giderleri	66
7.1.4. Projede kullanılacak makine ve ekipmanlar	70
7.1.4.1.Projede kullanılması düşünülen fotovoltaik panel	70
7.1.4.2. Proje kapsamında kullanılacak inverter.....	74
7.1.4.3.Proje kapsamında kullanılacak kablolar (pv panel- inverter).....	75
7.1.4.4.Güneş enerji santralinin gözetleme ve kontrol alanı	77

7.1.4.5.Projede kapsamında kullanılacak alçak gerilim kablosu.....	78
7.1.4.6. Enerji nakil hatları ve güneş enerji santralinin trafo merkezi.....	79
7.1.5.Güneş enerji santralinin kurulumu için yapılan harcama ve hizmetlerin sınıflandırılması.....	80
7.1.6.Proje kapsamında karşılaştırılması yapılacak tek yönlü panel kullanılan güneş enerji santralinin maliyet ve genel bilgileri	85
7.1.6.1.Güneş enerji santralinin kurulumu için yapılan harcama ve hizmetlerin sınıflandırılması.....	85
8. EKONOMİK HESAPLAMALAR.....	89
9. BULGULAR	93
10. SONUÇ VE ÖNERİLER	95
11.KAYNAKLAR	97
ÖZGEÇMİŞ	



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Enerji olarak kullanılan kaynaklar ve sınıflandırılması.....	4
Şekil 2.2.	Dünyada kullanılan enerji kaynaklarının dağılımı.....	4
Şekil 2.3.	Aalborg şehrinin smart enerji bağlantı gösterimi.....	6
Şekil 2.4.	Kaynaklara göre 2016 yılı elektrik enerjisi üretimi dağılımı.....	7
Şekil 2.5.	Dünya koordinat sistemi ve Türkiye'nin konumu.....	8
Şekil 2.6.	Avusturalya'nın güneş haritası.....	9
Şekil 2.7.	Avustralya'nın güneş enerjisinin yıllara göre elde edinilen gücü.....	9
Şekil 2.8.	Bazı ülkelerin güneş enerjisi potansiyeli (solargis).....	11
Şekil 2.9.	Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA).....	11
Şekil 2.10.	Türkiye aylık ortalama radyasyon değerleri (kWh/m ²).....	12
Şekil 2.11.	Türkiye aylara göre saatlik güneş alma süresi dağılımı.....	12
Şekil 2.12.	Haziran 2022 itibariyle toplam kurulu güç içerisindeki oranları.....	13
Şekil 2.13.	Toplam kurulu güç içerisinde ki güç açısından MW cinsinden miktarı.....	13
Şekil 2.14.	HOMER programında yapılmış incelemenin görüntüsü.....	14
Şekil 2.15.	Yakıt hücresinin çıkışı (kW).....	15
Şekil 2.16.	Modern ve geleneksel biyokütlenin oransal dağılımı.....	16
Şekil 2.17.	Rüzgâr türbininin görüntüsü.....	17
Şekil 2.18.	Rüzgâr türbini ile üretilen enerjinin maliyetinin değişimi.....	18
Şekil 2.19.	Off-shore rüzgâr enerjisinin 1990- 2007 yılları arası artışı.....	19
Şekil 2.20.	Denizlerdeki rüzgâr enerjisi potansiyeli.....	19
Şekil 2.21.	Avrupa ülkelerinin denizden üretilen rüzgâr enerjisi kapasiteleri.....	20
Şekil 2.22.	Off-shore rüzgâr enerji üretim sisteminin üretim-kıyı bağlantı blok diyagramı.....	20
Şekil 3.1.	Yıllara göre farklı üretim teknolojilerine sahip maddeler ve kararlılıkları.....	23
Şekil 3.2.	Yıllara göre fotovoltaik panel üretim kapasitesi ve üretim maliyet değişimi.....	23
Şekil 3.3.	Amerika, Japonya ve geri kalan dünya ülkelerinin üretim miktarı.....	24
Şekil 3.4.	Hücre panel, panellerin seri ve paralel bağlantısı.....	25
Şekil 3.5.	Fotovoltaik hücrenin çalışma prensibi.....	26
Şekil 3.6.	Güneş ışınımı etkisinde çalışması.....	26
Şekil 4.1.	Farklı sektörlerde ki PV panel uygulamalarının küresel oranda yıllara göre dağılımı.....	27
Şekil 4.2.	SELAB'da deneysel tasarlanmış sistemi.....	28
Şekil 4.3.	Deney sisteminde incelenen PV paneller.....	29
Şekil 4.4.	Deney sisteminde kullanılan panellerin bir aylık ve iki aylık zaman diliminde doğal şartlarda kirlenen ve kirlenmeyen panellerin enerjilerinin karşılaştırılması.....	29
Şekil 4.5.	Bireysel kullanım amaçlı soğutma ve ısıtma hibrit PVT kollektör sisteminin sistematik diyagramı.....	30
Şekil 4.6.	Fotovoltaik termal panelin kesit görünümü.....	31
Şekil 4.7.	Saatlik olarak PV panelin elektriksel kararlılığı, PV panel üzerindeki hücrelerin soğutulma ve soğutulmadığı durumda sıcaklık değişimi.....	32
Şekil 4.8.	Sistemde denenmiş soğutucu gazların güneş ışınımının G = 945 W/m ² olduğu.....	32
Şekil 4.9.	PV/T kolektörün fiziksel görünümü (a) önden görünümü (b) tasarımın tabaka görünümü.....	33
Şekil 4.10.	Tasarlanan PV/T sisteminin test ekipmanları şeması.....	33
Şekil 4.11.	Çift yönlü panellerin kullanıldığı tek eksenli güneş takip sisteminin doğu-batı, kuzey-güney yönlü enerji üretim sisteminin Sistematik diyagramı.....	35
Şekil 4.12.	Dünyanın doğu-batı yönü ile kuzey-güney doğrultuları arasında açı değişimi.....	36

Şekil 4.13.	Tek yönlü ve çift yönlü fotovoltaiik panellerin beton, beyaz taş, toprak ve beyaz çakıl taşı yüzeylerde performansının incelendiği deney düzeneği	37
Şekil 4.14.	Deney düzeneği	38
Şekil 4.15.	Soğutulmuş ve soğutulmamış panellerin güç çıkışları	39
Şekil 4.16.	Deney kapsamında tasarlanan sistem	40
Şekil 4.17.	19.03.2016 Tüketim grafiği ve saatlik değerleri	41
Şekil 4.18.	19.03.2016 Şarj grafiği	41
Şekil 5.1.	Projelerin ekonomik değerlendirme yöntemlerinin sınıflandırılması(URL- 3)	42
Şekil 5.2.	Projenin Homer pro analiz programında ki ekran görünümü	51
Şekil 5.3.	RES'in farklı kapasite çalışma durumlarına göre geri ödeme süresi	53
Şekil 5.4.	RES'in farklı kapasite kullanımı durumuna göre net bugünkü değer sonuçları	53
Şekil 5.5.	Güneş enerji santralinin farklı çalışma kapasite durumuna göre geri ödeme süreleri	54
Şekil 5.6.	Güneş enerji santralinin farklı çalışma kapasite durumlarına göre net bugünkü değer sonuçları	54
Şekil 5.7.	İç karlılık oranı ile net bugünkü değer arasındaki ilişki	57
Şekil 7.1.	Elazığ ilinin fiziki haritası (URL- 2323)	64
Şekil 7.2.	Kurulumu düşünülen arazinin görünümü	66
Şekil 7.3.	Güneş enerji santralinin kurulumu gerçekleştirilecek arazinin kuruluma uygun hale getirilmesi	67
Şekil 7.4.	Çelik konstrüksiyon çakma makinasının görünümü	68
Şekil 7.5.	Panel seri aralıkları	69
Şekil 7.6.	Fotovoltaiik panel dizilimi ve ışınlım altında gölgelenmemesi için aralıklı dizilimi	69
Şekil 7.7.	Güneş enerji santralinde kullanılan fotovoltaiik panelin ön ve arka görünümü	70
Şekil 7.8.	Çift yönlü panelin kesit görünümü	71
Şekil 7.9.	Projede kullanılan fotovoltaiik panelin ölçüleri	71
Şekil 7.10.	Fotovoltaiik panellerin dizilimi ve projenin kontrol alanı	73
Şekil 7.11.	Projede kullanılan inverterin görünümü	74
Şekil 7.12.	İnverterin alt kısmının iç görünümü	74
Şekil 7.13.	Güneş enerji santralinde kullanılan inverterin Fotovoltaiik girişleri	75
Şekil 7.14.	Projede kullanılan 6mm solar kablo görünümü	76
Şekil 7.15.	Güneş enerji santralinin enerji hatlarının toprak altına gömülmüş hali	77
Şekil 7.16.	Güneş enerji santralinde gözetleme ve kontrol alanının görünümü	78
Şekil 7.17.	Alçak gerilim kablosunun görünümü(URL-4423)	79
Şekil 7.18.	GES'de kullanılan trafo merkezi	80

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Malezya'nın yenilenebilir kaynak kullanımı	10
Tablo 5.1. A ve B projelerinin verileri.....	44
Tablo 5.2. A ve B yatırım projelerinin kar karşılaştırılması	45
Tablo 5.3. Enerji santralının ekonomik verileri	50
Tablo 5.4. Ekonomik karşılaştırma.....	52
Tablo 5.5. A ve B projelerinin ekonomik bilgileri.....	55
Tablo 5.6. İki projenin genel bilgileri	58
Tablo 7.1. GES'de kullanılan panel bilgileri	72
Tablo 7.2. Proje kapsamında kullanılan ekipman adet ve birim maliyetleri	81
Tablo 7.3. Proje kapsamında fiziki olmayan hizmet bedelleri	82
Tablo 7.4. Proje kapsamında kullanılan ekipman toplam maliyeti.....	83
Tablo 7.5. Güneş enerji santralının yıllık işletim bedelleri ve yapılan hizmetler.....	84
Tablo 7.6. Proje kapsamında kullanılan ekipman adet ve maliyetleri	86
Tablo 7.7. Proje kapsamında fiziki olmayan hizmet bedelleri	87
Tablo 7.8. Güneş enerji santralının yıllık işletim bedelleri ve yapılan hizmetler.....	87
Tablo 7.9. Tek yönlü fotovoltaik panel kullanılan projenin ekipman bedelleri.....	88
Tablo 8.1. Güneş enerji santrallerinin kurulum ve işletim maliyetleri	89
Tablo 8.2. Projenin 20 yıllık net nakit akışları	90
Tablo 8.3. Projelerin NBD yöntemine göre % 20 inskontolu yıllık net nakit akışları.....	91

KISALTMALAR LİSTESİ

kWh	:kilo-Watt-saat
LPG	:Likit petrol gazı
TWh	:Tera-Watt-saat
LCOE	:Seviyelendirilmiş enerji maliyeti (levelized Cost of Energy)
MW	:Mega-Watt
AC	:Alternatif Akım
DC	:Doğru Akım
PV	:Fotovoltaik Panel
FC	:Yakıt Hücresi (Fuel Cell)
PEM	:Pem Yakıt Hücresi
GEPA	:Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
COP	:Performans Katsayısı
PVT	:Fotovoltaik/Termal Panel
Off-grid	:Şebekeden Bağımsız
m	:Metre
cm	:Santime

ÖZET

Tek ve Çift Yönlü Güneş Panellerinin ve Güneş Enerji Santrallerinin Karşılaştırmalı İncelenmesi

Dünya nüfusu hızla artmaktadır. Artan dünya nüfusunun gerek gıda olsun gerekse barınma faaliyetlerinden olan ısınma, iklimlendirme ve aydınlanma gibi temel ihtiyaçlarda gün geçtikçe hızla artmaktadır. Günümüzde bu enerji ihtiyaçlarının büyük bir bölümü fosil tabanlı yakıtlardan sağlanmaktadır. Mevcut enerji talebinin karşılanması ve fosil kaynakların yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması artık kaçınılmaz olmuştur. Fosil tabanlı kaynakların çevreye vermiş olduğu zararları minimum seviyeye indirmek için bu sistemler yerine çevreye daha az zararlı ve düşük maliyetli sistemlerden olan hem de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına olanak sağlayan sistemler ve enerji üretim yolları seçilmelidir. Gerek bireysel ve gerekse endüstriyel enerji üretimine uygun olan fotovoltaik panel sistemleri bunların başında gelmektedir.

Bu tez çalışmasında aktif olarak çalışmakta olan iki güneş enerji santrallerinde alınan bilgiler doğrultusunda proje değerlendirme yöntemlerinde net bugünkü değer yöntemi ve karlılık endeksi yöntemi ile projeler değerlendirilmiştir. Yapılan inceleme ve hesaplamalar sonucunda % 20 iskonto ile net bugünkü değer yöntemi kullanılarak çift yönlü paneller ile kurulumu gerçekleştirilen GES'in beşinci yılında sonunda proje maliyetinin tamamına yaklaştığı belirlenmiş, tek yönlü panelde ise bu süre altıncı geçtiği belirlenmiştir. Karlılık endeksi yöntemi de net bu günkü değer yöntemini doğrulamaktadır.

Sonuç olarak güneş enerji paneli uygulamalarında tek yönlü panellerin maliyetleri çift yönlü panellere nazaran daha düşük olmasına karşın, çift yönlü panellerin enerji üretme kapasitesi yüksek olması nedeniyle tek yönlü panellere nazaran daha kısa zamanda maliyetleri karşılamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Güneş paneli, hibrit enerji sistemleri, çift yüzlü güneş paneli.

ABSTRACT

Comparative Review of Single and Bifacial Photovoltaic Panels and Solar Power Plants

The world population is increasing rapidly. The basic needs of the increasing world population, such as heating, air conditioning and lighting, which are both food and shelter activities, are increasing rapidly day by day. Today, most of these energy needs are provided from fossil-based fuels. It has become inevitable to meet the current energy demand and to use renewable energy sources instead of fossil resources.

In order to minimize the damage caused by fossil-based resources to the environment, systems and energy production methods that are less harmful to the environment and low-cost systems that allow the use of renewable energy sources should be selected instead of these systems. Photovoltaic panel systems, which are suitable for both individual and industrial energy production, are among the leading ones.

In this thesis study, projects were evaluated using the net present value method and profitability index method in project evaluation methods, in line with the information received from two actively operating solar power plants. As a result of the examination and calculations, it was determined that the solar power plant, which was installed with two-way panels using the net present value method with a 20% discount, approached the full project cost at the end of its fifth year, while this period passed for the sixth for the one-way panel. The profitability index method also confirms the net present value method.

As a result, although the costs of one-way panels are lower than bifacial panels in solar energy panel applications, they cover the costs in a shorter time compared to one-way panels due to the high energy production capacity of bifacial panels.

Key Words: Solar panel, hybrid energy systems, bifacial solar panel.

1. GİRİŞ

Dünya'nın var oluşundan insanların ve diğer canlıların hemen hemen bütün ihtiyaç gereksinimlerinde güneş enerjisi hayati öneme sahiptir. İlk çağlardan günümüze ve gelecek yaşamın birincil enerji kaynağı güneş enerjisi olacaktır.

Türkiye'nin coğrafi konumunun verdiği olanaklar neticesinde güneş enerjisinden yüksek verim alınabilir. Güneş enerjisinden birçok ilde sıcak su ihtiyacını karşılamak amaçlı kullanılmaktadır. Ayrıca bina ısıtma sistemlerine ek kaynak olarak da kullanılmaktadır. Dünyada ve ülkemizde hızla artan nüfusun yanında hayat standartlarının değişmesi nedeniyle bu alandaki yasal düzenlemeler ve yatırımlar gün geçtikçe artmaktadır. Teknolojinin ilerlemesi neticesinde binaların soğutulması, bitkilerin kurutulması ve elektrik enerjisi kullanımı gün geçtikçe artmaktadır (Kılıç, 2015).

Endüstride ve teknolojiye ileriye adımlar neticesinde enerji ihtiyacı artmıştır. Üretimin devamlılığı için enerji güvenirliliği kaçınılmaz olmuştur. Fosil kaynakların kullanım maliyetlerinin artmasının yanında mevcut kaynakların miktarlarında gün geçtikçe azalmaktadır. Ayrıca fosil kaynakların kullanımı neticesinde iklim değişikliği, asit yağmurları sera gazı oluşumu ve diğer zararlı etkileri giderek artmaktadır (Peng ve ark. 2013).

Ülkemizde güneş enerjisi uygulamalarının başında güneş kolektörleri gelmektedir. Güneş kolektörleri güneş enerjisinin termal yönünü kapsamaktadır. Böylelikle yaşam alanlarında ve endüstride sıcak su ihtiyacı çevreye zararlı fosil kaynaklar kullanılmadan karşılanmaktadır. Bu alandaki yatırımlar artması nedeniyle ülke genelinde istihdam ve ihracat rakamlarına pozitif katkıda bulunmuştur.

Güneş, dünya ve diğer gezegenler güneş sistemini oluştururlar. Güneş'ten yayılan ısı ve ışınım dünya için temel enerji kaynağı görevini görür. Güneşin yüzey sıcaklığı yaklaşık 6000 K olarak kabul edilmektedir. Güneşin içyapısı gazlardan oluşmaktadır. Bu gazlardan olan hidrojen, atomik boyutta yüksek enerji açığa çıkararak birleşmektedir. Bu birleşmeye Füzyon denir. Bu reaksiyonlar termonükleer reaksiyonlar içermektedir. Bu reaksiyon neticesinde yüksek miktarda ısı ve ışınım meydana gelir. (Erkul, 2010).

Fotovoltaik paneller güneş ışınımındaki fotonların etkisiyle elektrik enerjisi üretirler. Teknolojinin ilerlemesi farklı kimyasal maddelerin fotovoltaik hücre yapımında olanak sağlamaktadır. Bunların başında silisyum gelmektedir. Üretim prensibi ile alakalı

olarak tek ve çok kristalli yapıda kullanılmıştır. Bu piller ticari ve bireysel uygulamalarda kullanılmaktadır (Küpelı, 2005).

Ülkemizde güneş enerjisi ile alakalı 2005 yılında hükümet bazında ilk çalışma olmuştur. Gelişmiş ülkelerin bu alandaki yatırımları ve bu alana yönelik araştırmalara yönelmesi neticesinde ülkemizde mevcut güneş enerjisi potansiyelini değerlendirmek için teşvik adı altında finansal destek programları oluşturulmuştur (Bk 5346 Sayılı Kanun).

Devletin teşvikleri özel yatırımcıları ve araştırmacıları bu alandaki çalışmalara ciddi ivme kazandırmıştır. Güneş enerjisi kullanım kolaylığı, çevreye zararsızlığı, işletim ve bakım maliyetlerinin yüksek olmaması nedeniyle küçük ve büyük ölçekli güneş paneli tarlaları oluşturulmuştur.

Fosil yakıtların çevreye zararları haricinde kaynakların dünya genelinde yetersiz kalması ve işletim maliyetlerinin ülke ekonomisine önemli yükler getirmesi nedeniyle fotovoltaik panellerin önemi gün geçtikçe artmıştır. Günümüz teknolojisinde kullanım ve üretim miktarı açısından polikristal ve monokristal bu alanda büyük yer kapsamaktadır. Coğrafi konumun ve iklimin etkileri sebebiyle araştırmacılar mevcut panellerin verimleri üzerinde çalışmalarına hız vermiştir. Bunun en dikkat çeken uygulamalarından olan çift yönlü paneller olmuştur.

Ülkemizde güneş enerjisinin üretimi ve kullanımını henüz çok yeni olup bu alandaki çalışmalar sanayide ve akademik alanda artarak devam etmektedir.

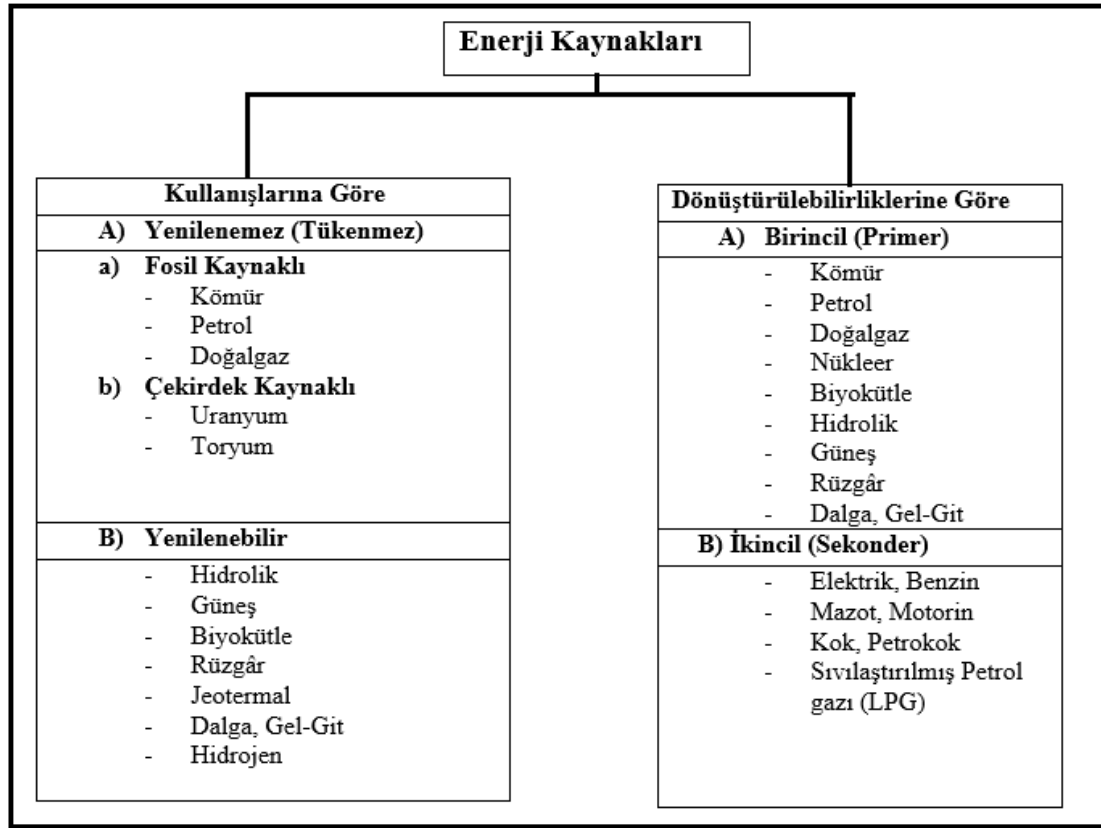
2. ENERJİ KAYNAKLARINA GENEL BAKIŞ

2.1. Yenilenebilir Enerjinin Tanımı ve Sınıflandırılması

On sekizinci yüzyılın başlarında sanayi devriminin etkileriyle enerji kaynaklarına talep ve ihtiyaçlar önemli ölçüde ilgi kazanmıştır. Enerji kaynaklarına artan ilgi ve önem neticesinde geleneksel enerji kaynakları olan kömür, ham petrol ve doğal gaz gibi kaynaklar hızla tükenme eğilimi göstermiştir. Bu sebeple araştırmacılar yeni enerji kaynakları arayışına başlamışlardır. Fosil yakıtların kullanımı neticesinde çevre ve atmosferde oluşan negatif etkilerden olan küresel ısınma ve asit yağmurları birçok dünya ülkesi için giderek ciddi problem olmaya başlamıştır.

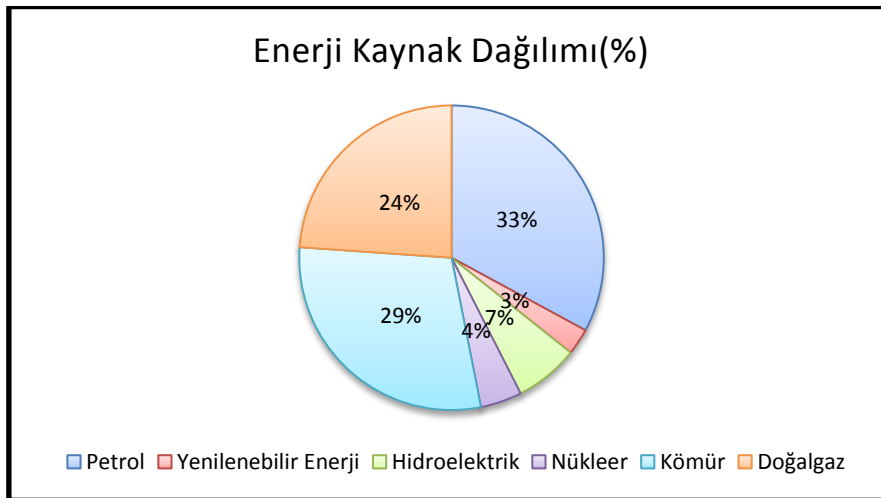
Bilimsel ve teknolojik gelişmeler yeni, yenilenebilir ve çevreye zararsız enerji kaynakları bulunmasına olanak tanıdı. Bunların başında rüzgâr, su, güneş ve jeotermal enerji gelmektedir. Bunlara ek olarak Biyokütle, biyogaz ve bazı atıkların yakılması neticesinde enerji üretimi gerçekleştirilmiştir (Wrobel ve ark.,2018).

Enerji kaynakları birçok farklı açıdan sınıflandırılabilir. Enerji kaynakları tükenme yönüyle yenilenebilir ve yenilenemez olarak ikiye ayrılmaktadır. Ayrıca dönüştürülebilirlik açısından da ayrılmaktadır. Şekil 2.1’de enerji olarak kullanılan kaynaklarının sınıflandırılması verilmiştir. (Kaya ve ark. 2018).



Şekil 2.1. Enerji olarak kullanılan kaynaklar ve sınıflandırılması

Ayrıca 2016 yılı verileri ışığında dünya genelinde enerji ihtiyacının karşılanması için kullanılan kaynakların yüzdesel olarak ilk sıralarında fosil tabanlı kaynaklar yer almıştır. Yenilenebilir kaynaklar sıralamanın sonlarında yer almıştır. Şekil 2.2’de dünyada kullanılan enerji kaynaklarının yüzdesel olarak dağılımı verilmiştir (Kaya ve ark. 2018).

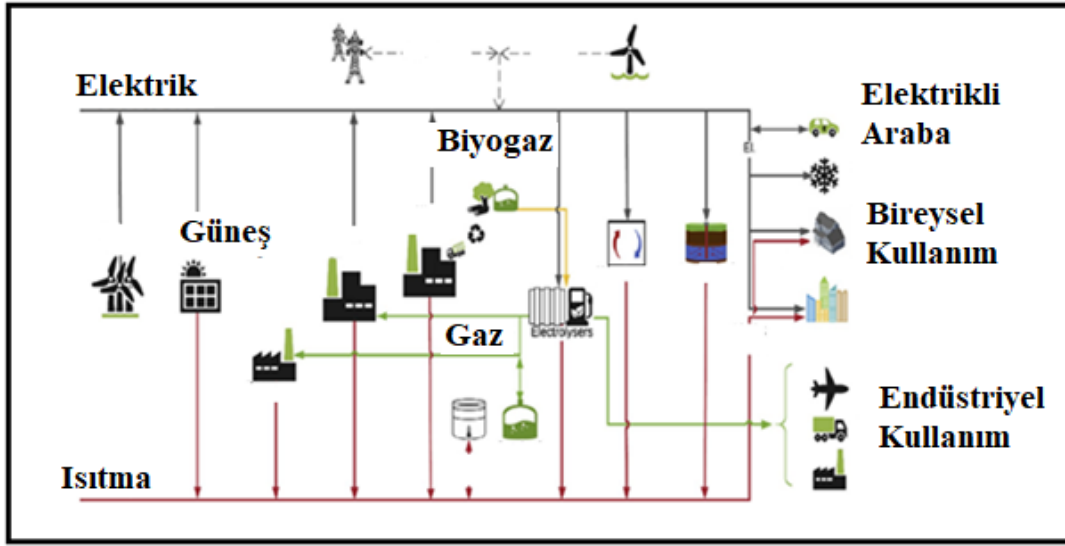


Şekil 2.2. Dünyada kullanılan enerji kaynaklarının dağılımı

Hafeznia ve arkadaşları (2017) günümüzde ana enerji üretim kaynağı olan fosil tabanlı kaynakların miktarlarının sınırlı olması ve kullanımının çevre üzerindeki zararlı etkileri neticesinde avantajlarının giderek azaldığını bildirmişlerdir. Bu sebeple çevreye zararsız alternatif enerji kaynağı olan yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini vurgulamıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının ilerlemesinde en önemli unsurlardan biri devlet politikalarının içinde olması ve devlet tarafından desteklemesi olduğunu bildirmişlerdir. Bu kapsamda devletlerin farklı alanda ve bölgelerde enerji politikalarını incelemişlerdir. Mevcut devletlerin enerji politikaları coğrafik, teknolojik ve sosyo-ekonomik olarak sınıflandırmışlardır.

Waldau yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi ile ilgili araştırma yapmıştır. Araştırma kapsamında yenilenebilir enerji kaynaklarına enerji üretimi alanında yatırılan Avrupa, Amerika ve diğer dünya ülkelerinde arttığını bildirmiştir. Fosil tabanlı kaynaklarının maliyetlerinin artması, çevre üzerindeki etkileri ve iklim değişikliği gibi etkilerden dolayı uluslararası Kyoto Protokolü gibi anlaşmaların yapılıp uygulanması hız kazandığını bildirmiştir. Ayrıca elektrik sektörü ve taşıma sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarının öneminin artacağını bildirmişlerdir (Waldau, 2007).

Yapılmış bir çalışmada %100 yenilenebilir enerji kaynaklı akıllı şehir kurulmasının metodolojisini araştırmışlardır. Bunu iki adımda sürdürmüşlerdir. İlk olarak sürdürülebilir gelecek için yerel ve ulusal ihtiyaçları karşılayacak prensiplerin oluşturulması ve yerel topluluklarla bu sistemin uygulama yol haritasının çıkarımının gerekliliğini ileri sürmüşlerdir. İkinci olarak ise bu yol haritasında oluşan durumları nasıl çözüleceğini ele almaktadır. Bunu ise beş adımda ilerletmişlerdir. Şekil 2.3'de projenin şematik gösterimi verilmiştir (Thellufsen ve ark. 2020).

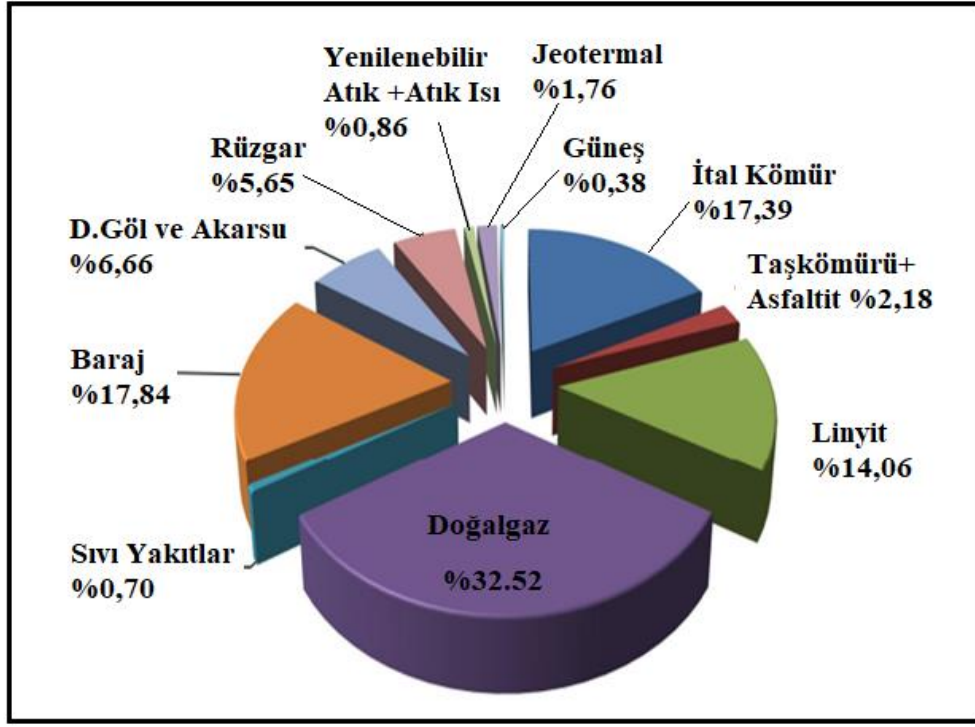


Şekil 2.3. Aalborg şehrinin smart enerji bağlantı gösterimi

1. Ağır vasıta, enerji santralleri ve sanayi için yakıt belirlenmesi ve bu yakıt için küresel olarak bu mevcudiyetinin gösterimi. Bunun içinde Biyokütle kullanmışlardır. Ayrıca zero emisyon çerçevesinde evsel atıklarda biyogaz elde edip bunun enerjiye çevriminin sağlanması gerektiğini vurgulamışlardır.
2. İkinci olarak taşıma ihtiyacını ele almışlardır. Buna ek olarak uluslararası hava ve deniz taşımacılığını da eklemişlerdir.
3. Endüstriyel üretimdeki enerji ihtiyaçlarını kapsamaktadır.
4. Yerel farklı yenilenebilir enerji kaynaklarına ulaşımı incelemişlerdir.
5. Son olarak da üretilen elektrik enerjisinin export ve import'unu sağlayarak enerji dengesini sağlamayı hedeflemişlerdir(Thellufsen ve ark.2020).

Türkiye coğrafi konum itibarıyla ve iklim şartları nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları üretimi açısından yüksek verim kapasitesine sahiptir. Türkiye enerjide dışa bağımlılığı azaltmak ve mevcut yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak adına 2023 yılında üretilecek enerjinin %30'unu yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamayı hedeflemiştir.

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. tarafından verilen bilgiler neticesinde 2016 yılında %32'lik oranla doğal gaz elektrik üretiminde en yüksek orana sahip olmuştur. Güneş enerjisi oranı % 0,38 ile en düşük orana sahip kalmıştır. Şekil 2.4'de Türkiye de 2016 yılında kaynaklara göre elektrik enerjisi dağılımı verilmiştir (Yılmaz ve Öziç 2018).



Şekil 2.4. Kaynaklara göre 2016 yılı elektrik enerjisi üretimi dağılımı

2.1.1 Güneş enerjisi

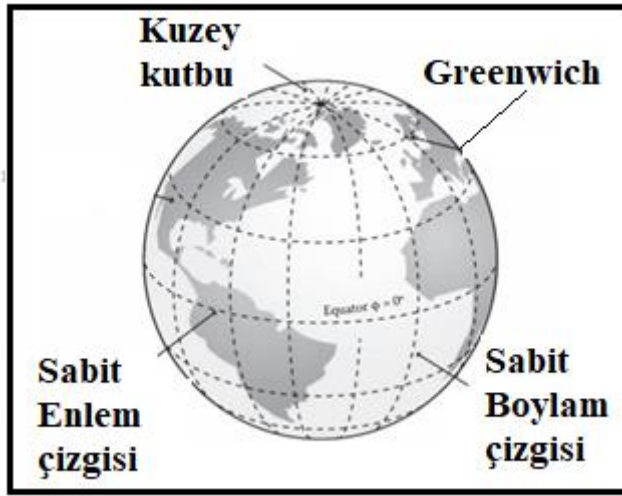
Güneş enerjisi dünyadaki bitkilerin, hayvanların ve insanların yaşaması için gerek olan enerjinin esasını oluşturmaktadır. Güneş enerjisi bütün dünya ülkeleri için temiz, büyük miktarda ulaşılabilen ve geleceğin enerji kaynağıdır. Güneş enerjisinin kaynağı, çekirdeğinde meydana gelen nükleer reaksiyonlardır. Bu nükleer reaksiyonlar hidrojen hücrelerinin birleşerek helyuma dönüşmesiyle gerçekleşmektedir. Var olan güneş ışınları çevreye zararı olmayıp küresel ısınmaya negatif yönde bir etkisi yoktur.

Güneş enerjisi dünyaya elektromanyetik dalgalarla gelmektedir. Bu dalgalar fotonlarla gösterilmektedir. Dünya yüksek miktarda güneşten enerji alabilme kabiliyetine sahiptir. Bu enerji birikimi farklı formlarda olmaktadır. Bunların başında bitkilerin fotosentez yapması, yer kabuğunun ısınmasıyla, rüzgârların oluşumu, yeryüzündeki ve okyanuslardaki suyun ısınmasıyla buharlaşma sonucunda yağmur oluşumu ve hidrojenin elde edilmesi gibi güneş enerjisi birikimi sağlanmaktadır.

Güneş enerjisi direkt olarak fotovoltaiik paneller vasıtası ile enerjiye çevrilir. İndirekt olarak ise rüzgâr, biyokütle, hidrolik enerjisi ve fosil yakıtlardan olan kömür, doğal gaz ve petrolde güneş enerjisi depolanmıştır. Güneş ışınları karbon-free enerji

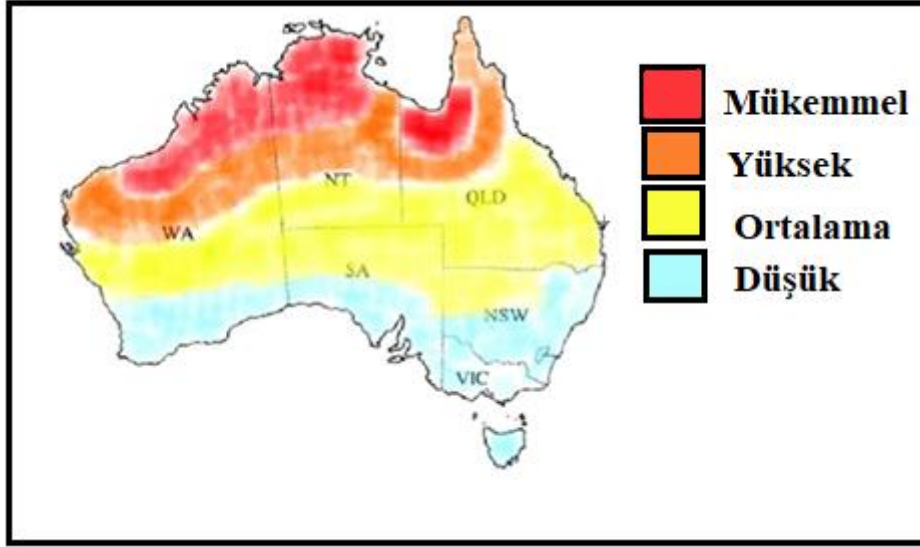
kaynağından miktar olarak yeryüzünde en büyük kapasiteye sahip olandır. Güneşten her yıl dünyamıza kömür, petrol, doğal gaz ve uranyum gibi yapısında enerji bulunduran maddelerden on katından daha fazla enerji gelmektedir.

Günümüzde dünyanın hızlı bir şekilde enerji üretim metotlarının temiz enerji üretim prensibine doğru değiştiğini görmekteyiz. Geneksel yollarla üretilen enerji kaynaklarının gün geçtikçe maliyetlerinin artması ve çevre kirliliğinin geri dönüşü olmayan iklim değişikliği ve insanlar üzerinde sağlık sorunları gibi etkileri nedeniyle yeni, temiz ve büyük miktarlarda var olan alternatif enerji kaynaklarının araştırılıp bulunması araştırmacıları bu yönde domine etmiştir. Gelecek enerji probleminin çözümü bölgesel ulusal ve küresel durumlarla ilişkilidir. Ayrıca çözüm yönetimlerin seçmiş oldukları kanunlar ve yönetim şekliyle doğrudan ilgilidir. Şekil 2.5’de dünya koordinat sistemi ve Türkiye’nin güneşlenme süresinin çok olduğu ekvator kuşağına yakınlığı şematik olarak gösterilmiştir (Foster ve ark. 2010).



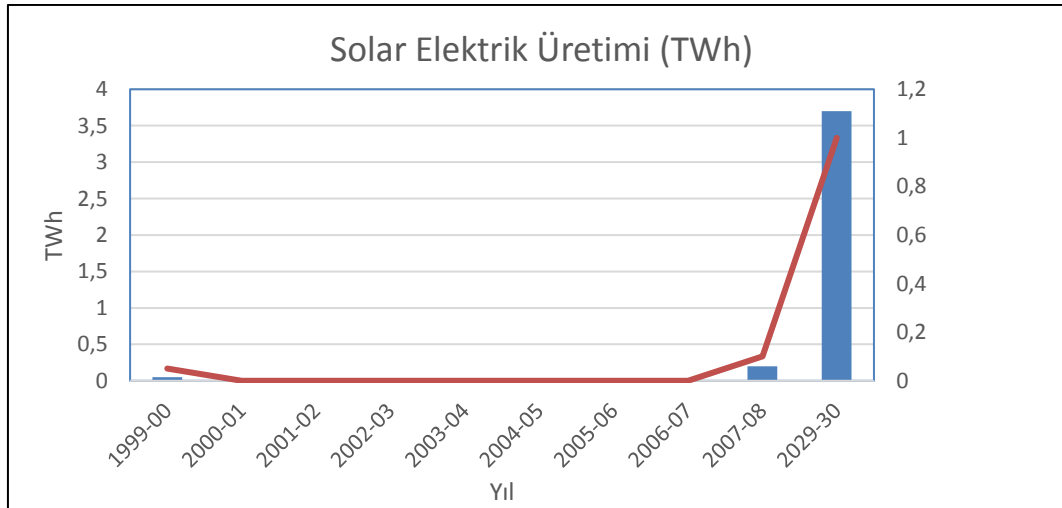
Şekil 2.5. Dünya koordinat sistemi ve Türkiye'nin konumu

Yapılmış diğer bir çalışmada Avustralya ile alakalı derleme araştırması yapmışlardır. Yapmış oldukları çalışmada güneş enerjisinin yüksek miktarda güneşten elde edilip kullanılmadığına değinmişlerdir. Avustralya'nın coğrafi konum itibarıyla yüksek ışıınımı kapasitesinin olduğunu bildirmişlerdir. Öyleki Avustralya'nın her metre kareye düşen güneş ışıınım miktarının diğer ülkelere nazaran daha yüksek olduğuna değinmişlerdir. Şekil 2.6’de Avustralya’nın güneş ışıınım haritası verilmiştir.



Şekil 2.6. Avustralya'nın güneş haritası

Çalışmalarında Avustralya'nın solar enerji kullanımını artırmasına, karşılaşılabilecek problemlere ve bu kapasitenin artırılması durumunda elde edileceği faydaları dile getirmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında güneş kaynaklı enerjinin nasıl depolanıp ve transfer edileceği hakkı görüşlerini vermişlerdir. Şekil 2.7'de Avustralya'nın güneş enerjisinin yıllara göre elde edilen gücü göstermektedir. Avustralya'daki fotovoltaik panel Pazar kapasitesi önemli bir kapasiteye sahip olmasına rağmen henüz iç pazarı karşılayacak kadar yeterli seviyede olmadığını bildirmişlerdir(Kuwahata ve Monroy 2011).



Şekil 2.7. Avustralya'nın güneş enerjisinin yıllara göre elde edilen gücü

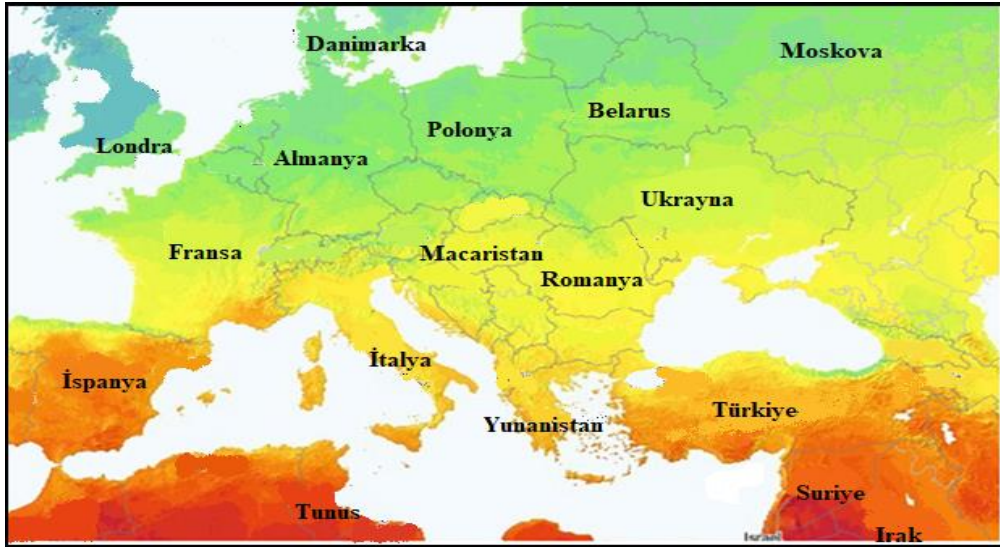
Solangi K.H. ve diğerleri global güneş enerji politikası hakkında derleme çalışması yapmışlardır. Fosil kaynakların çevre ve diğer açılardan zararları açısından artan negatif etkileri birçok ülkeyi çevreye zararsız, yenilenebilir ve güvenilir enerji kaynaklarına yöneltmiştir. Güneş enerjisinin çevreye minimum zarara sahip olduğunu bildirmişlerdir. Birçok ülkelerin farklı enerji politikaları olduğunu bununda fosil kaynaklara bağlılığın azaltılması ve yerel enerji üretimini destekler yönde oluşu bildirilmiştir. Araştırmalarında kuzey Amerika kıtasından Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada, Avrupa kıtasından Almanya, İspanya ve Fransa, Asya ülkeleri olarak da Çin ve Pakistan'ı incelemişlerdir. Ayrıca Malezya'nın diğer dünya ülkeleri içerisinde yatırım ve enerji politikaları açısından en iyi konumda olduğunu bildirmişlerdir. Tablo 2.1'de Malezya'nın yenilenebilir kaynak kullanımını göstermektedir (Solangi ve ark., 2011).

Tablo 2.1.Malezya'nın yenilenebilir kaynak kullanımı

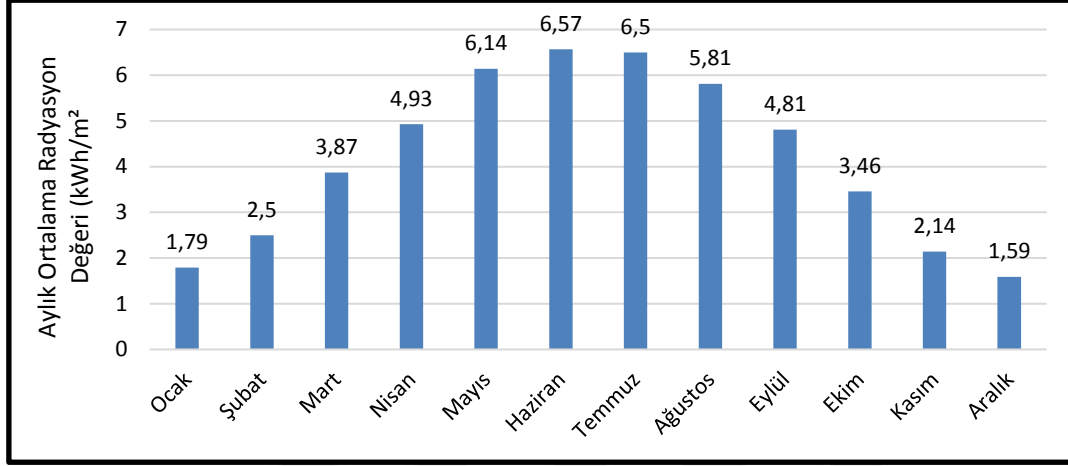
Yenilenebilir Enerji	Potansiyeli (MW)
Hidrolik Enerji	22000
Solar enerji PV	6500
Biyokütle/Biyogaz	1300
Mini-Hidro enerji	500
Katı atıklar	400
Rüzgâr	Rüzgâr Hızı

Türkiye coğrafi konum itibarıyla geniş bir yenilenebilir enerji potansiyeli sahiptir. Yıllık zaman diliminde güneşlenme süresinin uzun olması sebebiyle güneş enerjisi, üç bir tarafı denizlerle çevrili olması sebebiyle dalga hareketi, iklimsel farklılıklar nedeniyle rüzgar enerjisi ve hidrolik enerji gibi yenilenebilir enerji potansiyeline sahiptir.

Avrupa Birliği Araştırmacıları tarafından yapılmış araştırmalarda Avrupa'nın güneş haritası çıkarılmıştır. Şekil 2.8'de birçok Avrupa ülkesinin güneş enerjisi potansiyelinin Türkiye'den daha az olduğu anlaşılmıştır (URL-1, 2023).

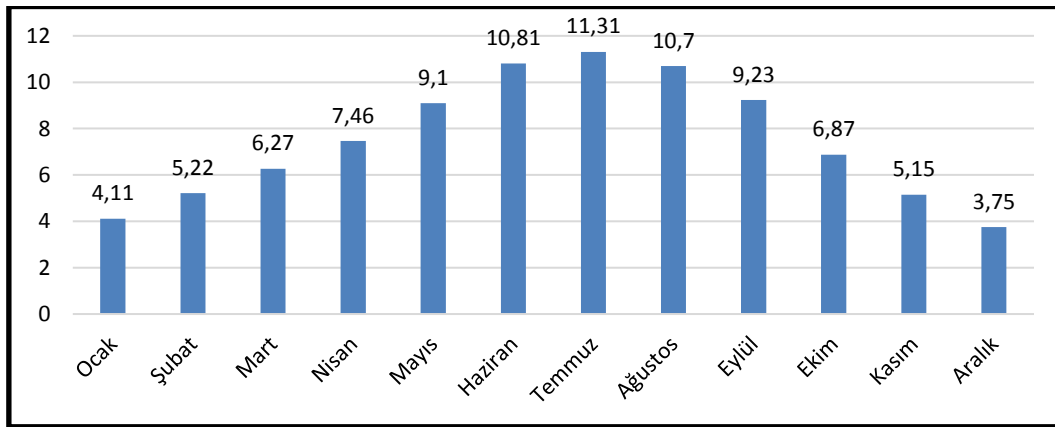


GEPA'nın yayınlamış olduğu güneş enerji potansiyeli haritasından da anlaşıldığı gibi bölgeler bazında Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz kıyıları güneş ışınlamından en çok faydalanan bölgelerdendir. En az ışınlam alan ise Karadeniz ve Marmara bölgesidir. Buda Türkiye'nin yüz ölçümünün %60'ından fazlasının yüksek güneş potansiyelinin olduğunu göstermektedir (URL-2, 2023).



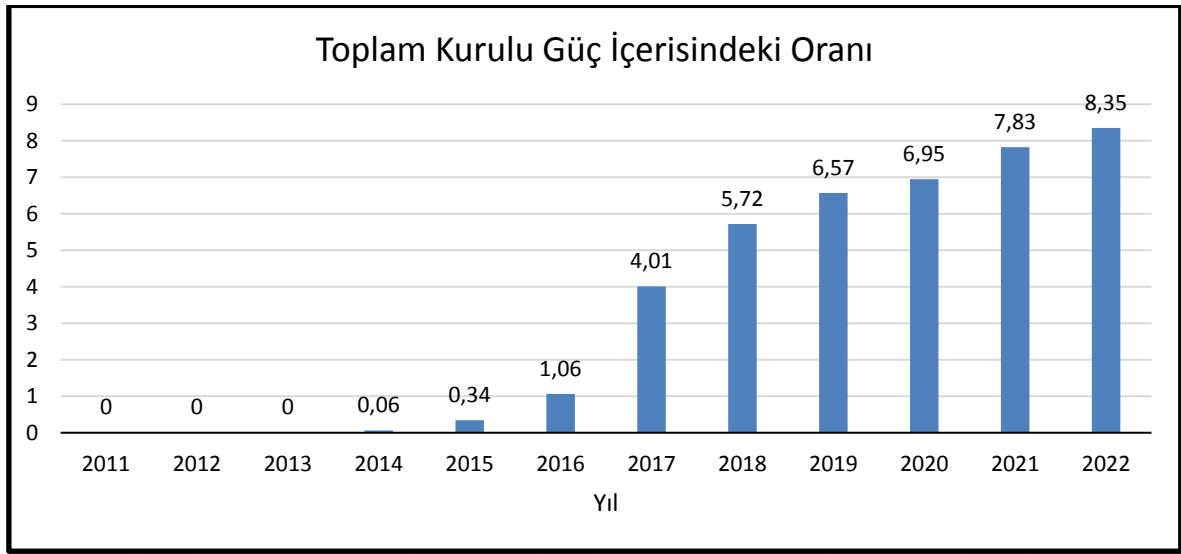
Şekil 2.10. Türkiye aylık ortalama radyasyon değerleri (kWh/m²)

Ayrıca yine GEPA tarafından yapılmış araştırmalar neticesinde Türkiye Güneşlenme Sürelerini kapsayan grafik oluşturulmuştur. Yapılan araştırma neticesinde ışınlam şiddetinin en yüksek olduğu ay Temmuz ayı olup 11,31 saat, en az güneşlenme süresinin olduğu ay ise Aralık ayı olup 3.75 saat olmuştur. Şekil 2.11'de Türkiye güneşlenme süreleri saatlik olarak verilmiştir (URL-2, 2023).

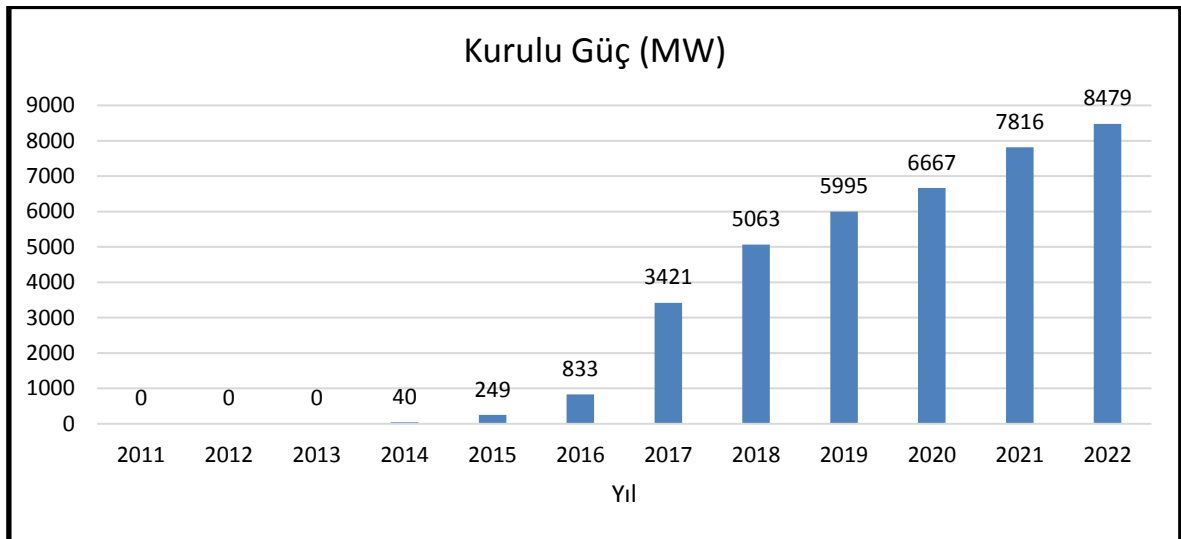


Şekil 2.11. Türkiye aylara göre saatlik güneş alma süresi dağılımı

Türkiye Cumhuriyetine bağlı Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının resmi internet sitesinden elde edilen verilere göre Haziran 2022 itibariyle güneş enerjisi ısınımına bağlı elektrik enerjisi üretimi kurulu güç 8,479 MW olmuştur. Şekil 2.12’de toplam kurulu güç içerisindeki durumunu gösteren grafik verilmiştir. Toplam kurulu elektrik enerji üretim sistemleri içerisindeki yıllara göre değişimi ise % 8,35 oluşturmaktadır. Şekil 2.13’de yıllara göre değişim miktarı verilmiştir (URL-2, 2023).



Şekil 2.12. Haziran 2022 itibariyle toplam kurulu güç içerisindeki oranları

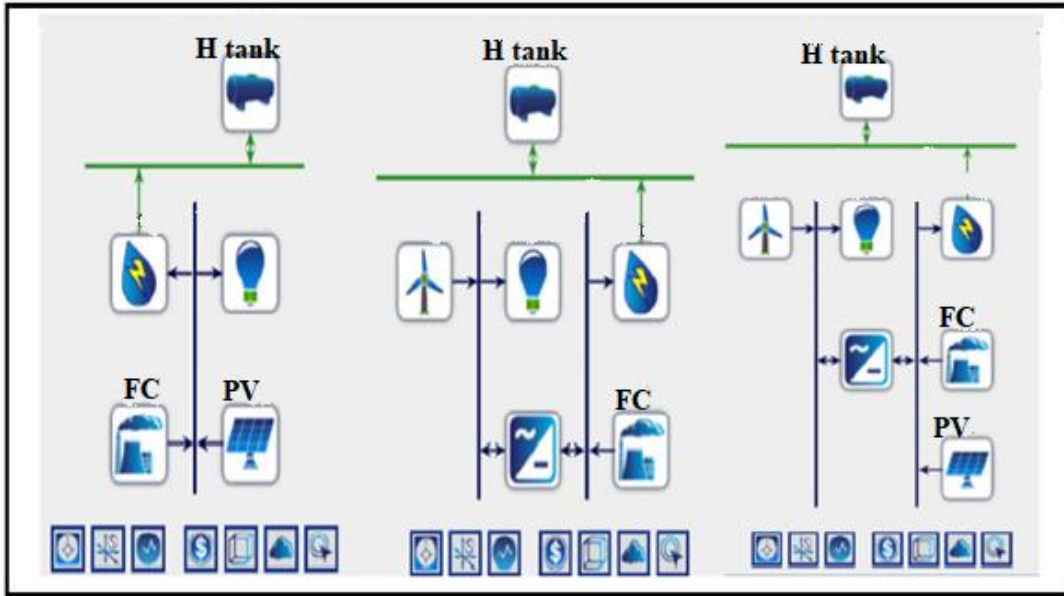


Şekil 2.13. Toplam kurulu güç içerisindeki güç açısından MW cinsinden miktarı

2.1.2 Hidrojen enerjisi

Hidrojen miktar olarak çok bulunan elementler arasındadır. Genel olarak su molekülünde oksijenle birlikte bulunmaktadır. Su molekülüne dışardan bir enerji verilmesiyle su molekülü oksijen ve hidrojene ayrılmaktadır. Hidrojen daha sonraki enerji işlemleri neticesinde tekrar oksijenle birleşebilerek döngü halinde bu reaksiyonlar devam ettirilebilmektedir. Suyun ayırım işlemine elektroliz denir ve elektrolizörde bu gerçekleştirilir. Elektroliz reaksiyonu ters yönde de yapılabilir. Bu işlem yakıt hücresinde gerçekleştirilir (Zini ve Tartarini, 2012).

Srijit B. ve arkadaşları hidrojen tabanlı enerji sisteminin tasarım ve fizibilite analizi yapmışlardır. Yapmış oldukları analiz HOMER programı üzerinde simülasyonunuda kapsamaktadır. Şekil 2.14’de HOMER programında yapılmış incelemenin görüntüsü verilmiştir.

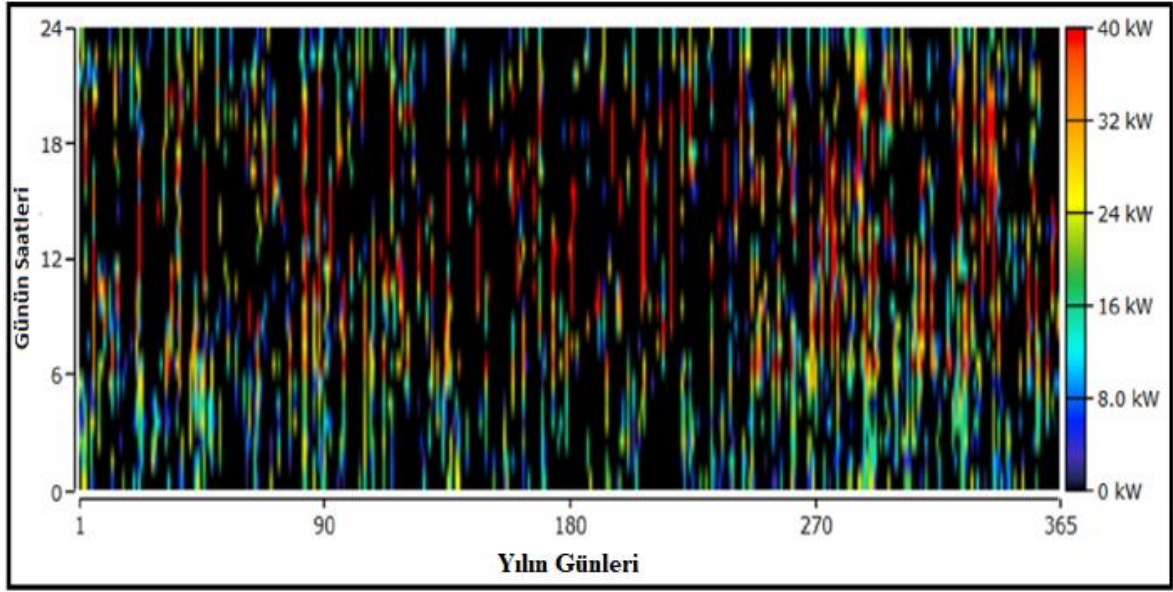


Şekil 2.14. HOMER programında yapılmış incelemenin görüntüsü

Analizi üç farklı kombinasyonda gerçekleştirmişlerdir. Bunlar solar-hidrojen sistem, rüzgar-hidrojen sistemi ve solar rüzgar hidrojen sistemini kapsamaktadır. Sistemde üretilen hidrojen depolanıp daha sonra hidrojen hücresinde tekrar kullanılarak elektriğe çevrimi gerçekleştirilmiştir.

Seviyelendirilmiş enerji maliyeti (levelized Cost of Energy LCOE) hesaplamalarına da bakılmıştır. Yapılan incelemeler neticesinde hibrit sistemin maksimum ekonomik sistem olduğu anlaşılmıştır. Rüzgar türbininin %1,476 daha yüksek üretim

maliyetli olduğu sonucunu bildirmişlerdir. Güneş destekli sistemin üretim maliyetinin ise %108,03 ile maksimum maliyete sahip olduğunu sonucuna varılmıştır. Şekil 2.15’de sistemde kullanılmış olan PEM yakıt hücresinin çıkış gücü verilmiştir.



Şekil 2.15. Yakıt hücresinin çıkışı (kW)

Sonuç olarak kontrol edilen yaşam alanında hidrojen ve yakıt hücresi sera gazı salınımı olmadan sürekli enerji sağlayabilmektedir. Daha ekonomik gözüken makinelerle kıyasen üretilen fazla enerji şebekeye satılabilir. Bu teknoloji Hindistan için henüz yeni olduğunu bildirmişlerdir. Eğer bu teknoloji devlet tarafından teşvik edilmesi halinde yaşam alanları için kesintisiz ve güvenilir enerji kaynağı olabileceğini bildirmişlerdir (Basu ve ark., 2021).

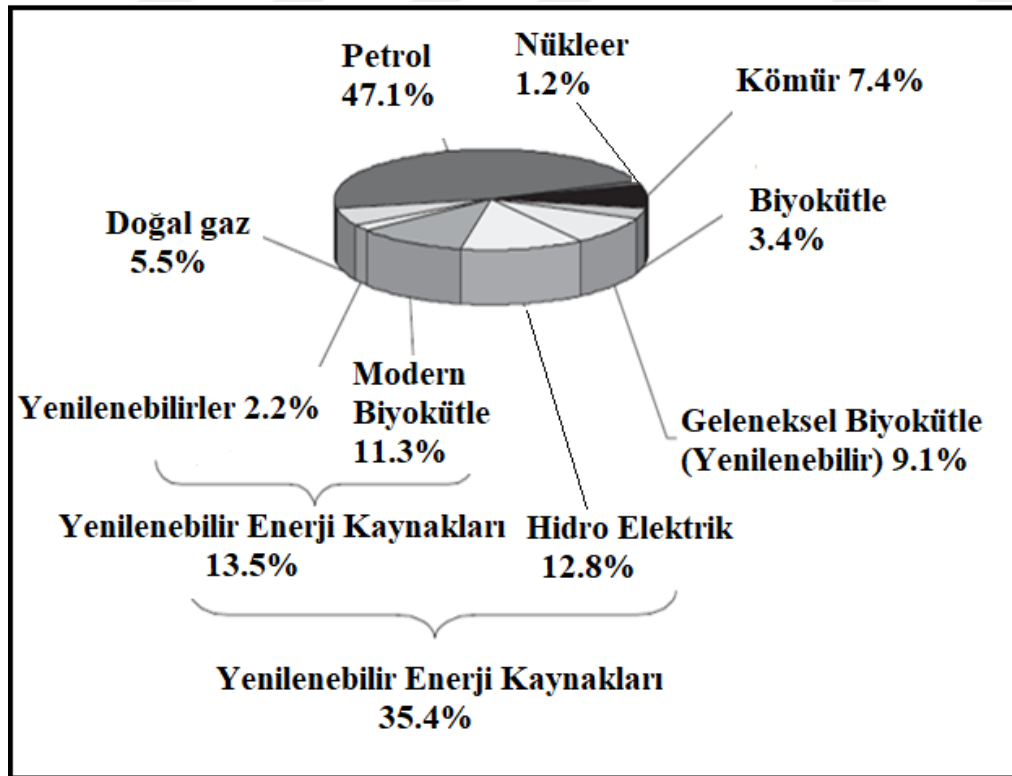
2.1.3 Biyokütle enerjisi

Küresel enerji ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Dünya nüfusunun artması ve hızlı sanayileşme küresel enerji talebinin başlıca artış nedenleri arasındadır. Fosil kaynaklardan petrol ve türevleri, kömür ve doğal gaz günümüzde hala ciddi öneme sahip enerji kaynakları arasında yerini almaktadır. Enerji güvenilirliği ve fosil kaynakların hızla tükenmesi ucuz veya maliyetsiz olan biyokütle teknolojisinin gelişimini ivmelendirmiştir. Biyokütle kolay bir şekilde mevcut fosil kaynakların yerini alabilmektedir. Örneğin sıvı ve

gaz biyo yakıtlar teknolojinin petrole bağıllığını azaltarak sera etkisi oluşturacak gaz salınımını en aza indirecektir. Böylelikle enerji güvenliğinin yanında çevreye zararsız düşük maliyetli enerji elde edilmiştir. Biyokütle dünyada en çok bulunan yenilenebilir enerji üretimi için en çok bilinen kaynakların başında gelir (Al-Hamamre ve ark. 2017).

Biyokütle birçok farklı yolla biyoyakıtlara çevrilebilir. Bunlar termal, fiziksel ve biyolojik olarak sıralanmaktadır. Biyoyakıt ve biyoenerji birçok çeşitli biyokütle kaynağına ve kalitesine bağlıdır. Bunları beş farklı kategoride toplamak mümkündür; işlenmemiş odun, enerji bitkileri, tarımsal atıklar, yemek artıkları, sanayi atıkları ve üretim esnasında oluşan yan ürünler olarak sınıflandırılabilir. Biyokütle farklı iklim bölgelerine, ekonomik şartlara ve sosyal durumlara bağlı olarak çeşitlilik gösterebilir (Al-Hamamre ve ark. 2017).

Biyokütle ile ilgili yapılmış bir çalışmada biyokütleyi geleneksel ve modern olarak ayırmışlardır. Biyokütle devamlı bir şekilde üretilen biliniyorsa bunu modern biyokütle olarak adlandırmışlardır. Geleneksel biyokütle ise ticari olmayan kaynakları bu şekilde adlandırmışlardır. Buna örnek olarak düşük kararlı yemek yapma işleminde ısıtma kaynağı olarak kullanımını örnek vermişlerdir. Şekil 2.16'da modern ve geleneksel biyokütleyi şematik olarak göstermişlerdir (Goldemberg ve Coelho, 2004).



Şekil 2.16. Modern ve geleneksel biyokütlenin oransal dağılımı

2.1.4 Rüzgâr enerjisi

Rüzgâr enerjisi yaklaşık 5000 yıl önce Nil nehrinde yelkenli gemileri yüzdürmek için kullanılmıştır. Avrupalılar rüzgâr gücünü 1700- 1800 yıllarında suyu kanallarda dolaştırmak için kullanılmıştır. Amerika Birleşik Devletlerinde (ABD) 1890 yıllarında rüzgâr enerjisi ile elektrik enerjisi üretilmiştir. Günümüzde rüzgâr enerjisi ile çalışan rüzgâr elektrik santralleri birçok ülkede kullanılmaktadır.

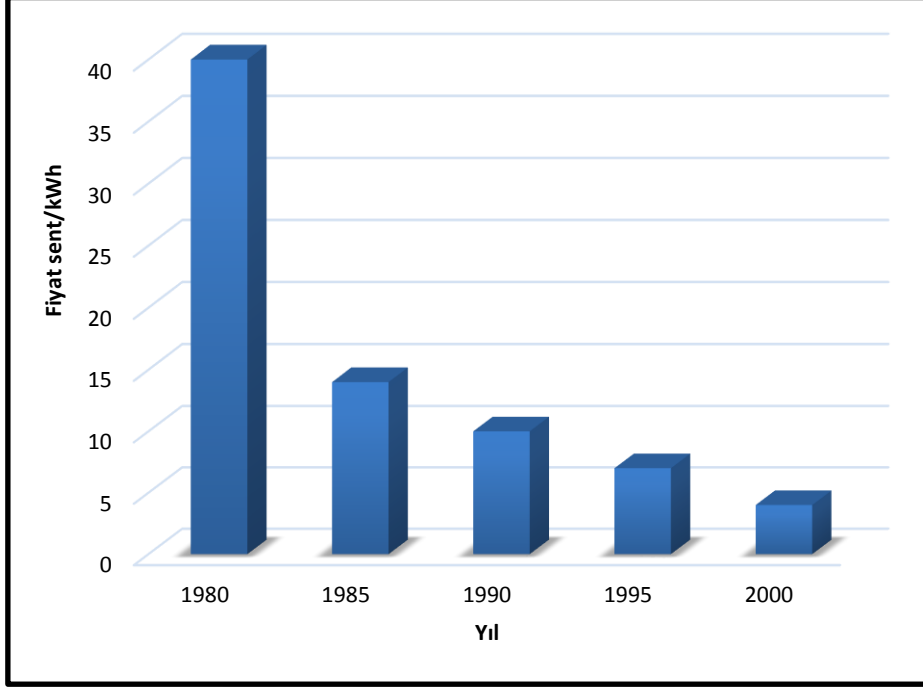
Günümüzde rüzgâr türbini kapasiteleri yaklaşık 300kW civarındadır. Türbin gücünün 500 ile 1000kW kapasiteye sahip rüzgâr türbini tasarlanıp kurulumu gerçekleştirilmemiştir. Bazı ülkelerde MW gücüne sahip prototipe rüzgâr türbini hala test aşamasındadır. Bunların başında ABD gelmektedir. Şekil 2.17’de Rüzgâr türbininin şekli verilmiştir (Patel, 1999).



Şekil 2.17. Rüzgâr türbininin görüntüsü

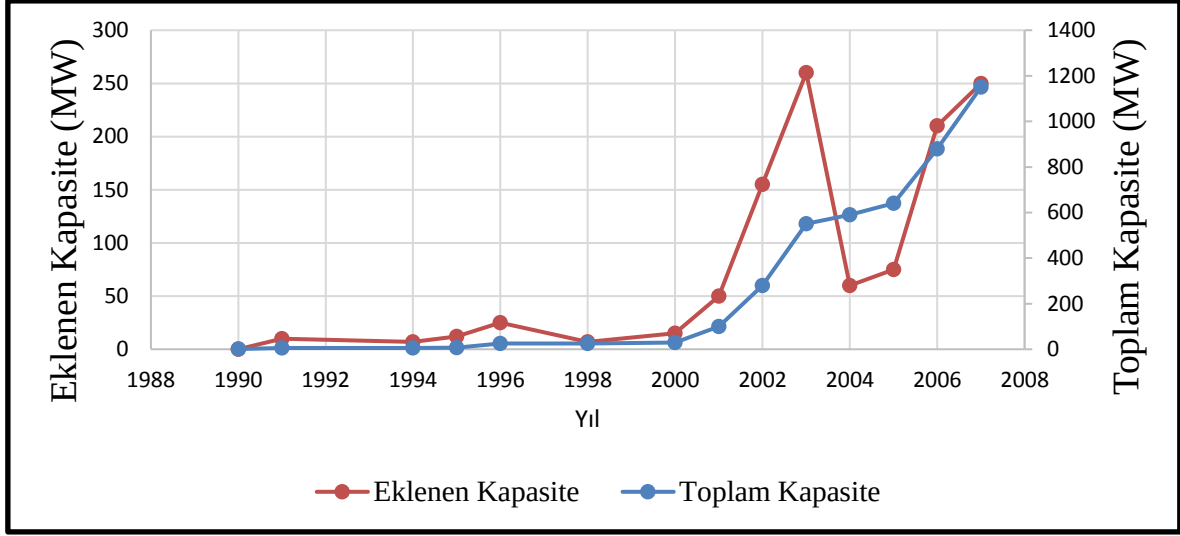
Rüzgâr türbininin tasarımı üretilen enerjinin birim maliyetini değiştirmektedir. Büyük ölçekli rüzgâr türbini elektrik üretim maliyeti aşağıya çekmektedir. 1980’lerde üretim maliyeti 35 sent civarındayken 1997 yıllarında 5 sente kadar inmiştir. Bu gibi

Üretim maliyetlerinin dtg noktalar da rüzgâr enerjisi en düşük maliyetli enerji kaynağı haline gelmiştir. Şekil 2.18’de rüzgâr enerjisinin üretim maliyetinin yıllara göre değişim maliyeti gösterilmiştir (Patel, 1999).



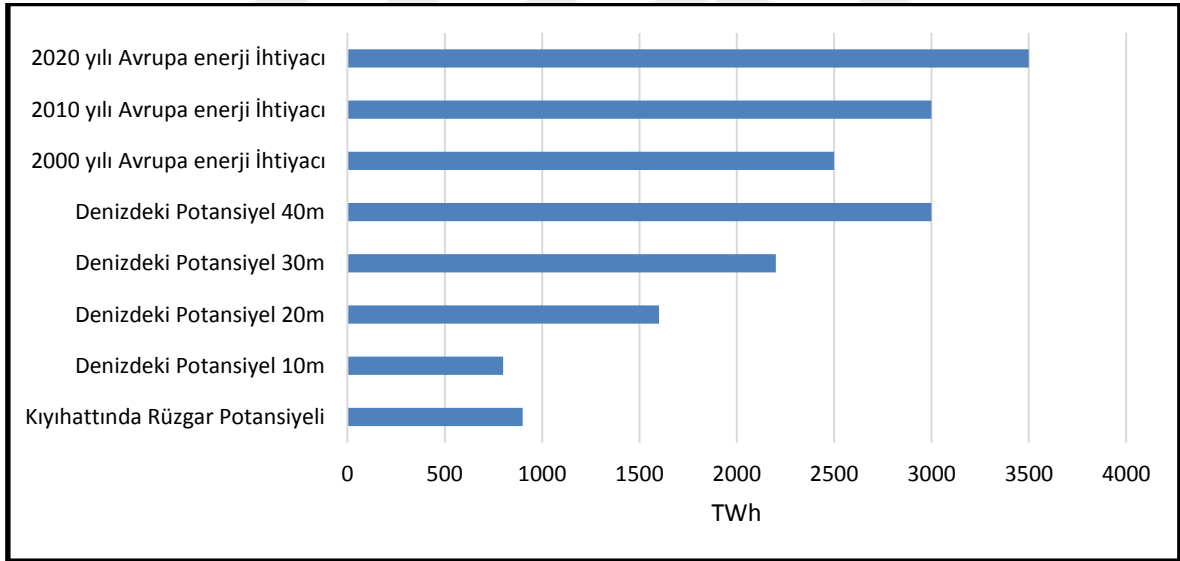
Şekil 2.18. Rüzgâr türbini ile üretilen enerjinin maliyetinin değişimi

Esteban M. D. Ve diğerleri yapmış oldukları çalışmada neden kara parçaların haricinde denizlerde de rüzgâr türbini kurulabileceğini araştırmışlardır. İlk offshore rüzgâr türbini tarlası 1990 tarihinde balamı ve üzerinde incelemeler devam ettiğini bildirmişlerdir. Şekil 2.19’da offshore rüzgâr enerjisinin 1990- 2007 yılları arası artışı gösterilmiştir. Bu teknoloji hızlı bir şekilde başta yarım ada ülkesi olan İngiltere, Danimarka, Hollanda, İsveç ve Almanya’da ilerlediğini bildirmişlerdir. Ayrıca yapmış oldukları araştırmada offshore rüzgâr enerji kaynağını diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılaştırmışlardır (Esteban ve ark., 2011).



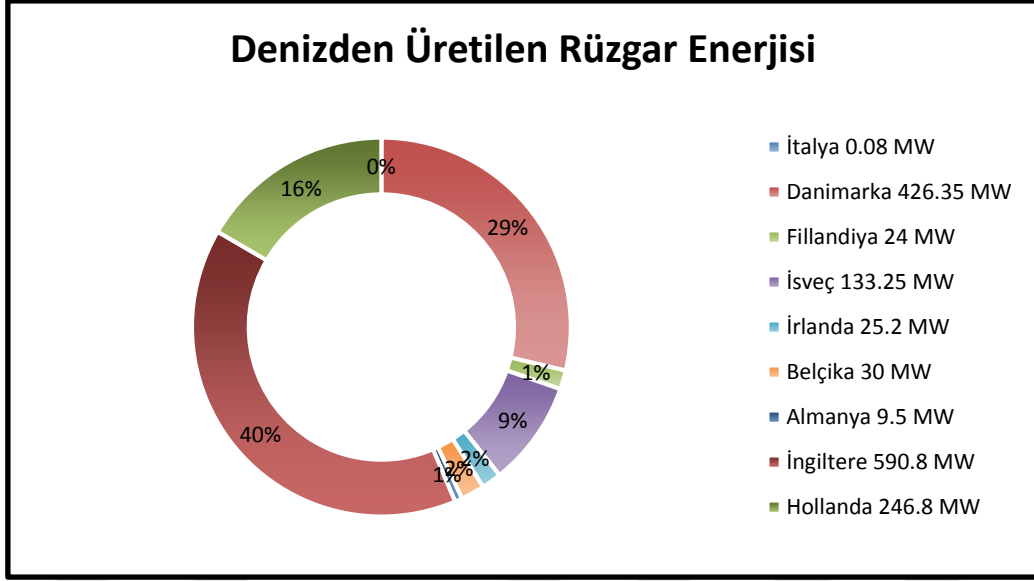
Şekil 2.19. Off-shore rüzgâr enerjisinin 1990- 2007 yılları arası artışı

Ülkelerin Kyoto protokolü gibi karbondioksit oranındaki politikaları karşılama adına denizlerdeki bu potansiyeli kullanacaklarını bildirmişlerdir. Şekil 2.20’de denizlerdeki rüzgar enerjisi potansiyeli gösterilmiştir (Esteban ve ark., 2011).



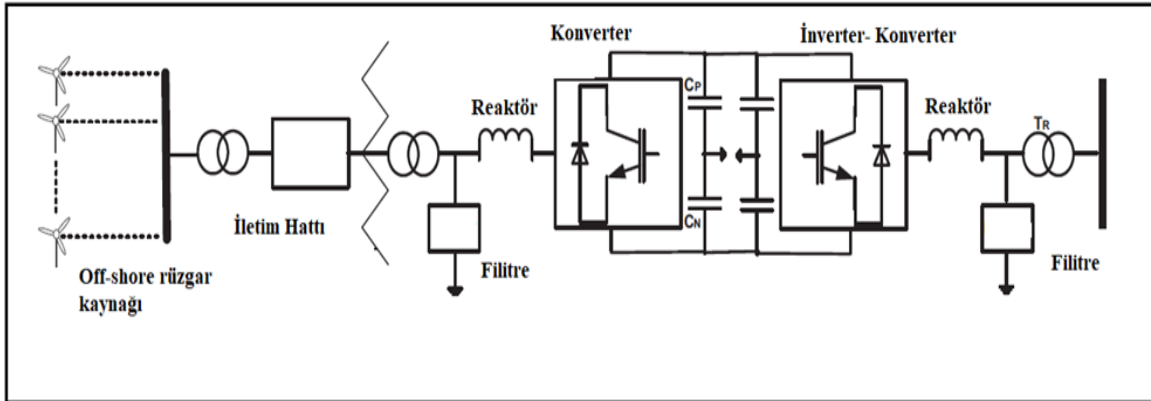
Şekil 2.20. Denizlerdeki rüzgâr enerjisi potansiyeli

Fransa ve İspanya gibi ülkelerde denizde rüzgâr enerjisi çalışmaları deneme çalışmaları ile kalmayıp önemli ölçüde kurulumlarını gerçekleştireceklerini bildirmişlerdir. Şekil 2.21’de bazı ülkelerin denizde rüzgar enerjisi kapasiteleri gösterilmiştir (Esteban ve ark., 2011).



Şekil 2.21. Avrupa ülkelerinin denizden üretilen rüzgâr enerjisi kapasiteleri

Reveen ve arkadaşları yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr enerjisinin su üzerinde veya denizde (Off-shore) üretilen bölümünü incelemiş ve dikkat çekmişlerdir. Araştırmaları neticesinde denizde olan rüzgâr enerjisinin kıyıda olana nazaran daha güçlü ve devamlı olduğu anlaşılmıştır. Bu sebeple daha büyük rüzgâr türbini ve şiddetli rüzgâr profili enerji üretimde yüksek oranda artış sağlayacaktır. Yaptıkları çalışma kapsamında off-shore rüzgâr üretim tesisini teknolojik, planlama ve ekonomik açıdan incelemişlerdir. Ayrıca kurulumu gerçekleştirilecek rüzgâr sistemleri denizde olacağı için yüksek oranda korozyon potansiyeli olacağını vurgulamışlar ve bunun için daha az bakım gerektirecek tasarımlar kullanılmasına değinmişlerdir. Şekil 2.22.'de off-shore rüzgâr üretim sisteminin üretimden kıyıya bağlantı blok diyagramı verilmiştir (Reveen ve ark.,2014).



Şekil 2.22. Off-shore rüzgâr enerji üretim sisteminin üretim-kıyı bağlantı blok diyagramı

Magariaga ve arkadaşları off-shore rüzgâr projesi ile alakalı geniş bir derleme çalışması yapmışlardır. Çalışma kapsamında mevcut off-shore rüzgâr enerji üretim sistemlerinin durumu, bu alanda lider olan ülkelerin faaliyetlerini, kurulum kapasitelerini ve teknoloji açısından lider olan ülkelerin bu alandaki gelişmeleri incelemişlerdir. Fizibilite çalışması olarak alternatif off-shore rüzgâr sistemleri ticari açının haricinde teknoekonomik açıdanda incelenmiştir. Tablo2.2’de bu alanda lider olan ülkelerin 2011 kasım ayındaki kapasiteleri, kurulum durumundaki kapasiteleri ve kasım 2014 tarihli megawatt ölçüsünden kapasiteleri verilmiştir (Madariaga ve ark., 2012).

Tablo 2.2. Off-shore rüzgâr enerji üretiminde bazı ülkelerin kapasite değişimi

Ülke	Kasım 2011 (MW)	İnşaat halinde (MW)	Kasım2014 (MW)
Belçika	195	296	491
Çin	446	1658	2104
Danimarka	863	400	1263
Finlandiya	30	-	30
Almanya	120	800	920
İrlanda	25	-	25
Japonya	24	-	24
Hollanda	247	-	247
İsveç	180	-	180
İngiltere	1720	2759	4479
Toplam	3850	5913	9763

3. FOTOVOLTAİK HÜCRELER

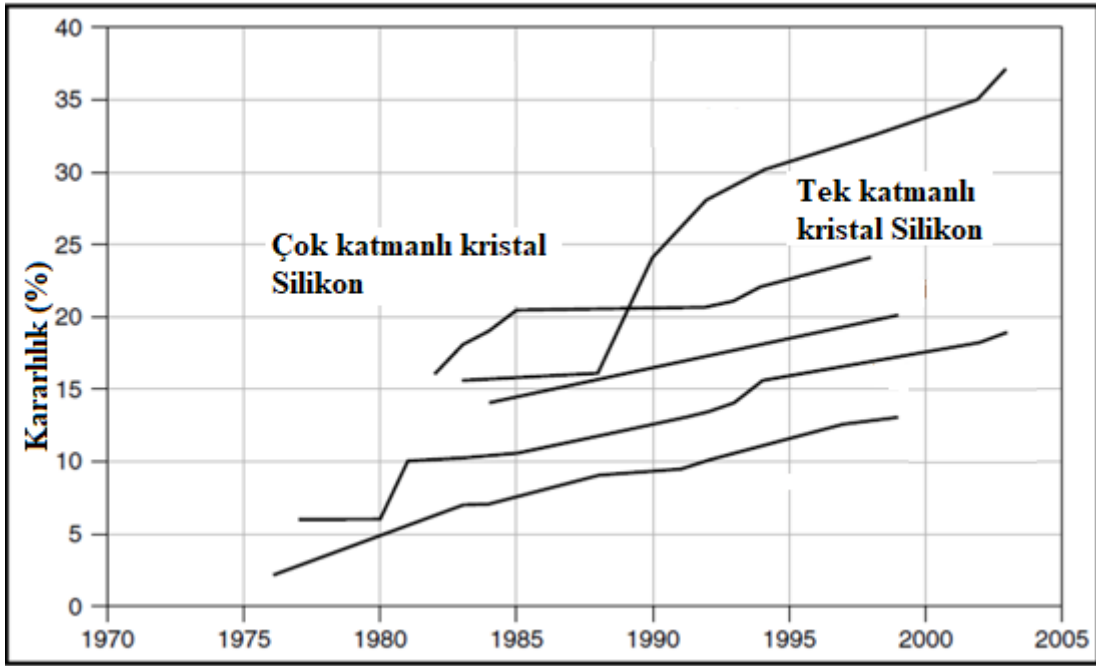
3.1. Fotovoltaik Hücreler ve Tarihsel Gelişimi

Güneş ışınımdaki foton adı verilen parçacıkların elektrik voltajına çevirebilme kabiliyetine sahip materyal ya da aygıtlara fotovoltaik denilmiştir. Düşük dalga boylu ve yüksek dalga boylu fotonların fotovoltaik materyaldeki serbest elektronların hareketine olanak sağlamaktadır. Bu fotovoltaik materyaller metal iletkenle birleştirildiğinde elektrik akımının akması ile neticelenmiştir. Ayrıca güneşten dünya yüzeyine gelen ışınımdaki fotonlarından sağlanacak enerji miktarı dünyanın kullanacağı enerji miktarının 6000 katından daha çok olduğu düşünülmektedir (Masters, 2004).

Fotovoltaik hücrelerin tarihsel gelişimi 1839 yıllarına dayanmakta olup, Fransız fizikçi Edmund Becquerel tarafından elektrolit çözelti içerisindeki metallerin ışık altında voltaj ürettiğini kaydetmiştir. Yaklaşık 40 yıl sonra Adams ve Day 1876 yıllarında fotovoltaikler hakkında ilk kez katı maddelerde incelemişlerdir. Bu çalışmalarında selenyumdan %1-%2 oranında kararlılığa sahip bir hücre yapmayı başarmışlardır. Üretilen bu hücre fotoğraf endüstrisine hızlı bir şekilde adapte olmuş ve fotometrik ışınımölçer metre yapımında kullanılmıştır ve hala günümüzde de kullanılmaktadır (Masters, 2004).

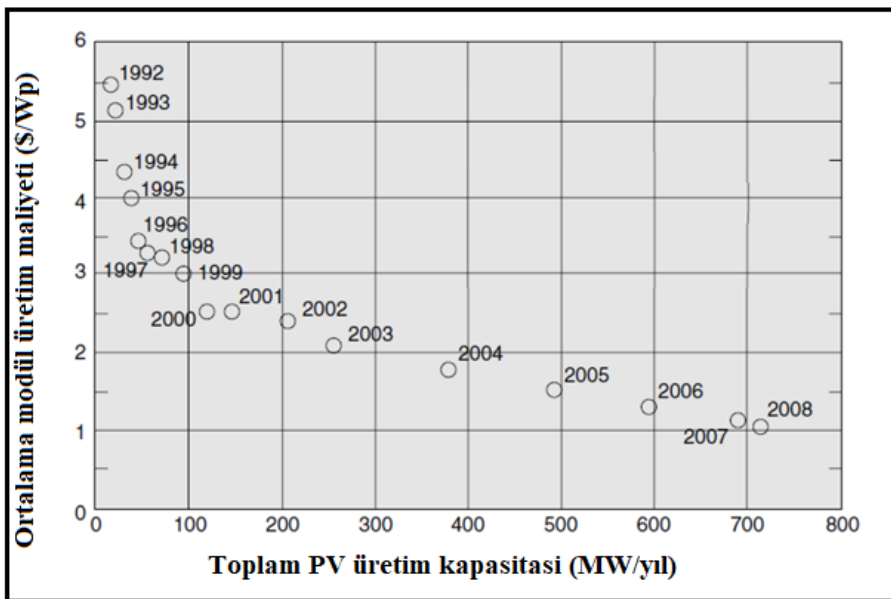
Polonyalı bilim adamı Czochralski silisyum kristalleştirme yöntemleri üzerinde çalışmalara başlamıştır. Czochralski'nin bu alandaki yapmış olduğu gelişmeler modern elektroniğin köşe taşlarını oluşturmuştur. Czochralski silikonun kristalleştirilmesi ile ilgili 1940 ve 1950 yılları arasında ilk jenerasyon silikon kristalini üretmesine olanak sağlayacak teknik geliştirmiştir. Geliştirmiş olduğu bu teknik günümüz fotovoltaik endüstrisini hız gelişmesi yönünde etkilemiştir (Masters, 2004).

1950'lerde birkaç kez bu gelişmeleri ticarileştirme çabaları maliyetlerden dolayı gerçekleştirilememişlerdir. 1958'de fotovoltaiklerin enerji kaynağı olması Vanquard I uydusunda kullanılması ile gerçekleştirilmiştir. Uzay araçları için ağırlık ve dayanıklılığın yanında maliyet önemsiz kalmaktadır. Günümüzde güneş pilleri uydularda ve uzay araçlarında enerji sağlayıcı olarak önemli rol oynamaktadır. 1970'lerde enerji krizi nedeniyle bu alanda ki gelişmeler uzay endüstrisi tarafından maliyetlerin azaltılması açısından desteklenmiştir. 1980'lerde çalışmaların ilerlemesi ile daha kararlı ve düşük maliyetli fotovoltaik sistemler kullanıma sunulmuştur. Şekil 3.1'de yıllara göre farklı üretim teknolojilerine sahip maddeler ve kararlılıkları verilmiştir (Masters, 2004).



Şekil 3.1. Yıllara göre farklı üretim teknolojilerine sahip maddeler ve kararlılıkları

Fotovoltaik panellerde maliyet ve üretim kolaylığı nedeniyle hayatın birçok alanında kullanımı yaygınlaşmıştır. Bunlardan bazıları; şebekeden bağımsız teras uygulamaları, otoyol lambaları, sinyal ve acil çağrı telefonları, kırsal alan su pompaları ve küçük ev uygulamalarıdır. Şekil 3.2’de yıllara göre fotovoltaik panel üretim kapasitesi ve üretim maliyet değişimini gösteren grafik verilmiştir (Masters, 2004).



Şekil 3.2. Yıllara göre fotovoltaik panel üretim kapasitesi ve üretim maliyet değişimi

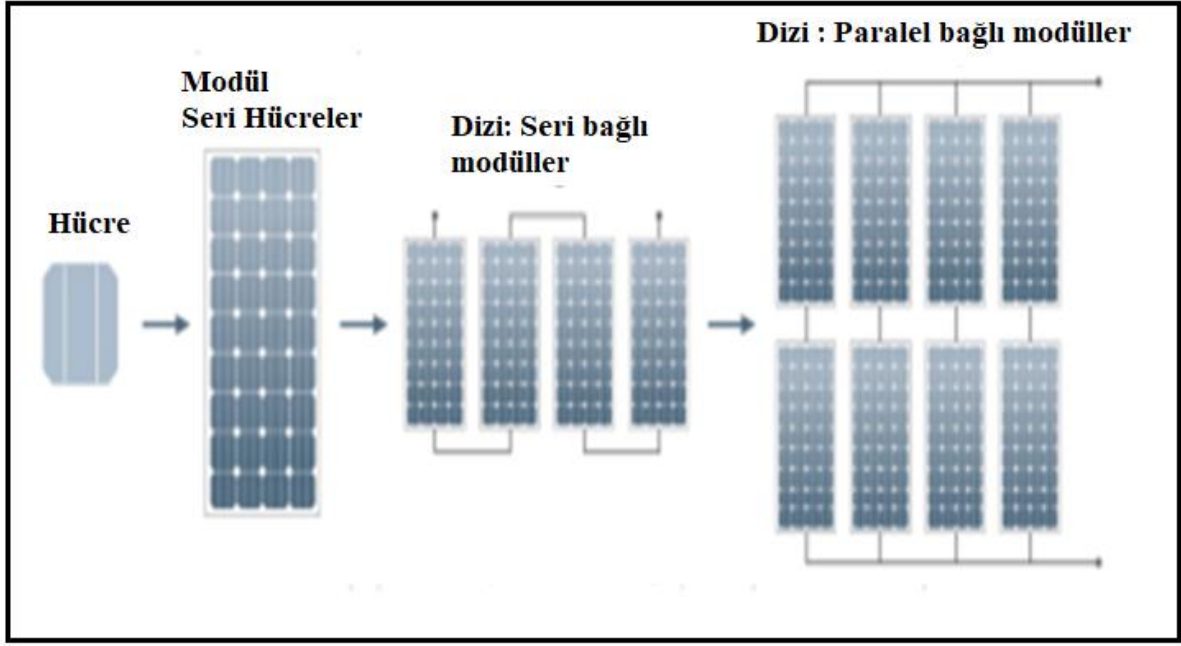
2002 yılında tüm dünya genelinde fotovoltaik panel üretimi yıllık 600MW ulaşmış olup yıllık %40 oranında artacağını bildirmişlerdir. Şekil 3.3’de Amerika, Japonya ve geri kalan dünya ülkelerinin üretim miktarı verilmiştir. Ayrıca tüm dünyada ve Japonya da artarken Amerika’da pazar kapasitesinde düşüş yaşanmış olduğu görülmüştür (Masters, 2004).



Şekil 3.3. Amerika, Japonya ve geri kalan dünya ülkelerinin üretim miktarı

3.2 Fotovoltaik Hücrelerin Fiziksel Özellikleri

Fotovoltaik hücreler güneş ışınımının yapısında olan fotonlardan direkt olarak elektrik üreten herhangi bir mekanik veya hareket kabiliyeti olmayan hafif ve bakım gerektirmeyen yapıdadırlar. Fotovoltaik sistemler diyot gibi davranırlar. Fotovoltaikler hücreler genellikle daire, kare ve dikdörtgen olmak üzere birkaç farklı geometrik yapıya sahiptirler. Yüzey alanları 50 ile 160 cm² civarında olup, genelde 100 cm² dir. Yapısıyla alakalı olarak hücrelerin kalınlıkları 0,2 ile 0,4 milimetre teknolojisiyle alakalı olarak değişkenlik göstermektedir. Fotovoltaik sistemlerin voltaj ve akım çıkışları çok düşük olduğu için seri ve paralel olarak bağlantılarla dayanıklı bir çerçeve içerisine yerleştirilerek bir panel elde edilmiştir. Şekil 3,4’de hücre panel, panellerin seri ve paralel bağlantısı verilmiştir (Öztürk, 2014).



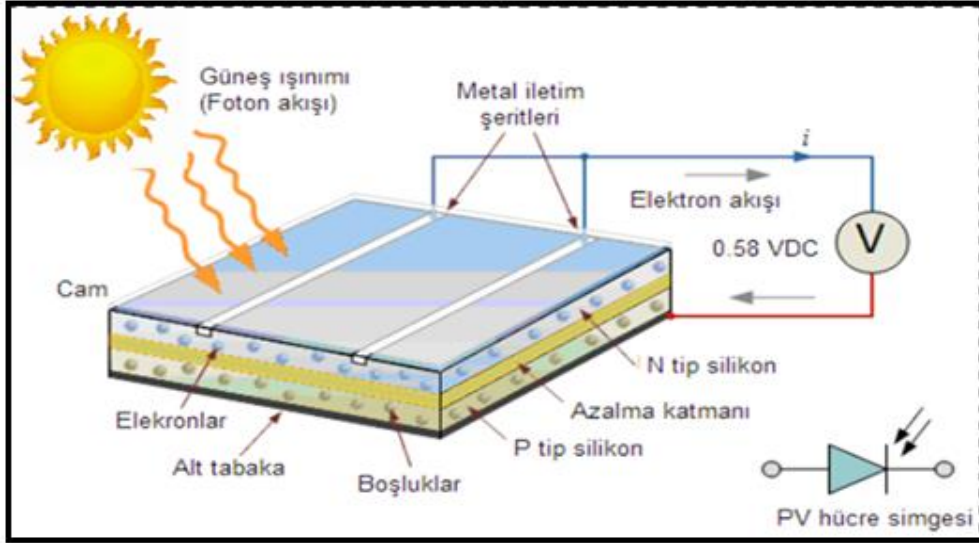
Şekil 3.4. Hücre panel, panellerin seri ve paralel bağlantısı

Fotovoltaik panellerin alınan çıkış gerilim ve akımı artırılması amacıyla fotovoltaik hücreler birbirine bağlanarak istenen akım ve gerilim değerlerine ulaşılmaktadır. Daha sonra dış çevrenin olumsuz etkilerinde etkilenip gerek oksitlenme gerekse tozlanma gibi durumların oluşmaması için hücreler birleştirilip ön yüzü saydan cam ile arka yüzü ise saydam veya saydam olmayan koruyucu ile kapatılıp özel amaçlı ve ya da standart halde ticari amaçlı kullanıma sunulmaktadır (Öztürk, 2014).

3.3 Fotovoltaik Hücrelerin Çalışma Prensibi

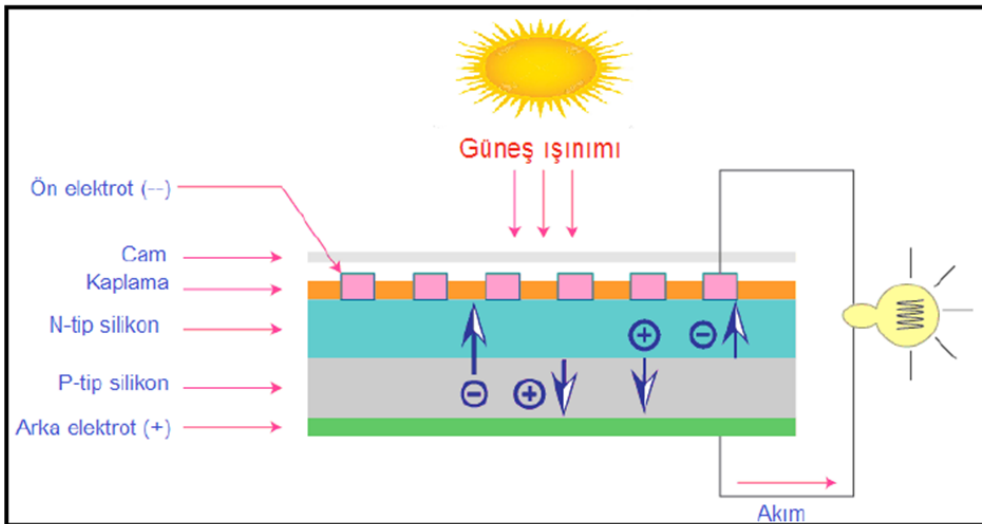
Einstein'nin bu alanda yaptığı çalışmalarda ışığın yapısının dalgadan ibaret olmadığını yapısında bazı parçacıklarında olduğunu ve bunların harekete sahip olduğunu bilirmiştir. Bu parçacıklara foton adı verilmiştir. Başka bir şekilde ifade edilecek olunursa güneş ışınının fotonların oluşturduğu bir akış olarak da ifade edilmektedir. Şekil 3.5'de fotovoltaik hücrenin çalışma prensibi verilmiştir. Güneş ışınının yapısında olan fotonların yarı iletken bazı malzemeler üzerine çarpması neticesinde yarı iletkenin yapısındaki atomların serbest elektronlarını harekete geçirmesi ile elektrik akımı oluşumuna olanak sağlamaktadır. Fotovoltaik kelimesi eski Yunancada ışık olarak tanımlanan photo ile elektrik alanında önemli gelişmelere imza atan ve akım makinasını

tasarlayan Alessandra Volt'dan alınarak voltaic sözcüklerinin bir araya getirilmesinden oluşturulmuştur (Öztürk, 2014).



Şekil 3.5. Fotovoltaik hücrenin çalışma prensibi

Elektro-manyetik radyasyonun küçük birimine foton denir. Elektro-manyetik enerji fotonlar vasıtasıyla taşınabilmektedir. Ayrıca bitkilerin yaşamlarını devam ettirebilmeleri için gerekli olan enerji reaksiyonları olan fotosentez reaksiyonlarında da temel enerji taşıyıcıdır. Yarı iletken materyallerdeki elektronların harekete geçirerek iletkenliğin artmasına ve güneş ışınımının elektrik enerjisinde dönüşümüne olanak sağlamaktadır. Şekil 3.6'de güneş ışınımı etkisinde çalışması verilmiştir (Öztürk, 2014).

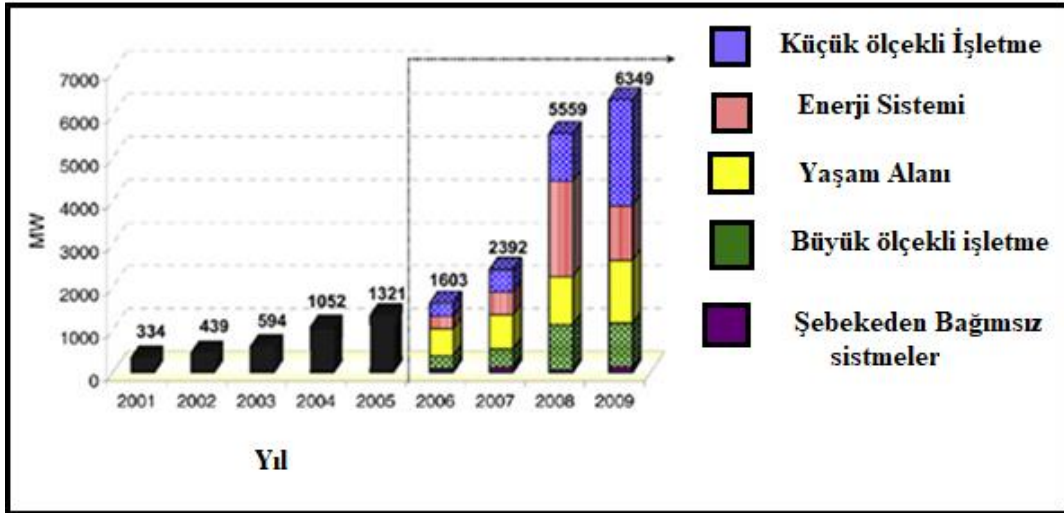


Şekil 3.6. Güneş ışınımı etkisinde çalışması

4.FOTOVOLTAİK PANEL LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bilindiği üzere dünya nüfusunun hızla ilerlemektedir. Nüfusun hızla artması başta olmak üzere aydınlanma, ısıtma, soğutma ve taşıma faaliyetleri gibi insanlığı yaşam konforunu doğrudan etkilediği işlemlerde enerji tüketim miktarının artması ve kaynakların sınırlı olması araştırmacıların bu alandaki araştırmalarını artmasında pozitif yönde etkilemiştir. Bu alanda önemli bir yere sahip Fotovoltaik paneller (PV) birçok sistemde kullanımı artmıştır. Bunun başlıca nedenlerini; yatırım maliyetinin yüksek olmasına karşın uzun çalışma ömrünün olması, hareketli bir yapısının olmaması nedeniyle temizlik haricinde bakım masraflarının yüksek olmaması ve büyük oranda yenilenebilir enerji potansiyeli olan güneşten faydalanmaya olanak sağlaması gibi sıralamak mümkündür.

Kaldellis. J.K. ve diğerleri kırsal kesimdeki hızlı nüfus artışı ve hızlı sanayileşmenin neden olduğu hava kirliliği sebebiyle fotovoltaik panellerin doğal kirlenme durumunda verimlerinin azalma miktarını incelemişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada beş özdeş yapıya sahip panelin Atina'da doğal kirlenmeye maruz bırakılarak verimleri incelemişlerdir. Farklı toz konsantrasyonları da dikkate alınarak verim karşılaştırılmaları küçük ölçekli güç istasyonu baz alınmıştır. Şekil 4.1'de Farklı sektörlerde ki PV panel uygulamalarının küresel oranda yıllara göre dağılımı (Kaldellis ve Kokala, 2010).

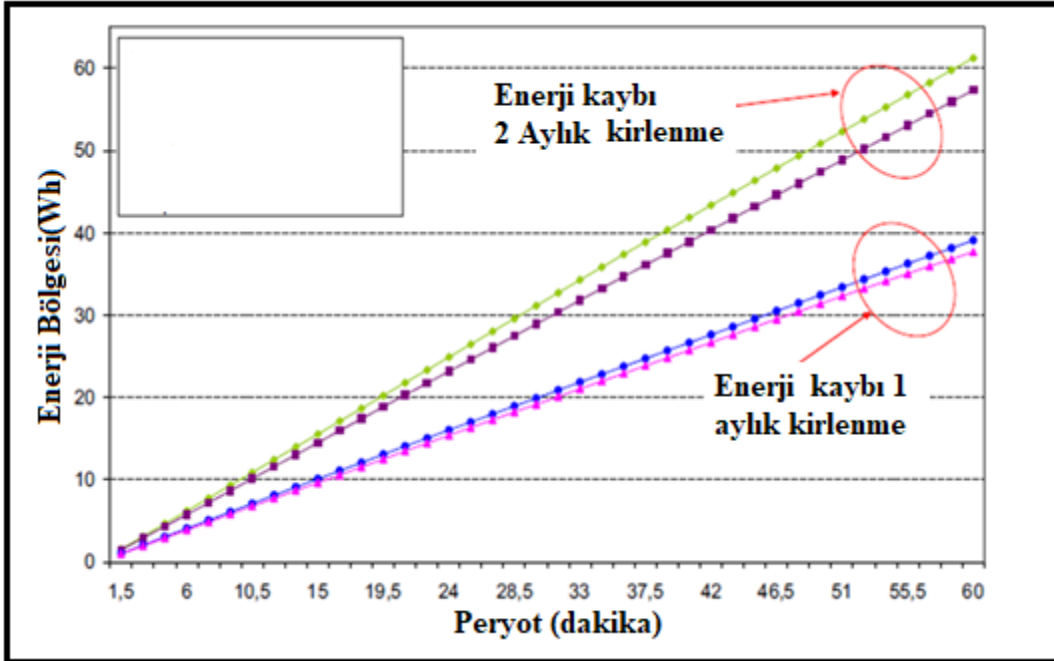


Şekil 4.1. Farklı sektörlerde ki PV panel uygulamalarının küresel oranda yıllara göre dağılımı



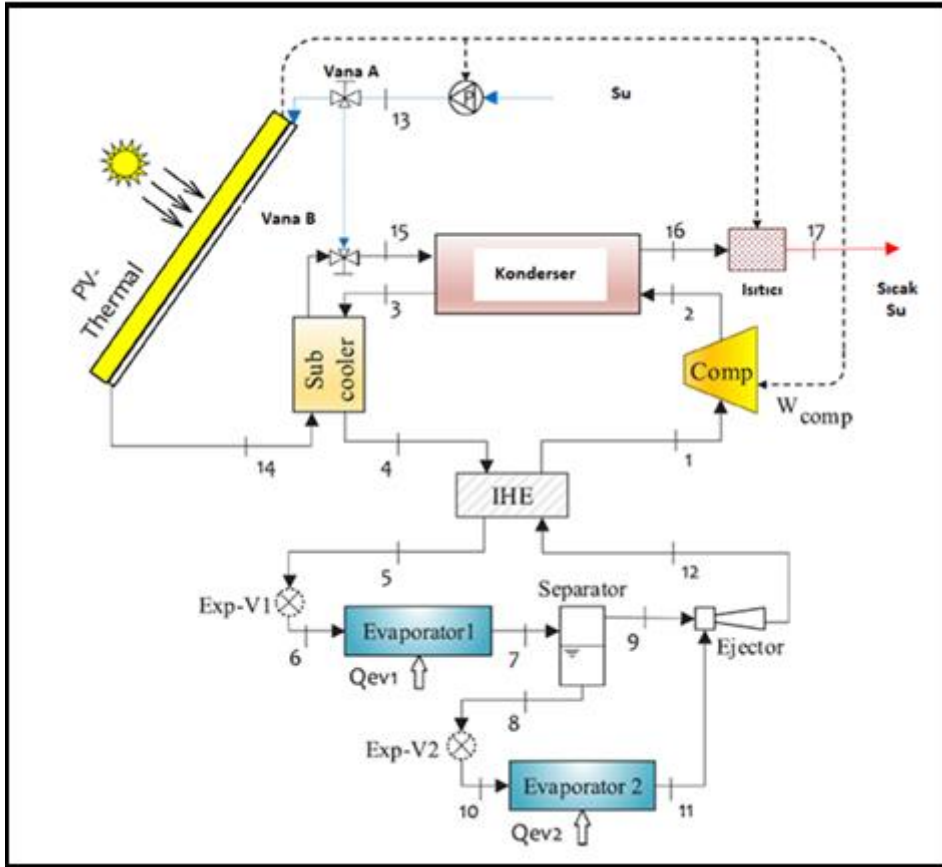
Şekil 4.3. Deney sisteminde incelenen PV paneller

Yapmış oldukları deney sonucunda kırsal bölgenin hava şartları sanayileşmiş ve şehir merkezlerine nazır daha temiz olmasına rağmen iki aylık kısa bir zaman diliminde 1g/m^2 toz birikimi olduğunu bildirmişlerdir. Bu sebeple PV panelin enerji üretiminde 6.5% bir kayıp söz konusu olduğuna değinmişlerdir. Yıllık bazda gelir deki azalma 40€ /kWp değere ulaşabileceği sonucuna varmışlardır Şekil 4.4’de deney sisteminde kullanılan panellerin bir aylık ve iki aylık zaman diliminde doğal şartlarda kirlenen ve kirlenmeyen panellerin enerjilerinin karşılaştırılması verilmiştir. (Kaldellis ve Kokala, 2010).



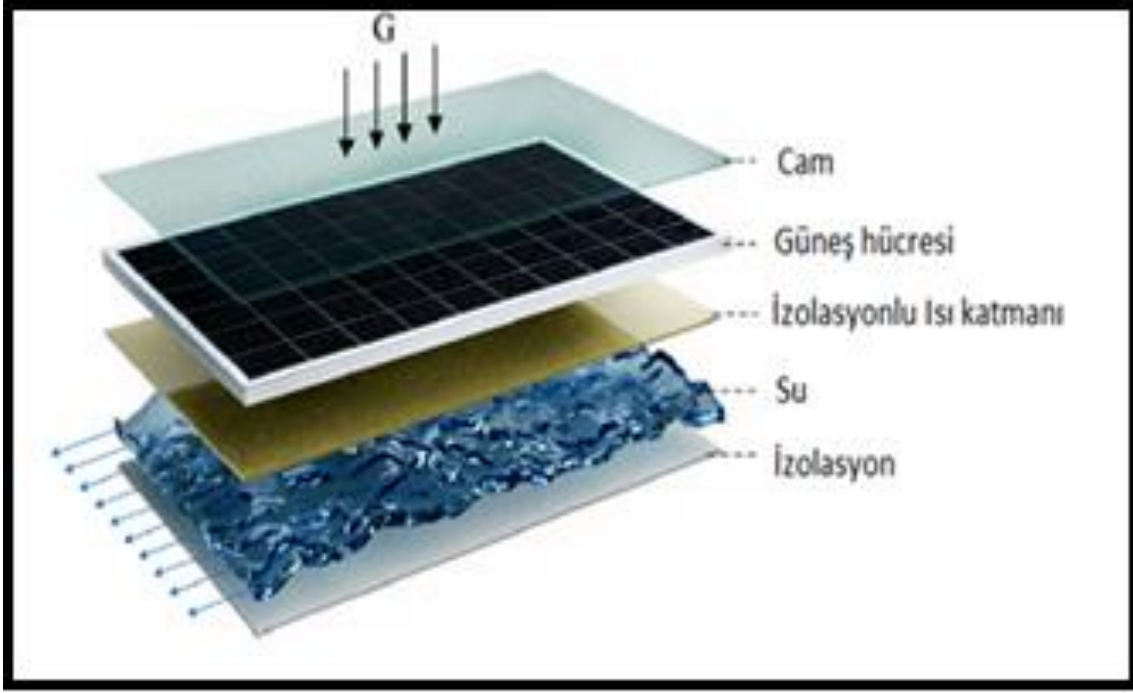
Şekil 4.4. Deney sisteminde kullanılan panellerin bir aylık ve iki aylık zaman diliminde doğal şartlarda kirlenen ve kirlenmeyen panellerin enerjilerinin karşılaştırılması

Zarei ve diğerleri enerji güvenilirliği ekonomik ilerleme ve iklim değişikliğinin etkilerinin en asgari düzeye indirilmesinde etkili olan ısıtma ve soğutma teknolojileri üzerinde incelemelerde bulunmuşlardır. Şekil 4.5’de Bireysel kullanım amaçlı soğutma ve ısıtma Hibrit PVT kollektör sisteminin sistematik diyagramı verilmiştir. Fotovoltaik termal kollektörlerle çalıştırılan çevreye zararsız birleştirilmiş soğutma ve ısıtma sisteminin yerel uygulamaları üzerinde deneysel bir çalışma yapmışlardır (Zarei ve ark., 2020).



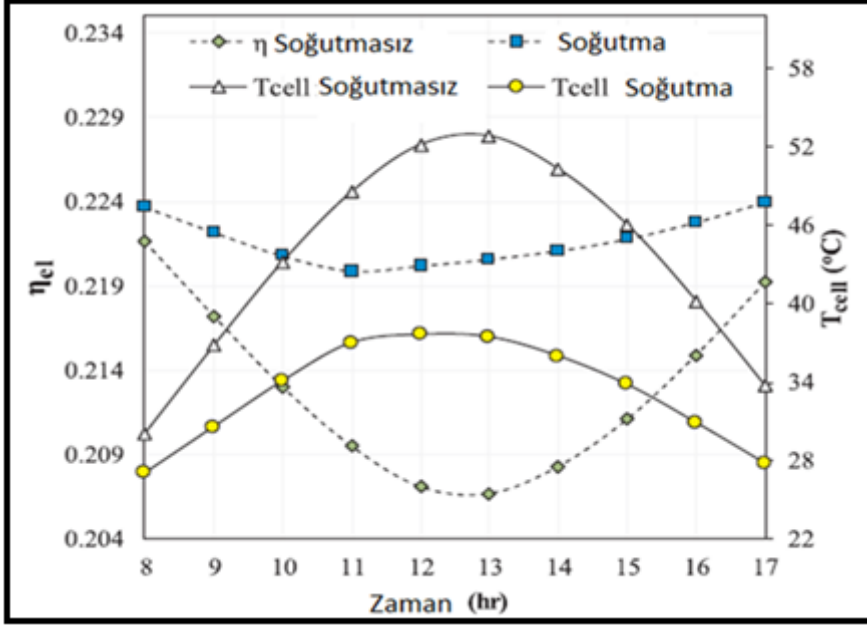
Şekil 4.5. Bireysel kullanım amaçlı soğutma ve ısıtma hibrit PVT kollektör sisteminin sistematik diyagramı

Proje kapsamında fotovoltaiik termal paneller kullanılarak deney yapıp devam ettirilmiştir. Bu termal fotovoltaiik panellerin kesit alan bilgileri tabaka tabaka Şekil 4.6’da verilmiştir.



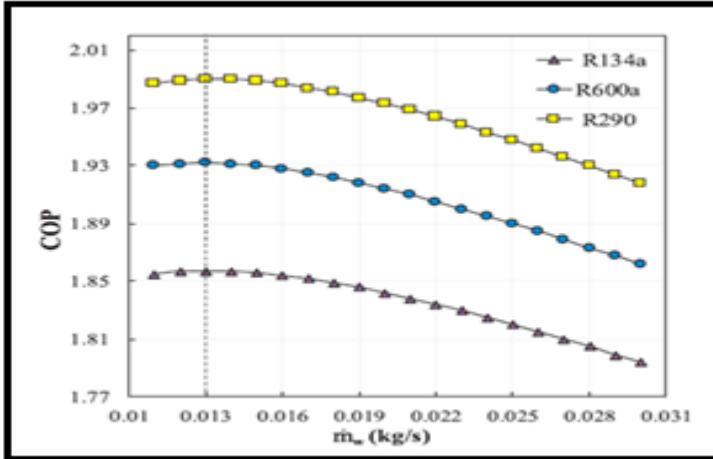
Şekil 4.6. Fotovoltaik termal panelin kesit görünümü

Yapmış oldukları bu çalışmada fotovoltaik termal kollektörlerin yaşam alanlarında soğutma ve ısıtma sistemlerinde performans analizine bakmışlardır. Tasarlamış oldukları sistemde kullandıkları PVT panelin maksimum oranda güneş enerjisini elektrik ve ısı enerjisiye çevirebildiğini bildirmişlerdir. Sistemde kullanmış oldukları iş akışkanlarından biri olan su panelin soğutulmasında görevli olup, panelin soğutulmasıyla verimliliği artırmış olduğunu bildirmişlerdir. Soğutma çevriminde küresel ısınma potansiyeli az olan R600 ve R290 gazlarını R134a gazı yerine kullanmışlardır. Giriş iş akışkanı olan su PVT panel haricinde kondenser ve ısıtıcıdan faydalanmıştır. Sonuç olarak iş akışkanının kütleli debi miktarı 0.011 kg/s ile 0.03 kg/s (39-108 lt/saat) ve güneş ışıması (G) 945 W/m² de PVT sisteminin verimi 66.7 %den 75.8% miktarına ve R290 gazında COP katsayısının en yüksek değere sahip olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca sistemdeki iş akışkanı $\dot{m} = 0.013$ kg/s kütleli debi miktarında en düşük exergy miktarında olduğunu bildirmişlerdir. Şekil 4.7’de Saatlik olarak PV panelin Elektriksel kararlılığı, PV panel üzerindeki hücrelerin soğutulma ve soğutulmadığı durumda sıcaklık değişim grafiği verilmiştir. (Zarei ve ark.,2020).



Şekil 4.7. Saatlik olarak PV panelin elektriksel kararlılığı, PV panel üzerindeki hücrelerin soğutulma ve soğutulmadığı durumda sıcaklık değişimi

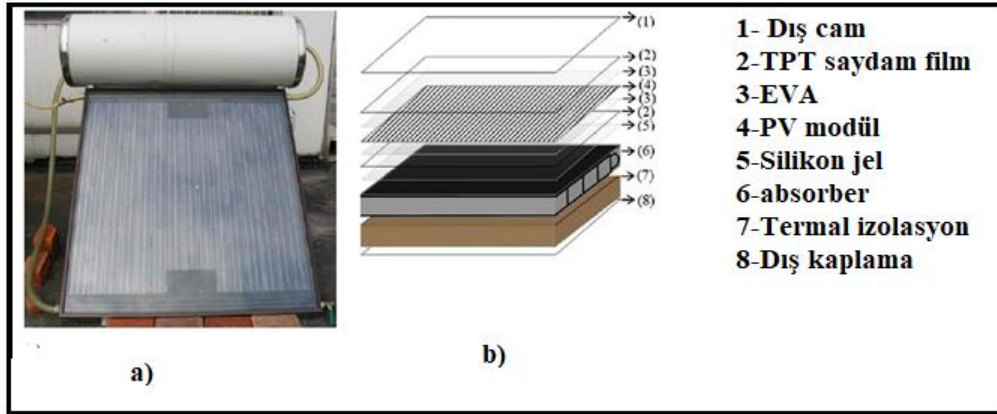
Deney süresince farklı kütleli debilerde gazların COP'lerine bakılmıştır. Deney işlemi süresince farklı debilere göre COP çıkışları Şekil 4.8 'de grafik olarak verilmiştir.



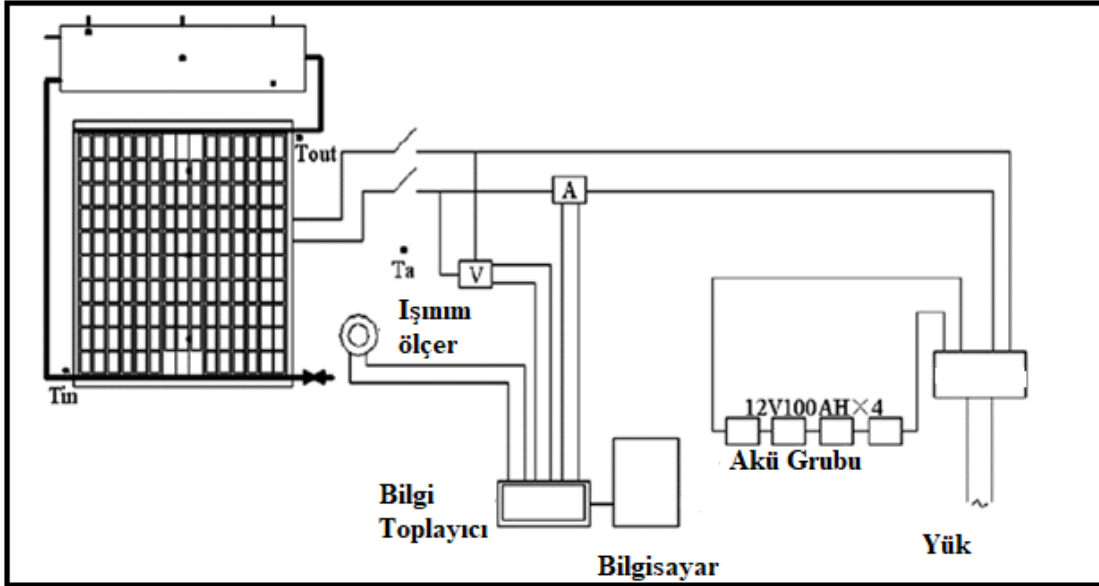
Şekil 4.8. Sistemde denenmiş soğutucu gazların güneş ışınımının $G = 945 \text{ W/m}^2$ olduğu durumdaki COP değerleri

Ji. J. Ve diğerleri doğal sirkülasyonlu hibrit fotovoltaik/ termal su ısıtma sisteminin hassaslık analizi yapmışlardır. Tasarlamış oldukları sistem düz bir alüminyum kasa üzerine doğal sirkülasyonu sağlayacak şekilde fotovoltaik panel yerleştirilmiştir. Tasarlamış

oldukları hibrit fotovoltaik/ termal (PV/T) kolektörler tekli-kristal silikon hücrelerine entegre edilmiştir. Şekil 4.9’da PV/T kolektörün fiziksel görünümü (a) önden görünümü (b) tasarımın tabaka tabaka görünümü Böylelikle tasarlanmış oldukları sistem elektrik ve sıcak suyu eş zamanlı olarak üretebileceği bildirmişlerdir. Prototip olarak tasarlanmış sistem ılıman iklimde kullanılmıştır. Şekil 4.10’da Tasarlanan PV/T sisteminin test ekipmanları şematik olarak verilmiştir. Yapılmış olan test de hassaslık analizi, farklı kütleli debide akış incelenmesi, PV hücrelerin kaplama faktörleri ve üst cam kaplama ısıtım iletimine bakılmıştır (Lu ve ark. 2007).



Şekil 4.9. PV/T kolektörün fiziksel görünümü (a) önden görünümü (b) tasarımın tabaka görünümü



Şekil 4.10. Tasarlanan PV/T sisteminin test ekipmanları şeması

Yapmış oldukları test sonuçlarına göre sistemin günlük enerji kazanımı %65 kadar ulaşabildiğini bildirmişlerdir. Bunu da PV hücrenin 0.63 kapsama kat sayısında iken ve

cam geçirgenliğinin 0.83 olduğunda elde edildiğini bildirmişlerdir. Simülasyona göre yüksek PV hücre kapsama faktöründe ve cam geçirgenliğinin artırımıyla bütün sistemin performansında daha iyi sonuçlar oluşacağını bildirmişlerdir (Lu ve ark. 2007).

Yapılmış bir başka çalışmada Türkiye’de üretilen enerjinin maliyet analizi ve bazı Avrupa ülkeleri ile karşılaştırılma verilerini değerlendirmiştir. Araştırma ile alakalı olarak enerji ve enerji kaynaklarının tüm dünya için büyük önem arz ettiğini bildirmiştir. Ülkemizde enerji kaynaklarının yetersizliğini ve ülke dışında enerji ihtiyacının tedarik edilmesi neticesinde dışa bağımlılığın arttığına değinmiştir. Dünyada ve ülkemizde fosil tabanlı enerji kaynaklarının azalması neticesinde farklı enerji kaynak arayışı kaçınılmaz olduğunu bildirmiştir. Bu kaynağın başında yenilenebilir enerji kaynağından olan güneş oluşuna değinmiştir (Dinçer 2011).

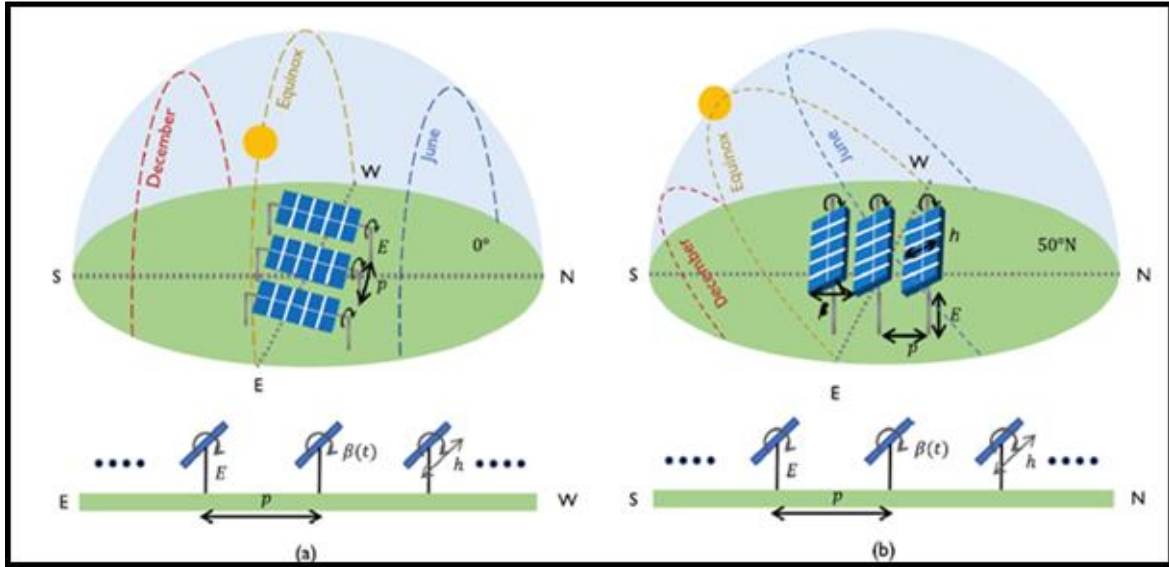
Ülkemizde güneş enerjisinden elektrik enerji üretimi ciddi boyutlara ulaşmıştır. Büyük ölçekte güneş kaynaklı enerji üretimi yapan Avrupa’daki birçok ülkeden potansiyel olarak daha büyük bir kapasiteye sahip olduğuna değinmiştir. Fakat buna rağmen yenilenebilir enerji kaynaklarından faydalanmamız bu ülkelerden daha az bir orana tekabül etmekte olduğuna değinmişlerdir. Bu durumun devletin daha stratejik politikalarla ve devletin üst düzey kurumlarının birbirleri ile koordineli çalışmasıyla aşılabileceğine değinmişlerdir(Dinçer 2011).

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğün ’den elde edilen kaynaklara göre ışınlam şiddeti ve güneşlenme süresi olarak Türkiye’nin yıl bazında güneşlenme toplam zamanı 2640 saat, günlük zaman dilimde 7,2 saat ortalaması elde edilmiş olup toplamda güneş enerjisinden elde edilen ışınlam şiddeti olduğu bildirilmiştir. Ancak sonradan yapılan incelemeler ve ölçümler neticesinde Türkiye’nin güneşten faydalanma potansiyeli hesaplanan değere göre %25 daha fazla olduğu kanaatine varılmıştır. Avrupa ülkelerinde enerji tüketicileri bilinçlendirme ve çeşitli kaynaklar sağlanarak yenilenebilir enerjiden faydalanmayı artırmıştır. Ülkemizde bu gibi desteklerin daha az yapıldığı net bir şekilde olduğu bildirmektedir. Yapmış oldukları araştırma ülkemizdeki mevcut güneş potansiyeli göz önüne alınarak Avrupa ülkeleri ile karşılaştırmalı bir analiz yaparak elektrik üretim maliyet analizleri yapıldığına değinmiştir (Dinçer 2011).

Işiker Y. ve arkadaşları başta petrol ve diğer fosil kaynaklı yakıtların azalması üretim ve işletim maliyetlerinin arttığına değinmişlerdir. Ayrıca fosil tabanlı yakıtların çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri neticesinde yenilenebilir enerji kaynaklarına ve özelliklede fotovoltaik panellerle elektrik üretim miktarının arttığını

bildirmişlerdir. Fotovoltaik panellerin çalışma durumunda gücüne etki eden parametreleri araştırmışlardır. Fotovoltaik panellerin gücünü etkileyen faktörlerin başında sistemde kullanılan panel alanı, panel konfigürasyonu, panelin montaj açısı, panelin kurulum yapılmış olduğu yerdeki ışınlım şiddeti, panelin özelliği, panelin olduğu yerdeki dış ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızı gibi panelin verimine etki eden parametreleri sıralamışlardır. Yapmış oldukları deneysel çalışma dört farklı ışınlım şiddetide gerçekleştirmişlerdir. Bu deneyler 14 farklı elektriksel yük altında yapılmış olup optimal direnç 5.6 ohm olarak belirlemişlerdir. Ayrıca panellerin her ayın kendine ait eğim açısında panellerin konumlandırılması optimum çözüm olarak belirlemişlerdir (Işıker, 2006).

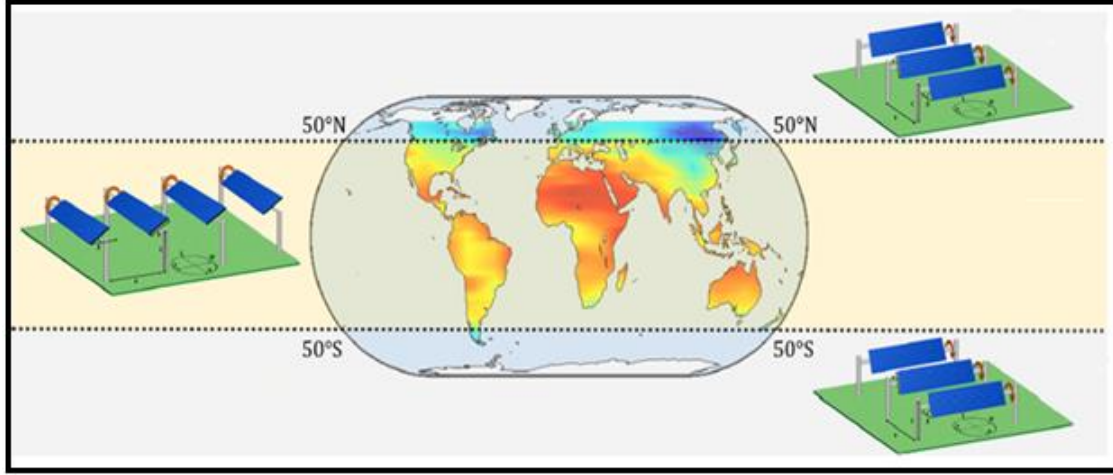
Patel ve arkadaşları (2021) yeni nesil kullanım ölçekli güneş takip sistemli çift yönlü fotovoltaik panellerin küresel olarak analizini yapmışlardır. Yapmış oldukları detaylı olarak açıkladıkları güneş enerjisi sahası sıcaklığa bağlı çift yönlü panellerin kullanıldığı güneş takip sistemini kapsamaktadır. Şekil 4.11’de Çift yönlü panellerin kullanıldığı tek eksenli güneş takip sisteminin doğu-batı, kuzey-güney yönlü enerji üretim sisteminin Sistematik diyagramı. (Patel ve ark., 2021).



Şekil 4.11. Çift yönlü panellerin kullanıldığı tek eksenli güneş takip sisteminin doğu-batı, kuzey-güney yönlü enerji üretim sisteminin Sistematik diyagramı

Güneş takip ekipmanlı bu sistem ekvator yakınlarında konumlandırıldığında yüzde 45 oranda daha fazla enerji verimi olduğunu sabit açılı çift yönlü panellerle karşılaştırarak bildirmişlerdir. Ayrıca 0,5 albedo oranında çift yönlü panellerden tek yönlü panellere nazaran yaklaşık olarak %10 daha fazla enerji elde edildiğini bildirmişlerdir. Şekil

Dünyanın doğu-batı yönü ile kuzey-güney doğrultuları arasında açı değişimi verilmiştir. Optimum takip aralığı ile çift yönlü panelli güneş takip sisteminin veriminin daha iyi olacağına değinmişlerdir. Şekil 4.12’de Dünyanın doğu-batı yönü ile kuzey-güney doğrultuları arasında açı değişimi verilmiştir. (Patel ve ark., 2021).



Şekil 4.12. Dünyanın doğu-batı yönü ile kuzey-güney doğrultuları arasında açı değişimi

Alam ve arkadaşları tek yönlü panel ile çift yönlü panelin farklı test şartlarına göre performanslarını incelemişlerdir. Modülleri farklı yüzey üzeri olan beton, beyaz taş, toprak ve beyaz çakıl taşı zeminlerinde yansıtma durumuna göre performansları gözlemlenmiştir. Çift yönlü panelin arka yüzey üretim durumu analiz etmişlerdir. Enerji çıkışları güneşli ve bulutlu durumlarda yıllık enerji haritası verilmiştir. Sonuç olarak beyaz taş yüzeyinde % 30'dan civarında en yüksek verim elde edilmiştir. Diğer yüzeyler beton % 20, en az %5-%10 arasında toprak yüzey belirlenmiştir. Şekil 4.13’de tek yönlü ve çift yönlü fotovoltaik panellerin beton, beyaz taş, toprak ve beyaz çakıl taşı yüzeylerde performansının incelendiği deney düzeneği verilmiştir (Alam ve ark., 2023).



Şekil 4.13. Tek yönlü ve çift yönlü fotovoltaik panellerin beton, beyaz taş, toprak ve beyaz çakıl taşı yüzeylerde performansının incelendiği deney düzeneği

Razongles ve arkadaşları fotovoltaik çift yönlü panellerin verimleri ilgili araştırma yapmışlardır. Fotovoltaik panellerin verimlilikleri %5 ile %15 arasında olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca çift yönlü panelleri yatırımcıya yönelik verimlilikleri ile ilgili herhangi bir standart test durumunun olamaması nedeniyle farklı şartlara göre enerji üretimine bakmışlardır. İlk olarak çift yönlü panelin her iki yüzeyini güneş similatörüyle ayrı ayrı test edip ön yüzeyin gücüne göre oransal güç çıkışı belirlenmiştir. İkinci olarak iki yüzey aynı anda test edilmiştir. Son olarak panelin iç ve dış ortamda enerji üretimlerine bakılmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında çift yönlü panellerin test durumlarının belirlenmesi amaçlanmaktadır (Razongles ve ark., 2016).

Yusufoglu ve arkadaşları çift yönlü panellerin hem ön yüzey hemde arka yüzeylerinin aynı anda enerji üretiminden dolayı hızlı bir şekilde önem kazandığına değinmişlerdir. Farklı pozisyonlarda konumlandırılmasının durumunda da enerji üretiminin olduğunu bildirmişlerdir. Ancak çift yönlü panellerin değişik yüzey koşullarında ve farklı zaman aralıklarında potansiyellerinin gösterilmesinde karşın simülasyon çalışmalarının

olmadığını bildirmişlerdir. Çalışmalarında güney yönünde konumlandırılmış panelin daha hassas hesaplama metodu ile değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak yerden iki metre yükseklikte ve optimum açıda konumlandırılan panelin yıllık enerji üretiminde % 30 oranında daha fazla enerji verdiğini bildirmişlerdir (Yusufoglu ve ark., 2014).

Fotovoltaiklerle ilgili yapılmış bir diğer çalışmada fotovoltaik panellerin kullanıldığı bir sistemin yüzey sıcaklığı için soğutma işleminin elektrik üretimine etkisinin deneysel olarak incelemişlerdir. İnceleme kapsamında fotovoltaik panelin yüzey sıcaklığının elektriksel verime olan etkisine bakılmıştır. Bu incelemenin sürdürülmesi için eş boyut ve özelliklere sahip iki fotovoltaik panel kullanılmıştır. Bu panelleri PV-1 ve PV-2 olarak adlandırmışlardır. Deneyde her iki fotovoltaik panelin akım, gerilim ve güç değerleri kıyaslanarak verim farklılıkları değerlendirilmiştir. Deneyde 80watt gücüne sahip 50cmx100cm boyutlarında paneller kullanılmıştır. Deneysel çalışma Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi mühendislik fakültesi kampüs yerleşkesinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.14’de deney düzeneği verilmiştir (Kerem ve ark., 2020).

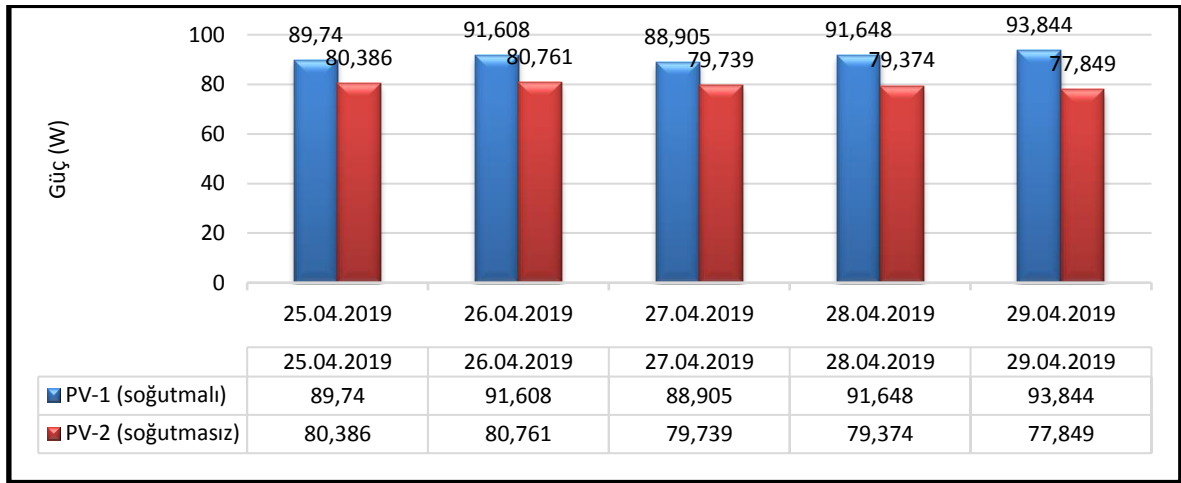


Şekil 4.14. Deney düzeneği

Deneyde kullanılan paneller aynı açılarda aynı yönde birbirine yakın konumlandırılmıştır. Deney kapsamında panellerden birinin üst kısmına panelin üst kısmında homojen bir şekilde suyun akması için 6 çıkışlı boru montajı yapılmıştır. Bu çıkışlardan belirli aralıklarla panelin üst yüzey sıcaklığını düşürmek amacıyla soğuk su gönderilmiştir.

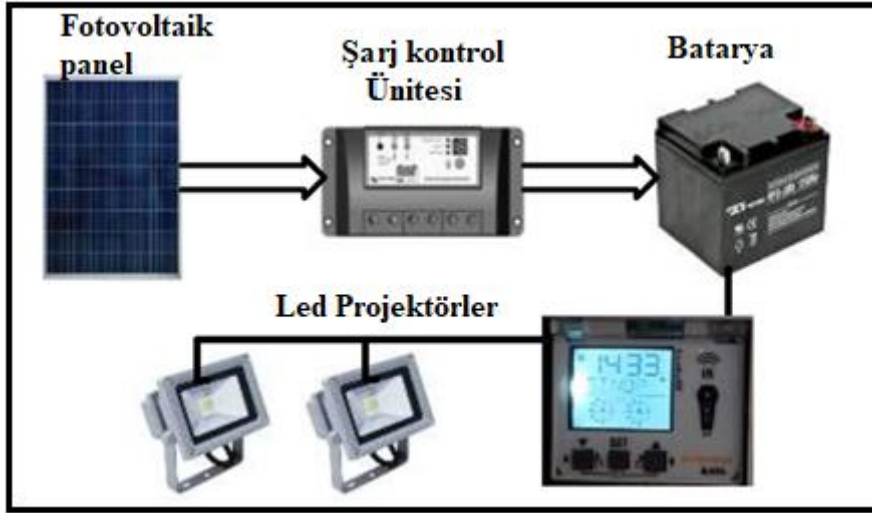
Deney 5 günlük zaman diliminde yapılmıştır. Deney tarihi olarak 25-29.04.2019 tarihleri arası gerçekleştirilmiştir. Soğutma işlemi her 60 dk. aralığında gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar kayıt altına alınarak değerlendirilmiştir. Deney sonuçları olarak soğutma uygulamasının gerçekleştirildiği panel yüzey sıcaklığı 32°C ‘den 19°C’ye

gerilediği gözlemlenmiştir. Deney neticesinde fotovoltaik panel yüzeyinde 1°C'lik artış panelin çıkış geriliminde 0.5V azalmasına sebebiyet vermiş çıkış gücünü negatif yönde etkilemiştir. Deney süresinde güç üretimi ortalama 79,621W'dan 91,149W'a yükseltildiği gözlemlenerek verim artışı %14,47 olarak hesaplandığı bildirilmiştir. Şekil 4.15'de soğutulmuş ve soğutulmamış panellerin güç çıkışlarını gösteren grafik verilmiştir (Kerem ve ark., 2020).



Şekil 4.15. Soğutulmuş ve soğutulmamış panellerin güç çıkışları

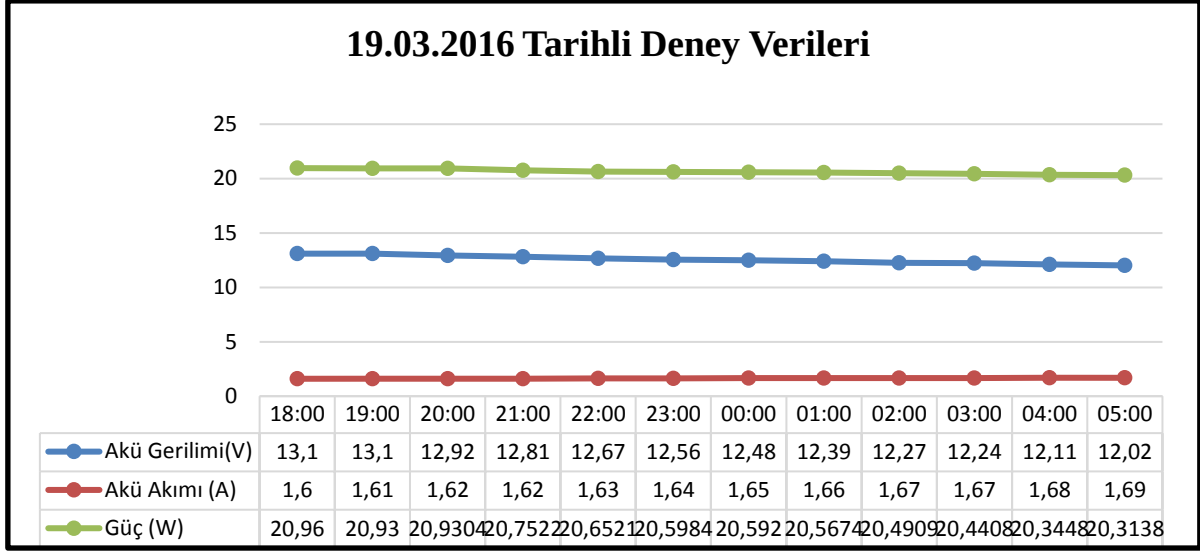
Bir diğer literatür araştırmasında; Fotovoltaik panellerin kullanıldığı bataryalarda enerji depolandığı ve bu enerji ile Led aydınlatma sisteminin enerji olarak desteklenerek yenilenebilir enerji kaynağı kullanılarak aydınlatma sistemi yapmışlardır. Tasarlamış oldukları sistem şebekeden bağımsız olarak tasarlanmıştır. Sistem bileşenleri olarak led projektör, fotovoltaik paneller, şarj kontrol sistemi, batarya grubundan meydana gelmiş bir sistem tasarladıklarını bildirmişlerdir. Şekil 4.16'da tasarlanan sistem verilmiştir (İşçan ve Ersanlı, 2016).



Şekil 4.16. Deney kapsamında tasarlanan sistem

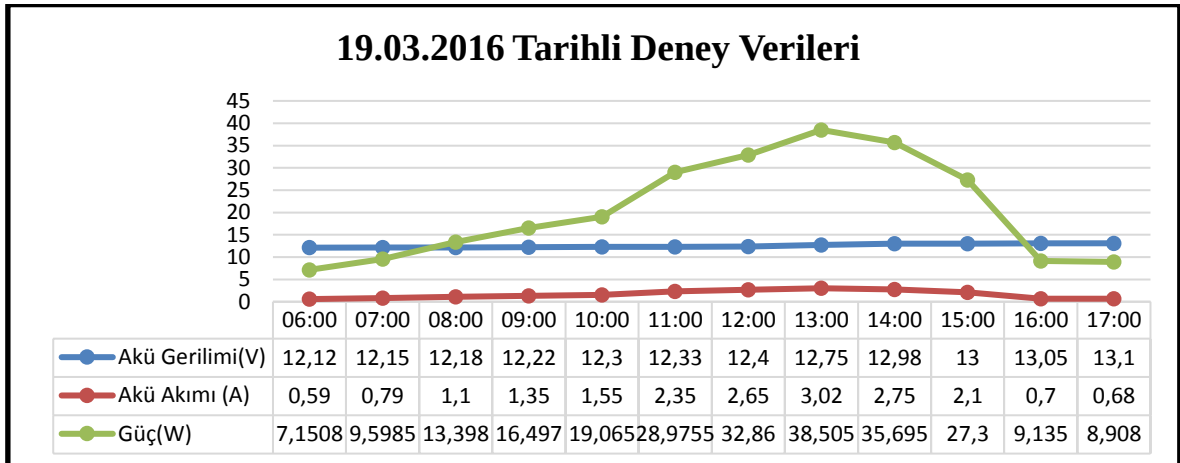
Yenilenebilir enerji kaynaklarından maksimum derecede faydalanabilmek için tasarlanmış bu sistemin günlük ve haftalık enerji verileri sistem bileşenlerini kontrol etmek için kullanılan enerji analizöründen alınan doğru akım verileri, deney yapılacağı süre boyunca sistemden üretilen elektrik enerjisi ve aydınlanma amaçlı tüketilen enerji verileri alınması hedeflenmiştir. Ayrıca elde edilen bu veriler neticesinde sistemin kurulum için gerekli finansal gider üzerinden yaklaşık amortisman süresinin değerlendirilmesi hedeflenmektedir.

Tasarlanmış oldukları sistem Sinop ili içerisinde bulunmaktadır. Deney 2016 yılının Mart ayı içerisinde gerçekleştirilerek volt, akım ve güç değerleri elde edilmiştir. Bu verilerden faydalanılarak durumun daha iyi yorum yapılabilmesi için grafikler oluşturulmuştur. Deney ortalama güneşli bir günde saat 06:00 de başlatılıp bataryalar şarj edilmeye başlanılmıştır. Daha sonra aynı gün 18:00 da LED sistemi ile aydınlatma işlemi başlatılmıştır. Aydınlatılma sistemi boyunca 245Wh'lık bir enerji sarfıyatı olmuş, şarj süresi boyunca 271Wh'lık enerji üretimi olduğu bildirmişlerdir. Şekil 4.17'de deneyin 19.03.2016 tarihinde Akü gerilim, akım ve bunlara bağlı güç kullanım grafiği verilmiştir (İşçan ve Ersanlı, 2016).



Şekil 4.17. 19.03.2016 Tüketim grafiği ve saatlik değerleri

Sistemde 20W'lık LED aydınlatma ekipmanı kullanılmıştır. Sistem bileşenlerinin yaklaşık maliyetleri 400.00 TL yaklaşık olarak hesaplanmıştır. Deneyin yapıldığı bahar ayında günlük 270Wh'lık güç ile üretilen 4.5-5 saatlik enerji üretimi ve yazlık enerji artışıda göz önüne bulundurulduğunda yıllık 100kWh'lık güç üretimi beklenebilmektedir. Böylelikle bu istemin kurulum maliyeti göz önüne alındığında 10 yıllık zaman diliminde sistem kurulum maliyetini karşılayacağı neticesi alınmakta olduğunu bildirmişlerdir. Şekil 4.18'de 19.03.2016 şarj grafiği verilmiştir. (İşcan ve Ersanlı, 2016).



Şekil 4.18. 19.03.2016 Şarj grafiği

5. PROJE DEĞERLENDİRME YÖTEMLERİ

İster devlet kuruluşunun tasarladığı bir proje olsun isterse özel sektörün tasarladığı bir proje olsun, herhangi projenin fizibilite araştırmasının yapılması proje kurucularının projenin tüm çalışma ömrü boyunca getireceği gelirler, giderler ve oluşacak zorlu durumlarının ön görülmesi açısından büyük önem kazanmaktadır. Ayrıca bu araştırmanın finans kuruluşları tarafından gerekli ekonomik desteklerin sağlanması yönüyle de büyük önem taşımaktadır. Projenin tüm çalıştırılma zamanı boyunca hayati öneme sahip fizibilite çalışması optimum getirisi açısından ve projenin kurulumunda doğru çözümler oluşturulabilmesi adına seçilecek analiz yöntemi de büyük önem kazanmaktadır.

Başak bir açıdan proje değerlendirme yöntemlerini değerlendirilecek olursak şirketlerin değerlerini maksimum noktaya taşımak amaçlı ekonomi yöneticileri için şirketlerin bünyesinde bulunan ekonomik kaynakları optimum şekilde değerlendirmek, alınmış yatırım kararlarının en az risk ile yüksek getiri elde etmek için kullanılmaktadır. Yatırım projelerinin değerlendirilmesi genel olarak belirlilik şartı ile belirsizlik şartları altında olmak üzere iki kısımda incelenir. (Yılgör A.G. ve Yücel E., 2008)

Belirlilik durumu altında kullanılan proje değerlendirilmesi, paranın zaman içindeki değerine göre hesaplanan bir yöntemdir. Paranın zaman karşısında değerini gözetmeyen yöntem ise belirsizlik koşulu durumunda hesaplanmaktadır. Şekil 5.1’de Projelerin ekonomik değerlendirme yöntemlerinin sınıflandırılması verilmiştir.



Şekil 5.1. Projelerin ekonomik değerlendirme yöntemlerinin sınıflandırılması(URL- 3)

5.1. Paranın Zaman İçinde Değer Değişimini Dikkate Almayan Yöntemler (Statik Yöntemler)

Proje değerlendirme yöntemleri arasında paranın zaman değişimi durumunda değerini dikkate almayan yöntemler, proje değerlendirme açısından kullanımı en kolay ve bilgi olarak en eski değerlendirme yöntemleridir. Bu değerlendirme yöntemlerinde projenin ekonomik ömrü değerlendirilmez.

Paranın zaman ile ilgili değerini dikkate almayan proje değerlendirme yöntemleri aşağıda verilmiştir; (Köse ve Kahraman, 2014)

1. Proje Maliyetlerinin Karşılaştırıldığı Yöntem
2. Projelerin Karlılıklarının Karşılaştırıldığı Yöntem
3. Proje Karlılıklarının Analizi Yapıldığı Yöntemi
4. Projenin Geri Ödeme Süresinin Değerlendirildiği Yöntemidir.

5.1.1. Proje maliyetlerinin karşılaştırıldığı yöntem

Maliyet karşılaştırma yöntemi, birde çok herhangi bir yatırım projesinin uzun bir zaman periyodunda projenin bütün maliyetinin en az seviyede olanını tercih etmek için kullanılmaktadır(Karayılmazlar E. ve İşler İ., 2019). Bu değerlendirme yönteminin yüksek maliyetli projelerde kullanımı birçok hataların meydana gelmesine sebebiyet vermektedir (Özcan S. Ve Saçlı C., 2009). Bunlar:

- Sermaye kullanımı dikkate alınmaması nedeniyle yatırımların ne kadar gerçekçi olarak uygulanabilirliği bilinmemektedir.
- Projelerin üretmiş olduğu ürünlerin satışından meydana gelen gelirler hesaplama katılmamaktadır. Bu sebeple incelemesi yapılacak projelerin gelirlerinin aynı olması gerekmektedir.
- Bu değerlendirme yönteminde projenin bir yıllık giderleri değerlendirmeye tabi tutulmaktadır. Projenin ömrü boyunca değer farkları hesaplanmamaktadır.
- Projenin çalıştırılması süresinin sonunda projenin hurda durumundan oluşan gelir değerlendirilmemektedir.
- Projenin daha yüksek kapasitelerde çalıştırılması dikkate alınmamaktadır.

5.1.2. Projelerin karlılıklarının karşılaştırıldığı yöntem

Birçok yatırımı planlanan projenin sadece kurulum maliyetlerinin bir biri ile karşılaştırılması projelerin net olarak değerlendirilmesi adına yeterlilik göstermemektedir. Genel olarak işletmelerin yatırım amaçları arasında düşük karlılık durumlarının artırmak ve düzenlemek yer almaktadır. Bu yöntemle yatırımı düşünülen projenin kar getirisi yüksek olan proje tercih edilmektedir.

Örnek A ve B kuruluşlarına ait veriler tablo 5.1’de kar karşılaştırma metoduna göre incelenmektedir.

Tablo 5.1. A ve B projelerinin verileri

	A Projesi	B Projesi
Yatırım (Proje) Maliyeti (TL)	150.000	150.000
Hurda (Proje) Değeri (TL)	0	0
Projenin Ekonomik Ömrü	10 yıl	10 yıl
Sabit Maliyetler (TL/Birim)	2.50	2,75
Değişken Maliyetler (TL/Birim)	1.50	1.60
Yıllık Toplam Üretim (10/yıllık)	30.000	35.000
Satış Fiyatı	13	12

Yukarıda A ve B yatırım projesi hakkında elde edilen bilgiler doğrultusunda kar karşılaştırma yöntemine uygulaması yapılmadan önce projelerin satış hasılatları hesaplanmaktadır. Satış hasılatının hesaplanmasından sonra proje kapsamında değişken ve sabit giderler hesaplanır. Elde edilen verilerle gelir giderin hesaplanarak projelerin karlılıkları bulunur ve karşılaştırma yapılır (Bayar D. 1990).

Tablo 5.2. A ve B yatırım projelerinin kar karşılaştırılması

	A projesi	B projesi
Satış Hasılatı	13*30.000 = 390.000TL	12*35.000 = 420.000 TL
Proje Maliyetleri	150.000 TL	150.000 TL
Sabit Maliyetler	2,5*30.000 = 75.000TL	2,75*35.000 = 96.250 TL
Değişken Maliyetler	1,5*30.000 = 45.000TL	1,6*35.000 = 56.000 TL
Elde Edilen Kar	120.000TL	117.750 TL

Tablo 5.2’de görüldüğü gibi A yatırım projesinin hesaplamalar sonucunda 120.000 TL olan kar miktarı 117.500TL kar getirisi olan B yatırım projesinden yüksektir. Bu sebeple A projesi tercih edilmektedir. Proje yatırım maliyeti eşit olmasına karşın A projesi daha avantajlı olmaktadır.

5.1.3.Proje karlılıklarının analizi yapıldığı yöntemi

Paranın zaman içerisinde değer değişimine göre hesaplanmayan yöntemlerden biri olan karlılık oranı yöntemi yatırım yapılması düşünülen projenin faydalı çalışma süresi boyunca elde edeceği karların proje yatırım tutarına bölünmesi ile yatırımı tasarlanan projenin değerlendirilmesi açısından fikir vermektedir. Elde edilen bilgiler doğrultusunda projelerin kurulup kurulmaması durumunda değerlendirme yapılabilir. İşletmeler genel itibarıyla kar elde etme yönü düşünüldüğünden bu yöntem kullanılmaktadır.

Karlılık oranı metodu ikiye ayrılmaktadır. Bunlar ikiye ayrılır. İlki basit karlılık yöntemi, ikincisi ortalama karlılık yöntemidir. Ortalama karlılık yöntemi projenin ortalama karını bulmak için değerlendirilmesi yapılacak projenin yatırım zamanı boyunca kar getirisinin projenin ekonomik ömrüne oranlanması ile bulunur. Basit karlılık yöntemi ise belirli bir zaman diliminde elde edilen kar gelirlerinin projenin ilk yatırım miktarına oranı şeklinde bulunur (Balçık,2003).

Örneğin % 20 kar getiri beklentisi olan bir projede yıllık satış geliri 500.000 TL, yıllık proje giderleri 300.000 TL olan ve projenin ilk yatırım maliyeti 1.200.000 TL olan bir projenin karlılık oranı yöntemi Denklem 5.1’de ile değerlendirilirse:

$$\text{Kar} = 500.000 \text{ TL} - 300.000 \text{ TL} = 200.000 \text{ TL}$$

$$R = \frac{200.000 \text{ TL}}{1.200.000 \text{ TL}} \cdot 100 \quad (5.1)$$

$$= \% 16.6$$

Yatırımı düşünülen projenin kar beklentisi % 20 olduğundan ve elde edilen veriler neticesinde hesaplanan proje karlılık oranı % 16.6 olduğuna göre proje ret edilecektir.

1950 yılından önceki dönemde sıkça kullanılan yöntem olmasına karşın paranın zaman değerini dikkate almaması ve sonraki zaman diliminde paranın zaman değerini dikkate alan yöntemlerin geliştirilmesi neticesinde bu metot kullanışsız hale gelmiştir. Buradaki 'kar' kavramı brüt kar mı?, net kar mı? Veya vergi öncesimi sonrasımı olduğu tam olarak belli olmaması bu yöntemin negatif yönleridir.

5.1.4.Projenin geri ödeme süresinin değerlendirildiği yöntem

Geri ödeme süresi metodu, yatırımı düşünülen projelerin değerlendirilmesinde kullanılan en yalın yöntemlerden birisidir. Ayrıca bu yöntem yüksek risk taşımaktadır. Bu değerlendirme yöntemine göre projenin kurulum cazipliği hesaplamalar neticesinde geri ödeme süresi düştükçe artar ve hesaplamalar neticesinde geri ödeme süresi arttıkça projenin kurulumunun cazipliği azalmaktadır. Geri ödeme süresi yöntemi kurulumu düşünülen projeden gelecek nakit girişlerin toplam maliyetlere oranı neticesinde elde edilen sonuç, projenin toplam maliyetleri karşılaması için beklenecek süre olarak değerlendirilir ve yıl olarak düşünülür.

Geri ödeme süresini şu şekilde de tanımlayabiliriz: yatırımı düşünülen proje için yapılmış toplam maliyetlerin kaç yıllık zaman diliminde geri alınabileceğini gösterir. Geri ödeme süresi hesaplanması Denklem 5.2'de ifade edilmiştir. Projeden elde edilecek tahmini nakit girişlerin ilk yatırım tutarına ulaşması için gerekli sürenin kısa olması yatırımcının daha çok tercih edeceği bir durum olacaktır. Bu durumda hesaplama basit şekilde de olsa projenin yatırım yapılması netlik kazanacaktır (Öztürk ve ark., 2015).

Geri ödeme süresi yöntemi şu şekilde hesaplanacaktır:

$$\text{Geri Ödeme Süresi} = \frac{\text{Yatırım Projesinin Maliyeti}}{\text{Yatırım Projesinden Elde Edilen Gelirler}} \quad (5.2)$$

Örneğin yatırım maliyeti 1.000.000 TL olarak beklenen bir projenin yıllık ortalama gelir beklentisi 100.000 TL tahmini olarak düşünülüyorsa geri ödemesi şöyle olacaktır:

$$\text{Geri Ödeme Süresi} = \frac{1.000.000}{100.000} = 10$$

Bu yatırım projesinin gelirler neticesinde 10 yıllık zaman sonucunda maliyetini çıkardığı düşünülecektir. Buradaki 10 yıllık süreyi bekleyip veya beklememek konusuna proje yatırımcısı karar verecektir.

Geri ödeme süresi yöntemi diğer yatırım proje değerlendirme yöntemleri içinde en sade ve uygulaması en basit olanıdır. Bu yöntemin kullanılması sonucunda projenin amortisman süresinin tahminini belirlemek açısından büyük kolaylık sağlamaktadır. Bu yöntemde kurulumu düşünülen projenin çalışma ömrü ve amortismanlar büyük önem taşımaktadır. Ayrıca kurulumu düşünülen projelerin ilk yatırım maliyetlerinin düşük ve yüksek gelir getirmesi beklentisi ile yapılan hesaplamalar projenin kabul edilme olasılığını artırmaktadır.

5.2. Paranın Zaman İçinde Değer Değişimini Dikkate Alan Yöntemler (Dinamik Yöntemler)

Projelerin değerlerinin belirlendiği yöntemler arasında paranın zaman değişimi durumunda değerini dikkate alan yöntemler dinamik yöntemler olup, paranın zaman içinde değerini dikkate alıp bütün hesaplamalarda kullanır. Paranın zaman içinde değeri, yatırım yapılacak projenin sermayesinin olduğu zamanda etki edeceği gelir ve vadesi dalmayan ödeneği ifade durumunda kabul edeceğimiz maliyetlerdir. Proje ile alakalı yapılacak harcamalarla projenin optimum çalışma süresi boyunca elde edeceği gelirlerin zaman süresinde değer değişimi dikkate alınarak hesaplanır.

Paranın zaman içerisinde değer değişiminin dikkate alınmaması durumunda para giriş çıkışlarını karşılaştırmak tam doğru sonuç veremeyecektir. Bu sebeple paranın zaman içerisinde değer değişiminin proje açısından farklı finansal durumlarda değerlendirilmesi için dinamik yöntemlerin kullanılması hayati önem taşımaktadır. Bu sebeple yatırımı düşünülen projenin emtia çıkışı ve girişlerinin karşılaştırılıp doğru değerlendirilmesi için zaman değerlendirilmesi yapıp aynı zaman dilimine getirilip hesaplanması daha doğru olacaktır.

Enflasyon birçok ülkedeki hızlı ekonomik değişikliğe sebebiyet vermektedir. Enflasyonun olmadığı yerlerde bile belirli miktar paranın ileriki zaman diliminde değerinin düşeceği kabul edildiğine göre ülkemiz gibi yüksek enflasyon oranına sahip yerlerde yatırımı düşünülen projenin ilerdeki gelir ve giderlerinin bugünkü değerinde hesaplanıp

incelenmesi yatırım için büyük önem taşımaktadır. Bu durumda doğru karar verilebilir (Yiğit F. ve Kabul A., 2014).

Paranın zaman içerisinde değer değişimini dikkate alan (Dinamik) yöntemler:

1. Net Bugünkü Değer Yöntemi(NBD)
2. İç Karlılık Oranı Yöntemi(IRR)
3. Dinamik Geri Ödeme Yöntemi
4. Yıllık Eşdeğer Masraf Oranı Yöntemi
5. Karlılık Endeksi Yöntemi (KE)

5.2.1.Net bugünkü değer yöntemi

Yatırım yapılması planlanan projenin net bugünkü değeri (NBD), projenin işletilmesi durumunda oluşacak nakit girişlerin belirlenmiş bir iskonto oranına göre (şirketin hesaplanan sermaye maliyeti) bugünkü değere göre indirgenmiş gelirlerin toplamı ile projenin tüm maliyet tutarı arasındaki farktır. (Tekbaş vd., 2014).

NBD yönteminde esas hesaplama, paranın değerinin bileşik faiz hesaplama yöntemine göre hesaplanan devamlı artmaya maruz kaldığı duruma göre kabul edilmesidir. Para eğer bu şekilde artış oranına göre değerlendirilmezse, her zaman dilimi için iskonto oranı miktarınca değer kaybeder.

Net bugünkü değer metodu, yatırım yapılması düşünülen bir projeden beklenen para akışlarının yapılması düşünülen projenin risk durumuna göre oluşan faiz oranı ile iskonto edilmesi neticesinde para akışlarının belirlenmiş zaman diliminde ki değere getirilmesi ve o zamanda ki para akışların projenin toplam maliyetinin karşılaştırılması yapılarak ve ya farklı projelerle değerlendirilerek o projenin kurulumunun kabul veya kabul edilmemesi adına yatırımcıya bilgi veren bir değerlendirme yöntemidir. Net bugünkü değer yöntemi Denklem 5.3’de verilmiştir:

$$NBD = \sum_{t=0}^n \frac{R}{(1+i)^t} - C_o \quad (5.3)$$

NBD : Net Bugünkü Değer

n : Dönem Sayısı

t : Dönem Numarası

R : Dönemde Gerçekleşen Nakit Girişini

İ : Faiz Oranını

C₀ : Projenin Toplam Maliyeti

Şeklide ifade olunmaktadır. Bu hesaplamaya ek olarak projenin faydalı ömrü sonunda oluşacak hurda değerinin de hesaplamaya dahil edilmelidir. Hesaplamalar neticesinde $NBD > C_0$ sonuçlanırsa proje kuruluma uygun olarak değerlendirilir. Hesaplamalar neticesinde sonuç $NBD < C_0$ olursa proje kurulumuna onay verilmemektedir. Ayrıca hesaplamalar sonunda proje için olacak nakit girişlerin nakit çıkışlarına eşit olması durumunda projenin kurulup kurulmaması kararını proje yöneticisinin değerlendirmesine bırakılmaktadır.

Net bugünkü değer yönteminin hesaplanabilmesi için 5 ana adım takip edilmesi gerekmektedir (Boehlje ve Ehmke, 2005).

Adım 1. Paranın değerini yansıtan makul iskonto oranının belirlenmesi

Adım 2. Projenin çalışma süresi boyunca oluşacak dönemsel nakit akışlarının belirlenmesi

Adım 3. Nakit akışlarının bugünkü değerlerinin belirlenmesi

Adım 4. Projenin tüm net bugünkü değerinin belirlenmesi

Adım 5. Oluşan sonuca göre yatırım projesinin kurulumunu kabul veya kabuledilmemesi durumuna göre belirlenir.

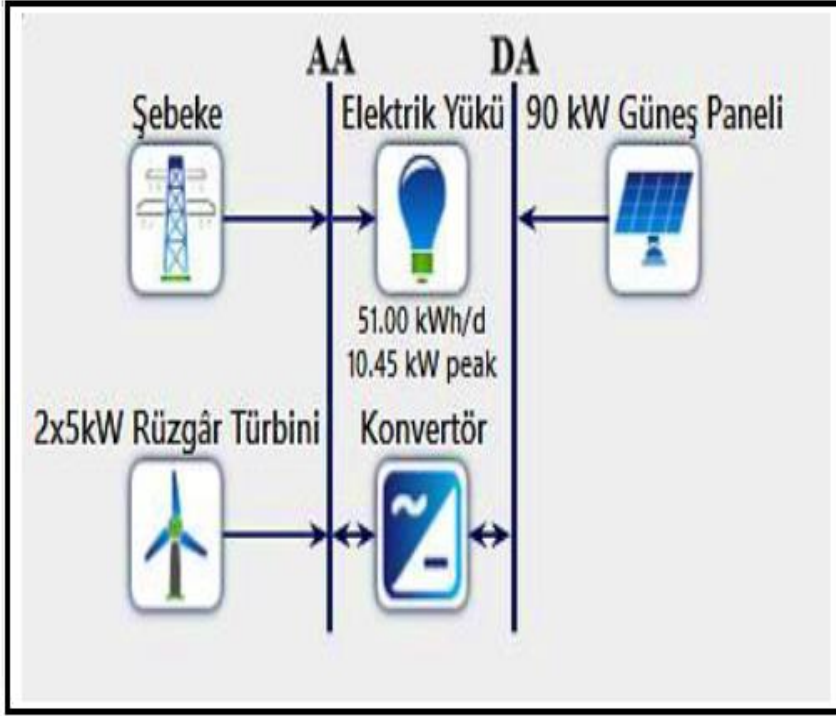
Kılıç D., Arslan O., parabolik oluk tipli güneş termal güç üretim santralini incelemişlerdir. Yapış oldukları incelemede parabolik oluk tipli termal sistemi Organik Rankine Çevrime (ORC) göre değerlendirmişlerdir. Tasarlanan sistem Bilecik ilinde bulunmaktadır. Değerlendirme kapsamında sistemin enerji, ekserji verimliliğinin olan termodinamiğin birinci ve ikinci kanununa göre değerlendirmişlerdir. Ayrıca sistemlerin ekonomik açıdan değer analizi olan net bugünkü değer yöntemi ile incelemişlerdir. Sistemin ekonomik incelemesi 20 yıllık zaman dilimini kapsamaktadır. Sistemin net bugünkü değeri 1.270.239.479 TL olarak hesaplanmıştır. Tablo 5.3’de kurulumu düşünülen enerji santrali için ekonomik veriler gösterilmiştir.

Tablo 5.3. Enerji santralinin ekonomik verileri

Yatırım	Bugün	5. yıl	10. yıl	15. yıl	20. yıl
Arazi maliyeti	-19.681.481				
Termal enerji deposu	-61.418.253				
Güç Bloğu maliyeti	-14.408.351				
Toplam Maliyet	-95.508.086				
Motaj Giderleri	-9.550.808				
Hurda Değeri	-10.505.889				
İlk Yatırım Maliyeti	-105.058.894				
Nakit akışları (TL)					
Soğutucu Akışkan Maliyeti	-1.440.835				
Bakım ve Onarım Maliyeti	-2.101.177	-105.058	-105.058	-105.058	-105.058
Personel Giderleri	-844.272	-844.272	-844.272	-844.272	-844.272
Elektrik üretimi	198.428.926	198.428.926	198.428.926	198.428.926	198.428.926
Toplam nakit akışı	-117.005.619	197.479.595	197.479.595	197.479.595	197.479.595
İndirim oranı(% 13)	1.00	0.54	0.29	0.16	0.09
Kümülatif Nakit Akışı	-117.005.619	870.392.357	1.857.790.334	2.845.188.31	3.832.586.287
Şimdiki değeri	-117.005.619	107.184.012	58.175.187	31.575.161	17.137.732
NBD (TL)		1.270.239.479			

Değerlenme neticesinde belirtilen bölgede ısıtım ve diğer enerji üretimini etkileyen faktörler göz önüne alındığında güneş enerji santrali için uygun bir yer olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca ülkelerin enflasyon oranı gibi ekonomik şartlarının da proje kurulumuna etkisinin olacağını bildirmişlerdir.

Yılmaz M.S. ve ark. Homer pro programı kullanarak hibrit bir istemin simülasyonunu incelemişlerdir. Simülasyon elektrikli taşıt şarj sisteminin elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla şebekeye bağlantılı ve yenilenebilir kaynaklar ile (Rüzgar-Güneş) desteklenmiş bir hibrit enerji sistemdir. Proje Batman üniversitesinin Batı Raman yerleşkesinde araç şarj sistemini kapsamaktadır. Şekil 5.2’de Simülasyonu Homer pro programında yapılmış sistemin program ekran görünümü verilmiştir (Yılmaz ve ark., 2023).



Şekil 5.2.Projenin Homer pro analiz programında ki ekran görünümü

İlk olarak proje kurulum alanı olan üniversite kampüsünün güneş ışınım ve rüzgar hızı potansiyellerinin üzerinde durulmuş ve incelenmiştir. Batman üniversitesinin elektrik ile çalışan araçlar için enerji profili hesaplanmış. Hesaplamalar neticesinde yenilenebilir enerji üretiminde kullanılan PV panel ve rüzgâr türbininin enerji üretim boyutlandırması yapılmıştır. Hesaplamalar neticesinde 90 kW fotovoltaiik panel sistemi, 10kW rüzgar türbini seçilmiş olup toplamda 100kW'lık yenilenebilir enerji üretimine ulaşılmıştır. Enerji alım ve satım sonuçları neticesinde sistemin kar –zarar durumu incelenmiştir. Simülasyonu yapılmış sistemin emisyon değerleri olarak CO₂ 1.852 kg/yıl hesaplanmıştır. Ayrıca NO₂ 3,93 kg/yıl ve SO₂ 8,03 kg/yıl sonucuna varılmıştır.

Hibrit enerji sisteminin simülasyona göre sermayenin toplam tutarı 66.500 \$ olarak hesaplanmıştır. Projenin bugünkü net maliyeti 8.599,82 \$ olarak hesaplanmıştır. Tasarlanan sistemin yenilenebilir enerji kaynaklarından elde ettiği enerji ile ürettiği enerjinin birim maliyeti 0,045 \$ olmuştur. Hibrit sistemin üretilen enerjinin satışı neticesinde elde edilen gelir ve bakım-onarım maliyetlerinden sonra oluşan gelir üzerinden yapılan hesaplamalar sonucunda projenin amortisman süresi 7 yıl olarak belirlemişlerdir. Ayrıca Homer Pro programında yapılan simülasyon üzerinde ikici olarak tasarlanan rüzgar-şebeke sistemi ile hibrit sistemin karşılaştırılması yapılmış olup sonuçta hibrit sistemin yenilenebilir enerjiden daha çok faydalanması neticesinde üretilen enerjinin birim

maliyet bedelinin daha ucuz olması hibrit sistemi çok daha cazip hale getirmiş olduğunu bildirmişlerdir. Tablo 5.4’de tasarlanmış sistemlerin ekonomik verileri tablo halinde verilmiştir.

Tablo 5.4.Ekonomik karşılaştırma

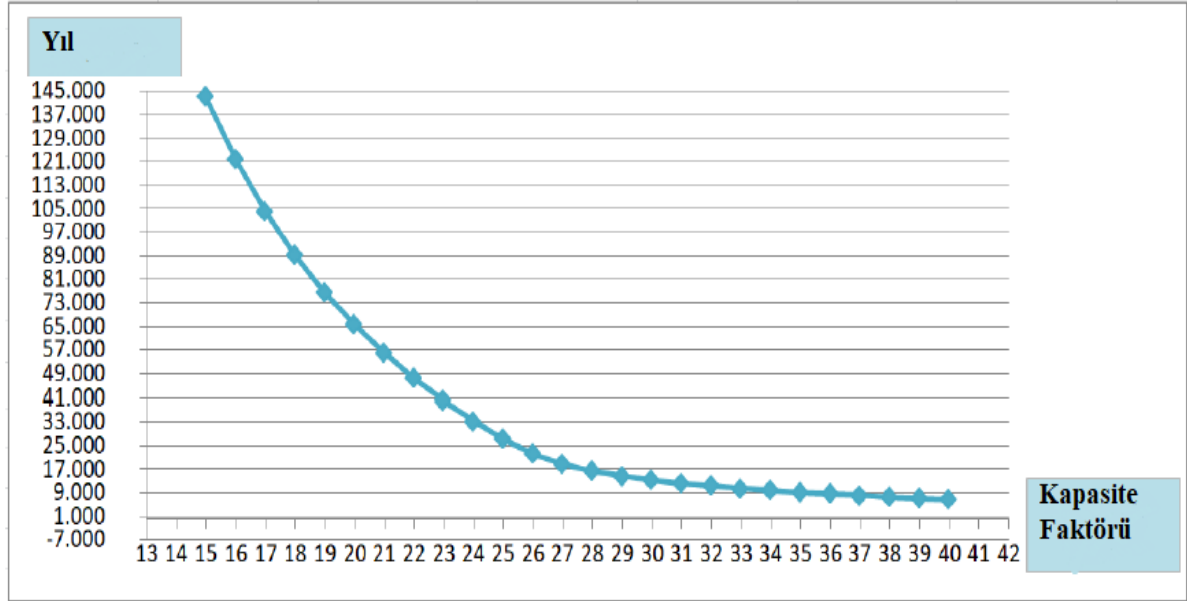
Bileşen	Hibrit Sistem (100kW) Rüzgar+PV panel+ Elektrik Şebekesi	Rüzgar Türbini Sistemi (10kW) + Elektrik Şebekesi
Sermaye (\$)	66.500 \$	20.000 \$
Yenileme Maliyeti (\$)	2.545,64 \$	0 \$
İşletme ve Bakım (\$)	59.950,23 \$	25.492,10 \$
Toplam (\$)	8.599.82 \$	45.492,10 \$
NBD (\$)	8.599. 82 \$	45.492,10 \$
SEM (LCOE) (\$)	0,0045 \$	0,1598 \$

Yıldırım H.H. ve Aksu M., güneş ve rüzgar enerji santralleri için yapılacak yatırımların performanslarını ekonomik açıdan değerlendirmişleridir. İncelemelerinde yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr ve güneş enerji üretim sistemlerinin diğer enerji üretim sistemlerine nazaran daha temiz, tükenmeyen ve işletim maliyetlerinin yüksek olmadığını bildirmişlerdir. Güneş ve rüzgar enerji santrallerinin yatırımlarına etki eden nakit girdi ve çıktıların değişik kombinasyonlarla deneyerek bu enerji santrallerinin net karlılık ve geri ödeme süresini durumları değerlendirerek projelerin ekonomik performansları hesaplanmıştır (Yıldırım, H.H., Aksu, M., 2021).

Yapılan incelemeler neticesinde rüzgâr enerji santrallerinin ekonomik olarak karlılığa ulaşılabilinmesi için enerji kullanım oranının %26 seviyesinin üzerinde olması gerektiğini bildirmişlerdir. Yine yapılan araştırmalar neticesinde Güneş enerji santrallerinin yatırımın karlılık seviyesine ulaşabilmesi için enerji kullanım oranının %20’nin üzerine geçmesi gerektiğini bildirmektedirler.

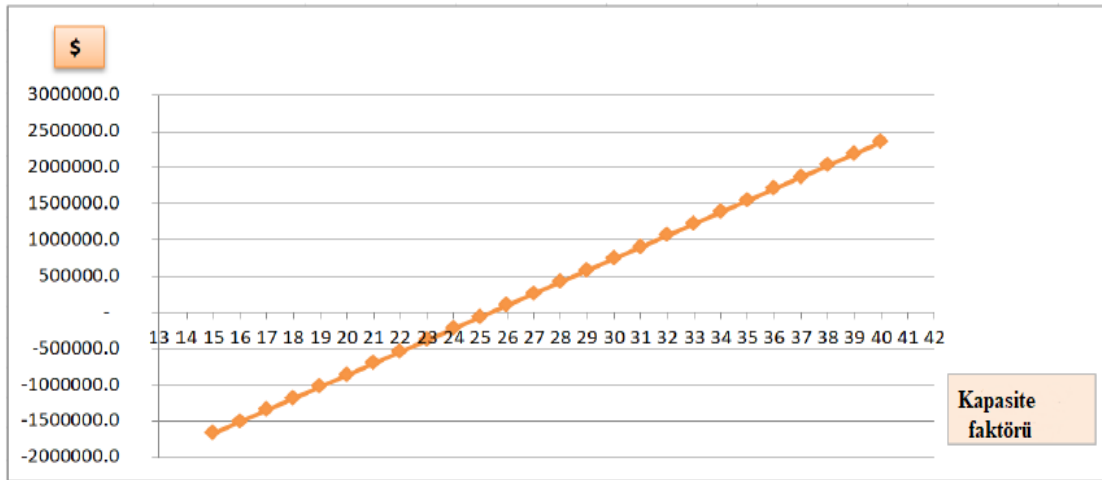
Şekil 5.3’de rüzgar enerji santralinin farklı kapasite çalışma durumlarına göre geri ödeme süresi sonuçları verilmiştir. Optimum ekonomik çalışma ömrü yaklaşık 25 yıl olarak kabul edilen projenin çalışma kapasitesinin % 26’nın altına düştüğünde ekonomik

çalışma ömrü boyunca kendisini amorti etmediğini bildirmişlerdir. Şekildeki grafik incelendiğinde kapasite kullanım oranı %26'nın üzerine çıkıldıkça projenin kendini daha kısa zaman dilimi içinde amorti ettiğini bildirmişlerdir.



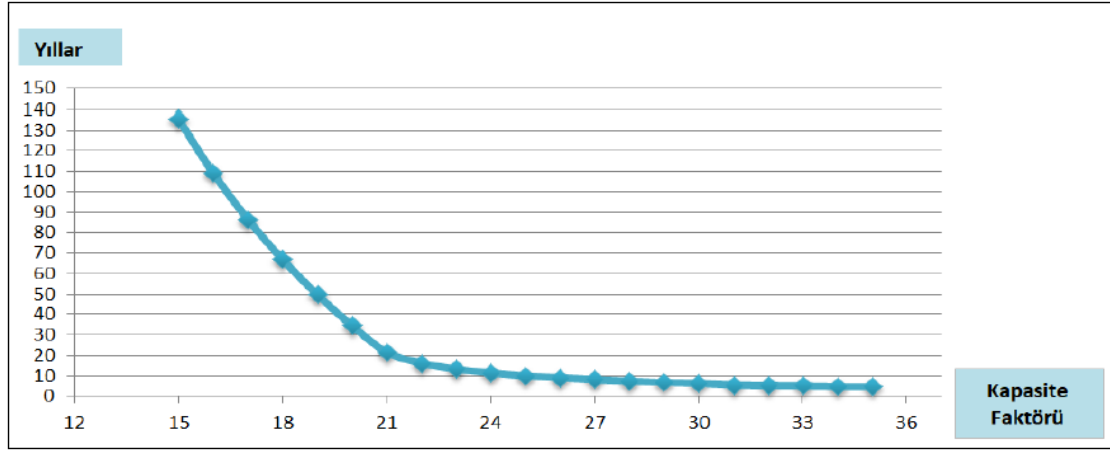
Şekil 5.3. RES'in farklı kapasite çalışma durumlarına göre geri ödeme süresi

Şekil 5.4'de Rüzgar enerji santrallerinin farklı kapasite kullanımı durumuna göre net bugünkü değerlere ait sonuçlar grafik haline getirilmiştir. Ekonomik ömrü 25 yıl olarak kabul edilen projenin kapasite durumu %26'nın altına düştüğü durumlarda projenin net bugünkü değerinin negatif değerlere gittiği ve bu sebeple projenin kurulumunun karlılık açısından uygun olmadığını bildirmişlerdir.



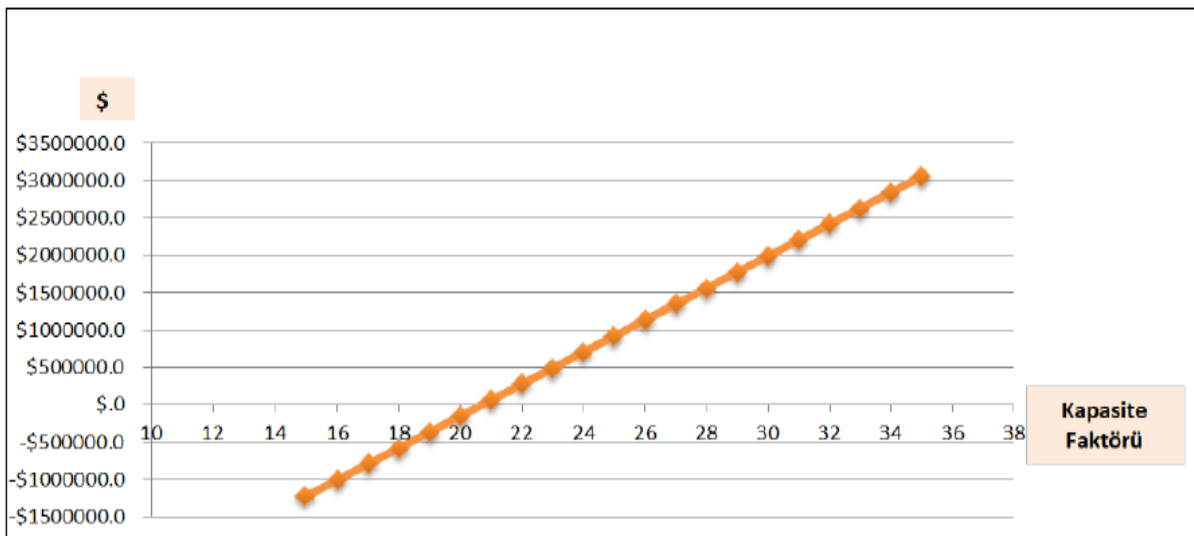
Şekil 5.4. RES'in farklı kapasite kullanımı durumuna göre net bugünkü değer sonuçları

Şekil 5.5’de güneş enerji santralinin farklı çalışma kapasite durumuna göre geri ödeme süreleri verilmektedir. Ekonomik çalışma ömrü yaklaşık 25 yıl olarak kabul edilen GES’in kapasitesinin % 20 ‘nin altına düştüğünde kendisini amorti edemediğini bildirmişlerdir. Kapasite kullanım oranının % 20’nin üzerine çıktığında geri ödeme süresinin düştüğünü bildirmişlerdir.



Şekil 5.5.Güneş enerji santralinin farklı çalışma kapasite durumuna göre geri ödeme süreleri

Şekil 5.6’da güneş enerji santralinin farklı çalışma kapasite durumlarına göre net bugünkü değer sonuçları verilmiştir. Ekonomik ömrü yaklaşık olarak 25 yıl olarak kabul edilen projenin çalışma kapasitesinin %20’nin altına düşmesi durumunda net bugünkü değerinin negatif olduğunu bildirmişlerdir. Bu sebeple bu gibi projeler için yatırım yapılabilmesi için net bugünkü değerinin negatif olmaması gerekmektedir.



Şekil 5.6.Güneş enerji santralinin farklı çalışma kapasite durumlarına göre net bugünkü değer sonuçları

5.2.2. Dinamik geri ödeme yöntemi

Proje değerlendirme yöntemlerinden dinamik geri ödeme süresi yöntemi ile geri ödeme süresi arasında benzerlikler vardır. Geri ödeme süresi metodunda işletmenin yıllar içinde çalışmasıyla kazandığı nakit miktarının kazandığı yıla bakmaksızın ya da paranın zaman içinde değer değişimini dikkate almaması gibi durumlar neticesinde meydana gelen değer kayıplarını en aza indirmek dinamik geri ödeme süresi metodu geliştirilmiştir. Bu yöntemde zaman içinde kazanılan nakit akışların uygun iskonto oranı ile hesaplanarak bugünkü parasal değeri bulunur. Elde edilen bu değer şirket yatırım tutarını karşılayıp karşılamaması hesaplanır. Geri ödeme süresine benzeyen bu yöntem paranın zaman içinde değer değişimini dikkate alır (Tekbaş ve ark. 2014).

Karşılaştırılması yapılacak olan A ve B projelerinin bazı ekonomik bilgileri tablo 5.5’de verilmiştir. Yatırım maliyeti 100 milyon TL olup beş yıllık çalışma zamanında yıllık 30 milyon TL kazanılmış olduğunu varsayılıyor. Yatırım maliyeti 150 milyon TL olan projenin yıllık 42 milyon getirisi olduğu kabul edilmektedir. İki projede % 8 iskon oranı üzerinden işlem yapılmaktadır.

Tablo 5.5 A ve B projelerinin ekonomik bilgileri

A Projesi					B projesi			
Yıl	Nakit Akımlar	Bugünkü Değer Faktörü	Nakit Akımın Bugünkü Değeri	Kalan Maliyetler	Nakit Akımlar	Bugünkü Değer Faktörü	Nakit Akımın Bugünkü Değeri	Kalan Maliyetler
0	100.000,00	1.00000	100.000,00	100.000,00	150.000,00	1,0000	150.000,00	150.000,00
1	30.000	0.92593	27.777,78	72.222,22	42.000,00	0,9259	38.888,89	111.111,11
2	30.000	0.85734	25.720,16	46.502,06	42.000,00	0,8573	36.008,23	75.102,88
3	30.000	0.79383	23.814,97	22.687,09	42.000,00	0,7938	33.340,95	41.761,93
4	30.000	0.73503	22.050,90	636,19	42.000,00	0,7350	30.871,25	10.890,67
5	30.000	0.68058	20.417,50	19.781,30	42.000,00	0,6805	28.584,49	17.693,82
			119.781,31				167.693,81	

Verilen bilgiler ışığında birinci ve ikinci projelerinin dinamik geri ödeme süresi metoduna göre hesaplanma sonuçları tablo 5.5’de verilmiştir. Her iki proje için elde edilen nakit akımlar % 8 iskonto oranına göre değerlendirilip bugünkü değere indirgenmiştir. Sonuçlar proje yatırım maliyet tutarından çıkartılarak geri ödeme süresi belirlenmiştir. Hesaplamalar neticesinde her iki projenin maliyetleri beşinci yıldan sonra pozitif değere

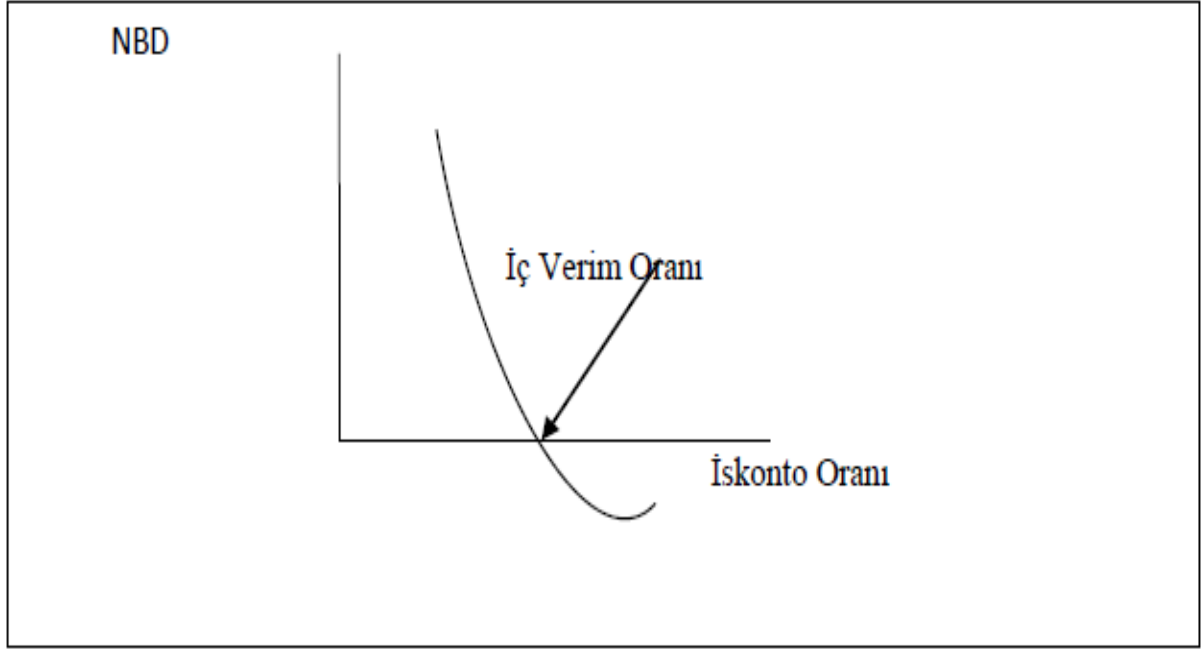
geçmiştir. Bu durumda proje A ve proje B'nin hangisi değerlendirilip değerlendirilmemesi proje yöneticisi tarafından verilecektir.

5.2.3. İç karlılık oranı yöntemi (İKO)

Kurulumu düşünülen projenin iç karlılık oranı projeye girdisi olan nakit girişlerin bugünkü değerinin proje maliyetine eşitlenmesi ile elde edilen orandır. Bulunan oran aslında net bugünkü değeri sıfıra eşitlenmesini sağlayan oran olup tahmini bir değerdir. Bu yöntemin net bugünkü değer metoduna benzer yönleri vardır. İç karlılık yöntemi net bugünkü değer yönteminden sadece iskonto oranı yönüyle farklılık göstermektedir. Bilindiği gibi net bugünkü değer yönteminde ülkenin ekonomik durum verilerine göre iskonto oranı belirlenerek nakit çıkışları ve girişlerinin o günkü değere indirgenerek incelenir (Ceylan, 2003).

Eğer şirketin tasarladığı projelerinin iç karlılık oranı yatırım maliyetinden büyük ise tasarlanılan proje kabul edilir. Eğer bu hesaplanan oran sermaye maliyetinden az ise proje kabul edilmez. Kurulumu düşünülen iki veya daha fazla proje var ise iç karlılık oranı yüksek olan proje kurulumu düşünülür. Yatırım yapması düşünülen şirketin iç karlılık oranı kurulum gerçekleştirilecek projenin maliyetinden yüksek olması durumunda şirketin değeri maksimum noktaya gelecektir.

Hesaplamalarda iç karlılık oranı yönteminde iskonto miktarı bilinmemektedir. Bu yöntemde iskonto oranı aranan değerdir. Hesaplamalarda tahmini değerler denenerek nakit akışlarının bugünkü parasal değerinin proje maliyetine eşit olan oran aranır. Şekil 5.7'de iç karlılık oranı ile net bugünkü değer arasındaki ilişki verilmiştir (Okka, 2009).



Şekil 5.7.İç karlılık oranı ile net bugünkü değer arasındaki ilişki

Hesaplamalarda İç karlılık oranı için kullanılan formül Denklem 5.4’de verilmiştir:

$$IRR == \sum_{t=0}^n \frac{NBD}{(1+i)^t} = 0 \quad (5.4)$$

Verilen bu formülde ;

n : Dönem Sayısını

t : Dönem Numarasını

NBD : Net Bugünkü Değer

IRR : İç Karlılık Oran değerini

i : Faiz Oranını ifade etmektedir.

Tablo 5.6’da iki projenin genel bilgileri verilmiştir. Verilen bilgiler ışığında projelerin iç karlılık oranı hesaplanabilir.

Tablo 5.6.İki projenin genel bilgileri

	Proje A (Milyon TL)	Proje B (Milyon TL)
Yatırım Maliyeti	100.000	150.000
İskonto oranı	%8	%8
Nakit Akımlar		
1.yıl	30.000	42.000
2.yıl	30.000	42.000
3.yıl	30.000	42.000
4.yıl	30.000	42.000
5.yıl	30.000	42.000

IRR_A hesaplanması şu şekilde olacaktır:

$$100.000 = \frac{30.000}{(1+IRR)^1} + \frac{30.000}{(1+IRR)^2} + \frac{30.000}{(1+IRR)^3} + \frac{30.000}{(1+IRR)^4} + \frac{30.000}{(1+IRR)^5} = \%15,24$$

IRR_B hesaplanması şu şekilde olacaktır:

$$150.000 = \frac{42.000}{(1+IRR)^1} + \frac{42.000}{(1+IRR)^2} + \frac{42.000}{(1+IRR)^3} + \frac{42.000}{(1+IRR)^4} + \frac{42.000}{(1+IRR)^5} = \%12,38$$

İncelenmesi yapılan A ve B projelerinin % i iskonto oranları tahminlerle değerler atanarak saptanma işlemi gerçekleştirilir. Projelerden gerçekleşecek nakit girişlerin bugünkü değerini proje maliyet değerine eşitleyecek % i (iskonto oranı) proje için iç verim oranını ifade edecektir. İncelemesi yapılan proje A ve proje B'nin hesaplamalar neticesinde iç verim oranı beklenen verim olan %8'den yüksek olmuştur. Ancak sonuçlardan da belli olduğu gibi IRR_A ve IRR_B karşılaştırıldığında IRR_A > IRR_B sonuçlandığı için proje A tercih edilecektir.

5.2.4. Karlılık endeksi yöntemi

Karlılık endeksi yöntemi fayda maliyeti oranı olarakta adlandırılmaktadır. Bu yöntemde yatırımı yapılacak projeden optimum çalışma süresi boyunca oluşacak nakit

girişlerin belirlenecek iskonto oranı ile NBD hesaplanarak yatırımı düşünülen projenin yatırım maliyetinin NBD'e bölünmesiyle elde edilir.

Karlılık endeksi yönteminin hesaplanması NBD metoduna benzemektedir. Oluşacak nakit girişler ile para çıkışların bugünkü değeri hesaplanır. Daha sonra nakit girişlerin bugünkü değeri ile maliyetlerin bugünkü değerine oranlanması neticesinde fayda maliyet oranı hesaplanmış olunur. Hesaplamalar neticesinde fayda maliyet oranı 1 ya da daha büyük ise proje karlı olarak kabul edilir. Hesaplamalar neticesinde yatırımı düşünülecek proje reddelicektir. Karlılık Endeksi Denklem 5.5'de hesaplama formülü verilmiştir.

Karlılık endeksi hesaplanması şu şekilde olacaktır;

$$\text{Karlılık Endeksi} = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{R}{(1+i)^t}}{C_0} \quad (5.5)$$

Burada

R: Nakit akışları

i: Faiz oranını

t: Dönem numarasını

n: Dönem sayısını ifade etmektedir.

Tablo 5.5'de verilen bilgiler ışığında proje A ve proje B'nin karlılık endeksi yöntemi ile hesaplandığında ;

$$\text{Proje A} = \frac{119.781,30}{100.000,00} = 1,20$$

$$\text{Proje B} = \frac{167.693,82}{150.000,00} = 1,12$$

Hesaplamalar neticesinde iki proje 1'den büyük olması neticesinde kabul edilebilirlik şartını sağlamış olup, proje A proje B'ye göre daha karlı olduğu ortaya çıkmaktadır.

5.2.5.Yıllık eşdeğer masraf oranı yöntemi

Yıllık eşdeğer masraf oranı metodunda birden çok yatırımı yapılacak projenin belirlenmiş zaman dilimleri içinde oluşan masrafları kendi arasında kıyaslanarak o zaman dilimi, içerisinde masraf durumu en az olan proje seçilir. Bu yöntemin kullanılabilinmesi için projelerin oluşacak harcamalarının yatırımın gerçekleştirildiği dönemde ve işletme zamanı içinde aynı masraflar oluşması beklenir.

$$G = L \left[\frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right] \quad (5.6)$$

Burada

G: Yatırım Tutarının Bir yıllık zamana denk gelen pay

L: Toplam Yatırım Tutarını

n: Yatırımın Toplam ömrü

r: Faiz Oranını belirtmektedir.



6.PROBLEMİN TANIMI

Yaşamsal faaliyetler açısından birçok canlı için üreyebilme ortak özelliklerdendir. Canlılar içinde insan yaşam formunun dışındaki canlı formlarının artışının diğer ekosistemler tarafından kontrol altında tutulmaktadır. İnsanoğlu gerek sahip olduğu zekâsı ve kabiliyetlerinin paralelinde oluşan teknolojinin etkisiyle ekosistemler tarafından nüfusu kontrolü dışında kalmayı başarmıştır. Canlı formları içinde en az üreyenler arasında insan nesli olmasına rağmen, insan neslinin artışı birçok problemi beraberinde getirmiştir. İnsan neslinin nüfus artışındaki hız yerleşik hayat tarzına geçişle daha da belirgin hale gelmiştir. İlerleyen zaman dilimlerinde yerleşik hayata geçiş ve teknolojinin ilerlemesi ile insan ömrü uzamıştır. İnsan nüfusu 10 - 12 bin yıl önce 80 milyon rakamlarına ulaşmışken son 350 yıllık zaman diliminde bu rakam 500 milyondan oranından 6 milyon civarına yükselmiştir. Yapılan incelemeler neticesinde gelişmiş ülkelerden 1 milyar insan yaşamaktadır. Geri kalan 5 milyar insan ise gelişmek olan ülkelerden yaşadığı düşünülmektedir. Nüfus artışındaki hızlı gelişme durumunda olan ülkelerin kaynak yetersizliği başta olmak üzere ekonomik, sosyal sorunlar gibi birçok negatif durumu beraberinde getirmektedir (Çamurcu, 2005).

Ekonomik ve sosyal açıdan incelendiğinde enerji, dünya genelinde yapılan araştırmalarla belirlenmiştir ki ülkelerin gelişimi ve yaşam standartını etkileyen en önemli etkidir. Sanayi devriminden sonra teknolojinin hızlı gelişmesi ile eşzamanlı olarak nüfusun artması da ivme kazanmıştır. Bu artan etkenler beraberinde enerji ihtiyacında belirgin hale getirmiştir. Konfor şartlarının her alanda artması enerji tüketiminde de önemli bir etkiye sahiptir. Enerji geçmiş dönemlerde fosil kaynaklardan elde edilirken, fosil kaynakların çevreye verdiği zararlar nedeniyle yerini daha çok yenilenebilir ve zararsız enerji kaynaklarından olan güneş, rüzgâr ve hidrolik almaktadır (Koç ve ark., 2018).

Günümüzde nüfusun artması, konfor şartlarının değişmesi ve elektrik enerjisinin ısınma, aydınlanma, soğutma gibi uygulamaların yanında taşıt sektöründe de kullanımının yaygınlaşması ile enerjiye ihtiyaç kontrol edilemeyecek şekilde artmıştır. Artan enerji ihtiyaçların karşılanması için son teknolojik sistemlerin ve yeni enerji üretim metotlarının kullanılması gerekmektedir. Bu yeni yöntemleri uygulanmasında doğaya zararsız ve sürdürülebilir yöntemler kullanılmalıdır. Enerji üretilmesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı gerek çevreye zararsız olması ve gerekse enerji güvenirliliği açısından çok olması nedeniyle büyük önem kazanmaktadır. Bu kaynakların başında güneş

enerjisi gelmektedir. Güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümünde fotovoltaik paneller kullanılmaktadır. Fotovoltaik panellerin hafif olması, hareketli parçalarının olmaması gibi pozitif özelliklerinin yanında negatif özellikleride bulunmaktadır. Bu negatif özelliklerinin başında güneş ışınımının değişiminde ciddi verim kaybının oluşması başta gelmektedir (Arhan ve ark., 2022).

Artan enerji ihtiyaçlarının neticesinde fotovoltaik panellerin daha verimli kullanılması veya verimlerinin artırılması büyük önem kazanmaktadır. Bu nedenle maliyet açısından çok fark olmayan çift yönlü panellerin enerji uygulamalarında kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bilindiği gibi fotovoltaik paneller enerji üretebilmek için güneş ışınımına ihtiyaç duymaktadırlar. Fotovoltaik panel üzerine düşen güneş ışınımı panelin üretim teknolojisi ile alakalı olarak enerjiye çevirmektedir. Fakat panel etrafına düşen ışınlar kayıp olmaktadır. Bu sebeple çift yönlü panellerin kullanımı panel alanı haricine düşen ve tekrar fotovoltaik panele yansıyan ışınları enerjiye çevirmektedir. Bu özelliği sonucunda çift yönlü paneller tek yönlü fotovoltaik panellere nispeten %10- %12 daha fazla enerji üretimine olanak sağlamaktadır(Bayyığıt ve ark., 2023).

Bu çalışmada artan nüfus artışı ile beraberinde istenen konfor yaşam şartlarının elde edilmesi için gereken enerji çevreye zararsız yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneşten üretilmesi planlanmaktadır. Enerji üretimi fotovoltaik panellerle sağlanması düşünülmektedir. Üretimi düşünülen enerji için tek ve çift yönlü fotovoltaik panel ile kurulumu düşünülen güneş enerji santrallerinin ekonomik açıdan incelenecektir. Ayrıca proje kapsamında tek ve çift yönlü fotovoltaik panellerin gerçek veriler karşılaştırılarak geri ödeme süresi ve projelerin net bugünkü değerleri karşılaştırılıp hangi projenin daha karlı olduğu incelenecektir.

6.1. Çalışmanın Kapsamı ve Amacı

Bu çalışmada artan enerji ihtiyacının çevreye zararsız yenilenebilir enerji dönüşüm uygulamaları olan fotovoltaik panellerle karşılanmasının ekonomik açıdan incelenecektir. İnceleme kapsamında tek ve çift yönlü fotovoltaik panellerle güneş enerji santralının kurulum ile ilgili tüm safhaları kapsamaktadır. Kurulumu ve daha sonra ekonomik açıdan karşılaştırılması düşünülen enerji santrallerin arazilerin hazırlanması, santrallerin kurulumu, çalıştırılması ve işletilmesini kapsamaktadır.

Projelerin incelenmesinde kullanılan malzemeler, güncel maliyetleri ve aktif çalışan iki güneş enerji santralinin gelir ve işletim giderleri değerlendirilecektir. Bu değerlendirme literatüre uygun yöntemlerle ele alınıp bazı proje değerlendirme yöntemleri kullanılacaktır. İnceleme kapsamında iki paneller kurulumu gerçekleştirilecek enerji santralinin geri ödeme süreleri ve net bugünkü değer yöntemi ile değerlendirilecektir. Değerlendirme sonunda güneş enerji santralinin kurulumunda hangi fotovoltaik panelin kullanımının daha karlı oldu değerlendirilecektir.

6.2. Çalışmanın Kısıtlılıkları

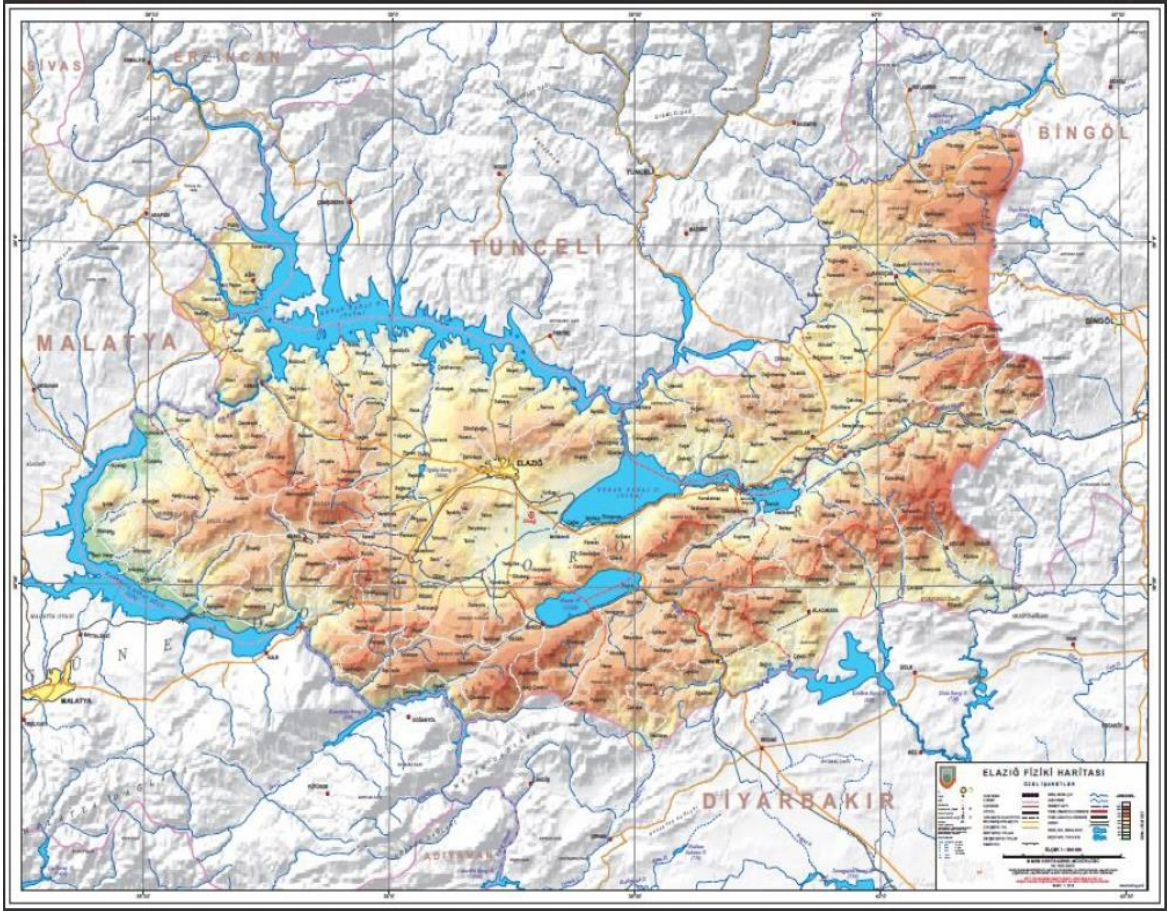
Ekonomik yönleriyle incelemesi düşünülen güneş enerji santrallerin dünyanın ve ülkemizde içinde bulunduğu finansal zorlukların sonucunda hızla değişen maliyetler yönüyle değerlendirilmesi kısıtlamalar dâhilindedir. Çünkü ekonomik açıdan belirli bir maliyete sahip ürünler teknolojik olarak ülke üretiminde yok ise ülke dışından ithal edilmektedir ve ödemeler dolar kuru üzerinde gerçekleştirilmektedir. Bu sebeple ülke ekonomisinin oluşacak herhangi bir ekonomik dalgalanma projenin kurulumundan işletilmesine kadar tüm safhaları etkileyecektir. Örneğin dolar/TL kurunun değişmesi ülke dışından getirilmekte olan malzemelerin fiyatlarında artışa sebebiyet verecektir. Aynı şekilde dizel yakıtın artması neticesinde saha düzenlenmesinde kullanılan aracın, PV panellerin çelik konstrüksiyon montaj makinasının kullandığı ve PV panellerin proje sahasına nakliyesinde kullanılan aracın yakıtına etki ederek maliyetler ciddi oranda değiştirecektir.

Ayrıca değerlendirilmesi yapılacak projeler çevreye zararsız yenilenebilir enerji uygulamalarından olan fotovoltaiklerin performansları üzerinden değerlendirilecektir. Değerlendirilmenin santralin kurulumu gerçekleştirdikten sonra ki gelecek yılları kapsadığından projenin kurulum yerinin geçmiş yıllarda almış olduğu güneş ışınım miktarı ve süresini elde edeceği tam olarak bilinmemektedir. Bu sebeple değerlendirme sadece geçmiş yıllardan elde edilmiş ve bu yönde kabul edilmiş iklim verileri üzerinden yapılacaktır.

Teknoloji baş döndüren bir şekilde ilerlemektedir. İlerleyen bu teknoloji dünyasında güneş enerji santralinin kurulumunda kullanılan ekipmanların üretim teknolojisinin kolaylaşması veya maliyetlerin düşmesi gibi durumlarla karşılaşılabilir. Bu gibi durumlar neticesinde tek yönlü panellerin verimlerinin artarak çift yönlü panellerin önüne geçmesi neticesinde ekonomik açıdan çift yönlü paneller kullanılarak güneş enerji santrali kurulumu elverişsiz hale gelebilir.

7.MATERİYAL VE METOD

Kurulumu gerçekleştirilecek güneş enerji sistemi Türkiye'nin Elazığ ilinin merkez ilçesinde yer alan Yalınız mahallesi 122/5 ada ve parselinde (Enlem : 38.6016, Boylam : 39.1773) yapılması planlanmaktadır. Elazığ ilinin coğrafi durum itibarıyla arazi yapısı genel olarak ovalardan oluşmamaktadır. Bu sebeple güneş enerji santralinin kurulumunun gerçekleştirilebilmesi için arazi yapısının düzenlemesi, santralin kurulumuna uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Şekil 7.1'de Elazığ ilinin fiziki haritası verilmiştir.



Şekil 7.1. Elazığ ilinin fiziki haritası (URL- 4)

7.1.Yatırım Maliyetleri

Güneşenerji santrallerinde toplam kurulum maliyet bedelinin hesabı için bilinmesi gerekenler listesi aşağıdaki şekilde sıralanmıştır.

- Mühendislik giderleri ve lisans bedeli
- Arazi Maliyeti
- GES kurulumu için arazinin hazırlanması ve inşaa giderleri

- Projede kullanılacak makine ve ekipmanlar
- GES'in montaj, kurulum ve testlerin yapılması
- Enerji nakil hatları ve trafo giderleri
- GES'in devreye alınması ve denenmesi
- Öngörülemeyen giderler

7.1.1. Mühendislik Giderleri ve Lisans Bedeli

Güneş enerji santrallerinde projeye başlamadan önce alınması gereken hizmetlerden ilki mühendislik hizmetidir. Mühendislik giderleri genel olarak kurulumu gerçekleştirilecek projenin dosyalanma, haritalanma ve danışmanlık hizmetleri gibi giderleri kapsamaktadır. Bu kapsamda fizibilite çalışması da yapılmaktadır. Yapılacak fizibilite çalışması esasında proje değerlendirme yöntemlerinden biri veya bir kaçının uygulayarak kurulumu yapılacak projenin karlılık oranı, üretim kapasitesi ve projenin amortisman süresinin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

7.1.2. Arazi maliyeti

Güneş enerji santrallerinde ekipman gideri gibi projenin maliyetinin oranca yüksek tutan giderlerinden biride arazi maliyetidir. Güneş enerji santralleri iki türlü arazi aidiyeti oluşturulup kurulumu gerçekleştirilebilir. Bunlar kiralanıp güneş enerji santrali kurulabilindiği gibi arazi maliyeti ödenip satın alınan arazi üzerinde de güneş enerji santralinin kurulumu gerçekleştirilebilir. Güneş enerji santrallerinde gerekli izinlerin kolay alınabilmesi, karlılıkların yüksek olması ve ilerleyen zamanda arazi sahibiyle oluşabilecek anlaşmazlıkların önüne geçebilmek adına arazinin maliyet bedelinin ödenip alınması projenin devamı için daha iyi bir çözüm olacaktır. Böylelikle değişen hayat şartları neticesinde arazinin maliyet artışlarından etkilenmeden projeden elde edilecek karlılıklar devam edecektir. Şekil 7.2'de kurulumu düşünülen arazinin görünümü verilmiştir. Güneş enerji santrali kurulum işlemi için izin alınabilmesi için arazinin tarım arazi olmaması gerekmektedir.



Şekil 7.2. kurulumu düşünülen arazinin görünümü

7.1.3. GES kurulumu için arazinin hazırlanması ve inşa giderleri

Güneş enerji santralının kurulum yapılacak arazinin belirli bir yapıya sahip olması gerekmektedir. Arazinin düzgünlüğü kurulumun kolay bir şekilde yapılması ve güneş enerji santralının işletimi sırasında kontrol, bakım-onarım ve fotovoltaik panellerin temizlenmesi gibi faaliyetlerin rahat yapılması için büyük önem taşımaktadır. Şekil 7.3’de güneş enerji santralının kurulumu gerçekleştirilecek arazinin kurulumu uygun hale getirilmesi gösterilmiştir. Bu işlemler arasında arazi düzenlendikten sonra herhangi bir toprak kaymaması için istinat duvarıda yer almaktadır.



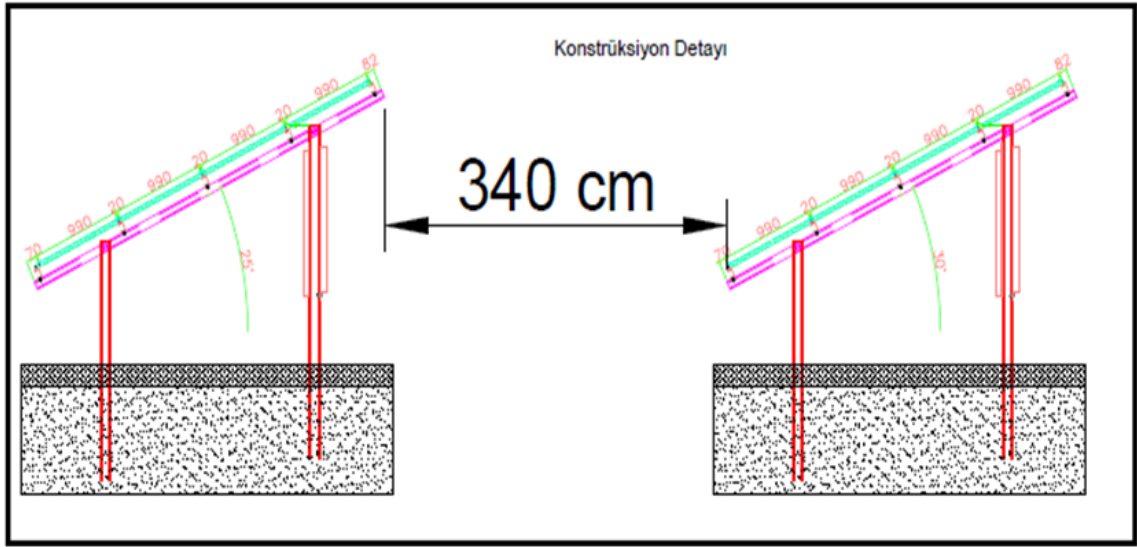
Şekil 7.3. Güneş enerji santralinin kurulumu gerçekleştirilecek arazinin kuruluma uygun hale getirilmesi

Güneş enerji sistemlerinde fotovoltaiik panellerin montaj ve kurulumundan birçok farklı yöntem metot uygulanmaktadır. Bu sahada çelik konstrüksiyonun araziye çakma yöntemi kullanılması düşünülmektedir. Sahada galvanizli sıcak daldırılmış paslanmaz çelik profiller kullanılacaktır. Genel itibariyle bu ekipmanlar projede ağırlık miktarınca ölçümlenerek fiyatlandırma yapılır. 500 kWe GES için yaklaşık olarak 26 ton miktarında kullanılacaktır. Toprağın sertlik ve yapısıyla alakalı olarak toprağa gömülme derinliği belirlenir. Ayrıca bu derinlik belirlenirken bölgenin iklim verileri de dikkate alınır. Aşırı yağmur yağması veya rüzgâr gibi şiddetli iklim olaylarından etkilenmemesi önem kazanmaktadır. Bu çelik profilleri MAZAKA markalı MW1000 modeline ait makine ile araziye çakma işlemi gerçekleştirilecektir. Şekil 7.4’de çakma makinasının görünümü verilmiştir.



Şekil 7.4. Çelik konstrüksiyon çakma makinasının görünümü

Güneş enerjisi üretim santrallerinde montaj durumunda panel serilerinin bir diğer seriye gölgeleme yapması durumunda elektrik enerjisi üretiminde ciddi kayıplar olacaktır. Bu sebeple seri arasına belirli aralıklar bırakılması gerekmektedir. Şekil 7.5’de panel seri aralıkları verilecektir.



Şekil 7.5. panel seri aralıkları

Güneş enerji santralinin güneş ışınımının en şiddetli anı olan 13.00 ile 15.00 arasında güneş ışınımı altında görünüm verilmiştir. Şekil 7.6’da görüldüğü gibi fotovoltaik panel dizilimi ve aralıkları güneş altında, çalışma şartları altında diğer fotovoltaik panel dizilimlerinde etkilenmemesi göz önüne alınarak kurulum gerçekleştirilecektir.



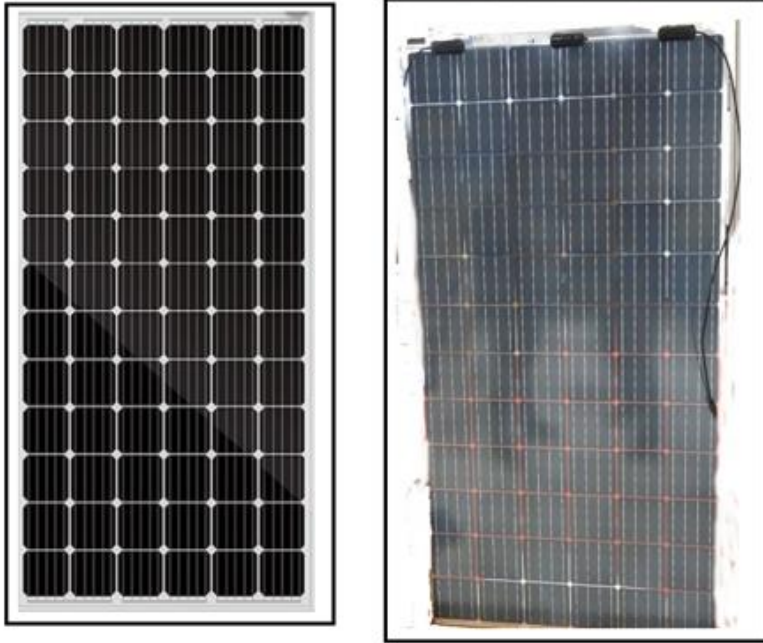
Şekil 7.6. Fotovoltaik panel dizilimi ve ışınım altında gölgelenmemesi için aralıklı dizilimi

7.1.4. Projede kullanılacak makine ve ekipmanlar

Güneş enerji santralinde kurulum için gerekli malzemeler çelik konstrüksüyon ve metal bağlantı malzemeleri, fotovoltaiik paneller, bağlantı jackları, bağlantı kabloları, inverterler, elektrik panoları, elektrik köşk binası, kontrol ve güvenlik binası ve elektrik nakil hat bağlantıları fiziki olarak ihtiyaç olunan malzeme kalemleri listesinde olmaktadır. Fiziki olmayan mühendislik analiz, tasarım, lisans ve ruhsat giderleri ise malzeme listesi haricinde gider kalemleri arasındadır.

7.1.4.1.Projede kullanılması düşünülen fotovoltaiik panel

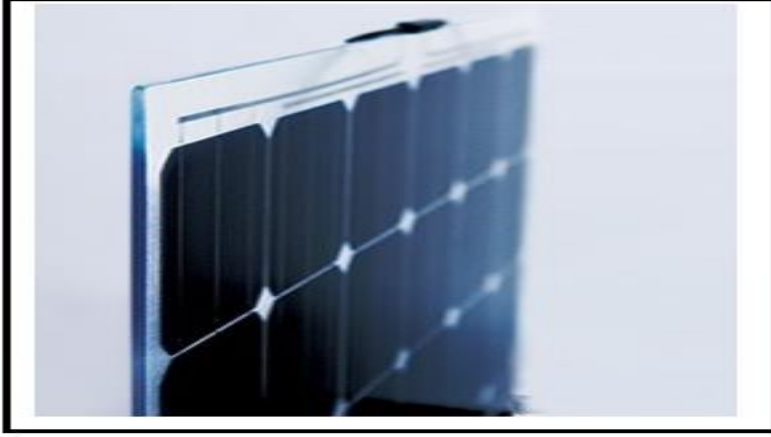
Proje kapsamında kullanılan fotovoltaiik panel çift yönlü elektrik üretme kapasitesine sahiptir. GTS firmasına ait GTC-GG1H-72-370W modül tipine sahip 370 Watt gücüne sahiptir. Şekil 7.7’de güneş enerji santralinde kullanılan fotovoltaiik panelin ön ve arka görünümü verilmiştir.



Şekil 7.7. Güneş enerji santralinde kullanılan fotovoltaiik panelin ön ve arka görünümü

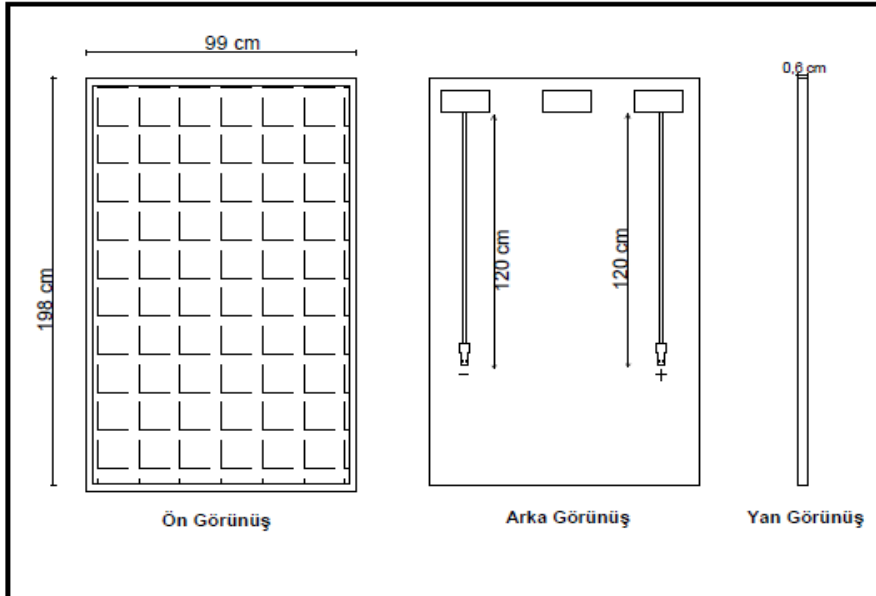
Güneş enerji santralin kullanılan fotovoltaiik panel çift yönlü olması nedeniyle tek yönlü panele nazaran yapısal farklılıklara sahiptir. Tek yönlü paneller genel olarak dayanıklı olması için etrafı alüminyum çerçeve ile koruma altına alınmıştır. Çift yönlüpaneller ışıınımı engelleyip elektrik üretimine negatif etkiye sahip olmaması için

çerçevesiz olarak üretilmiştir. Bu nedenle montaj ve bakım-onarım işlemi sırasında tek yönlü panele nazaran daha hassas yapıya sahiptir. Şekil 7.8’de çift yönlü panelin kesit görünümü verilmiştir.



Şekil 7.8. Çift yönlü panelin kesit görünümü

Güneş enerji Santralinde kullanılan fotovoltaiik panelin ölçülerine göre arazinin yapısı kurulum durumu ve seri aralıkları tasarlanır. Bu sebeple sistemde kullanılan fotovoltaiik panelin ölçüleri önem taşımaktadır. Şekil 7.9’da projede kullanılan fotovoltaiik panelin ölçüleri verilmiştir. Tablo 7.1’de projede kullanılan fotovoltaiik panelin teknik verileri verilmiştir.

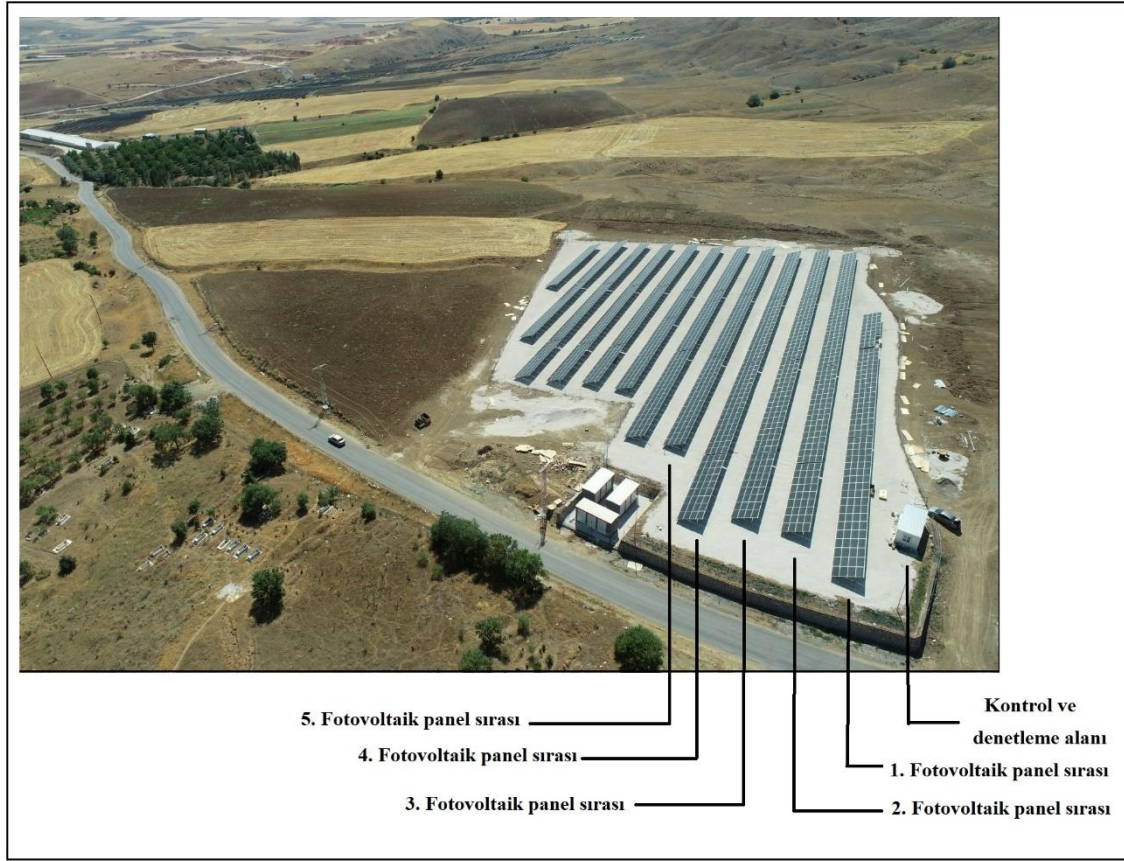


Şekil 7.9. Projede kullanılan fotovoltaiik panelin ölçüleri

Tablo 7.1. GES’de kullanılan panel bilgileri

Elektriksel Özellikler	
Panel gücü	370
Arka yüzey gücü	27
Hücre tipi	Mono perc/Cam-Cam (Bifacial)
Hücre adedi	72
Modül verimi	18.90
MPPT akım değeri	9.57 A
Kısa devre akımı	9.96 A
Sistem voltajı	24 V
Maksimum güç noktası gerilimi	38.75 V
Açık devre Maksimum gerilimi	48.37 V
Maksimum sistem gerilimi	1500 V
Seri sigorta akımı	15A
Panel güç toleransı	+5 W
Basbar sayısı	4
Çalışma sıcaklığı	-40 °C +85 °C Nominal : 45 °C
Solar panel Ebatları	1980mm x 990mm x 7mm
Panel ağırlığı	27.50 kg

Yapılan anlaşma gereği güneş enerji santralinin toplam kapasitesi 500k Watt olarak yapılmıştır. Güneş enerji santralinin kurulumunda arazinin eni, boyu, inverterin kapasitesi ve panel güç çıkışı ile alakalı olarak bağlantı şekli ve son olarak panel boyutları büyük önem taşımaktadır. Şekil 7.10’da fotovoltaiik panellerin dizilimi ve projenin kontrol alanı verilmiştir.



Şekil 7.10. Fotovoltaik panellerin dizilimi ve projenin kontrol alanı

Proje kapsamında 4 adet fotovoltaik panel çelik konstrüksiyon üzerinde birleştirilerek inverter girişi için büyük öneme sahip volt ve amper ayarlaması yapılmıştır. Arazinin yapısı ve mevcut parselin ölçüleri kapsamında her bir sırada fotovoltaik panel sayısında farklılıklar meydana gelmiştir.

- 1.sırada 42 x 4 fotovoltaik panel
- 2.sırada 63 x 4 fotovoltaik panel
- 3.sırada 63 x 4 fotovoltaik panel
- 4.sırada 63 x 4 fotovoltaik panel
- 5.sırada 54 x 4 fotovoltaik panel kullanılmıştır.

Proje kapsamında 500 kWatt güneş enerji santrali kurulumu 5 sıra olarak tamamlanacaktır. Toplamda 1440 adet fotovoltaik panel kullanımı tasarlanmaktadır.

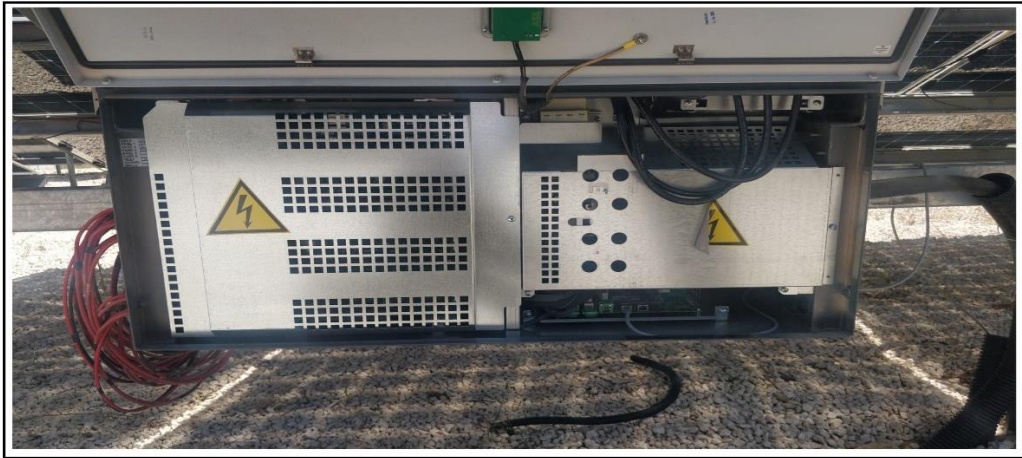
7.1.4.2.Proje kapsamında kullanılacak inverter

Güneş enerji santralinde olan her bir fotovoltaik panel sırası için bir adet inverter kullanılacaktır. Proje kapsamında ABB firmasına ait 100 kWatt'lık inverter kullanılacaktır. Şekil 7.11'de projede kullanılan inverterin görünümü verilmiştir.



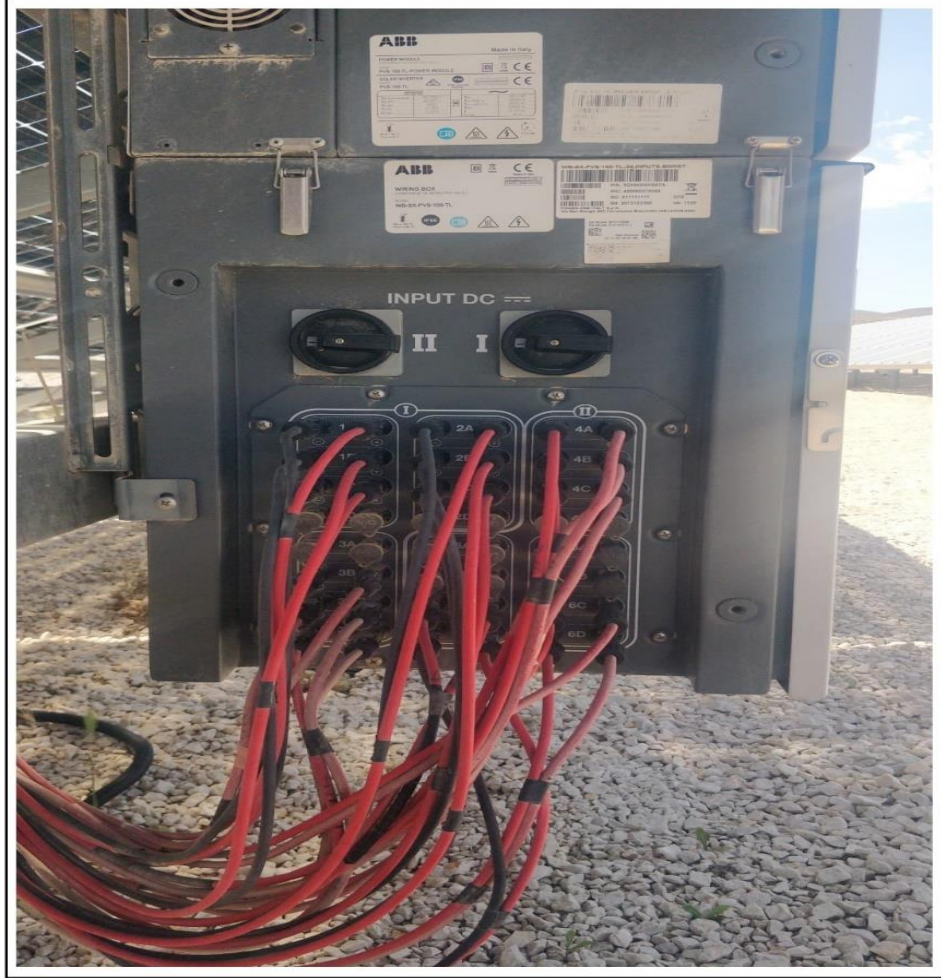
Şekil 7.11. Projede kullanılan inverterin görünümü

Projede kullanılacak inverter iki kısımdan oluşmaktadır. Alt bölümünde fotovoltaik panellerden gelen DC giriş soketleri ve AC çıkışı bulunmaktadır. Şekil 7.12'de inverterin alt kısmının iç görünümü verilmiştir. Böylelikle inverterin iki kısmı bağımsız soğutma fanları ile soğutulması daha kolay hale gelecektir.



Şekil 7.12. İnverterin alt kısmının iç görünümü

Fotovoltaik sistemlerde birçok farklı inverter kullanılmaktadır. Burada belirleyici unsurlardan biri fotovoltaik panellerin invertere girişidir. Giriş sayısına göre fotovoltaik panellerin birleştirilmesi ve sıralanması gerçekleştirilir. Şekil 7.13’de güneş enerji santralinde kullanılan inverterin Fotovoltaik girişleri verilmiştir.



Şekil 7.13. Güneş enerji santralinde kullanılan inverterin Fotovoltaik girişleri

7.1.4.3.Proje kapsamında kullanılacak kablolar (pv panel- inverter)

Güneş enerji santrallerinde giderlerden biriside fotovoltaik panellerin birbiri ile ve inverter ile akım ve voltaj iletimini sağlayan kablolardır. Güneş enerji santrallerinde hem enerji kayıplarının minimum seviyede olması hem de ağır iklim şartlarında deformasyon olmadan uzun dönem çalışabilmesi için sağlam yapıya sahip kablolar tasarlanmıştır. Bu kabloların maliyetleri marka, kalınlık ve diğer fiziksel özelliklerine göre değişkenlik göstermektedir. Şekil 7.14’de projede kullanılan 6mm solar kablo görünümü verilmiştir.

Proje kapsamında 6mm pozitif hat için 3845m ve negatif hat içinde 3845m kullanılmıştır. Toplamda 7690 metre kablo kullanılması düşünülmektedir.



Şekil 7.14. Projede kullanılan 6mm solar kablo görünümü

Güneş enerji santrallerinde fotovoltaik panellerden güneş ışıınımı neticesinde panel güç ve açısı ile alakalı olarak DC akım çıkışı olmaktadır. Bu elde edilen elektrik enerjisi invertere solar kablolar vasıtası ile gönderilir. İnverterde AC akıma çevrilir. Elde edilen bu AC akım enerjisi alçak gerilim hatları ile GES trafo merkezine gönderilir. Bu sistemde 5 x 70 mm NYY (bakır ve yer altı) kablo kullanılmıştır. Toplamda 500 k Watt güneş enerji panel sistemi için inverterlerden elektrik panosuna kadar olan mesafede 230 metre ölçüsünde kullanılmıştır. Bu kabloların güneşten ve diğer hava şartlarından etkilenmemesi için toprak altına gömülüp sahada görünmemektedir. Şekil 7.15’de güneş enerji santralinin enerji hatlarının toprak altına gömülmüş hali verilmiştir.



Şekil 7.15. Güneş enerji santralinin enerji hatlarının toprak altına gömülmüş hali

7.1.4.4. Güneş enerji santralinin gözetleme ve kontrol alanı

Güneş enerji santrallerinde kullanılan ekipmanların değerlerinin yüksek olması, güneşli zaman dilimlerinde enerji üretiminin kesintiye uğramaması, kırılma ve deformasyonda yenilenme süresinde elektrik üretiminin azalması gibi durumlar neticesinde diğer enerji santrallerinde olduğu gibi güneş enerji santrallerinde kontrol edilmesi gerekmektedir. Ayrıca oluşacak herhangi bir durum neticesinde enerji üretiminin kesintiye uğraması yapılan anlaşmalarıda olumsuz etkileme durumu ortaya çıkarmaktadır. Güneş enerji santralleri haftanın her günü 24 saat olarak üretimin aksamaması için kontrol ve denetimleri yapılmaktadır. Bu denetimlerin sağlıklı yapılabilmesi için ve görevli personelin hayatsal ihtiyaçlarının karşılanması adına kontrol ve yaşam alanına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca enerji üretiminin yapıldığı üretim sahasının yazın güneş altında aşırı sıcak kışın aşırı soğuk olması gibi durumlarda görevli personelin ağır iklim şartlarından etkilenmemesi için yaşam alanı büyük önem kazanmaktadır. Kontrol ve denetlemenin gerçekleştirildiği yaşam alanı 3m x 7m ölçülerinde iki odalı, WC, banyo ve mutfak alanına

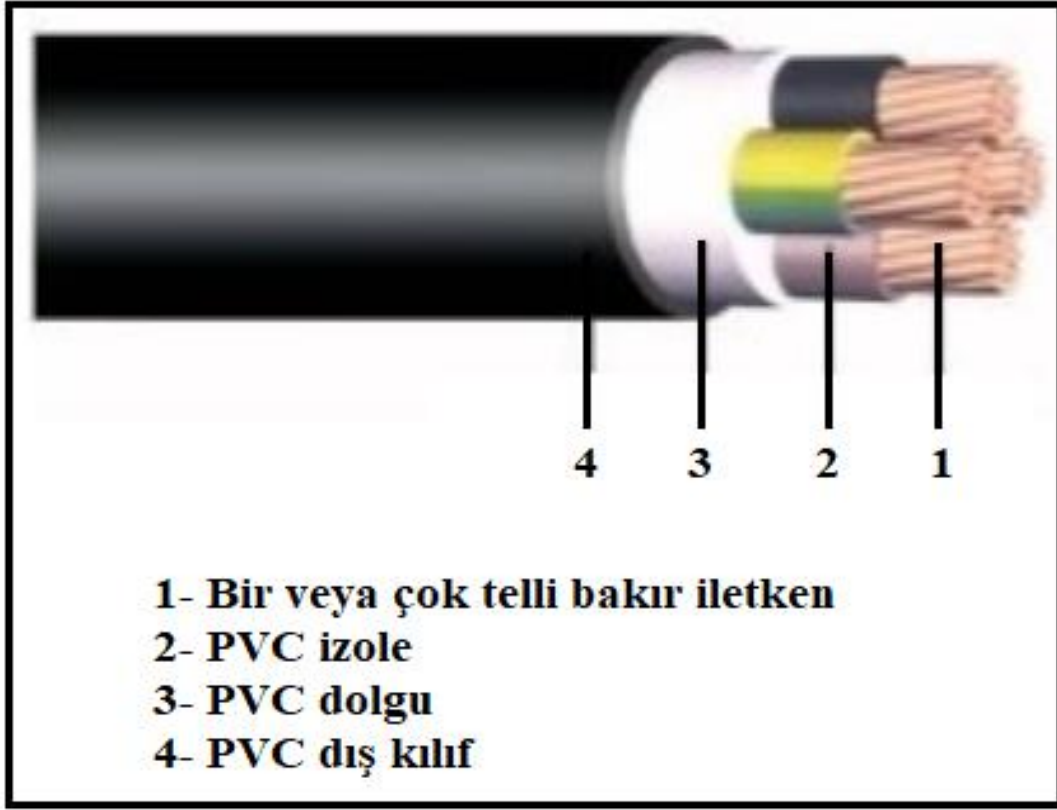
sahip konteynerdir. Konteynerin bir odası görevli personelin yaşam ihtiyaçlarının giderilmesi amaçlı kullanılırken diğer odası ise güneş enerji santraline kurulumu gerçekleştirilmiş güvenlik ve denetleme sistemleri bulunmaktadır. Şekil 7.16'da güneş enerji santralinde gözetleme ve kontrol alanının görünümü verilmiştir.



Şekil 7.16. Güneş enerji santralinde gözetleme ve kontrol alanının görünümü

7.1.4.5.Projede kapsamında kullanılacak alçak gerilim kablosu

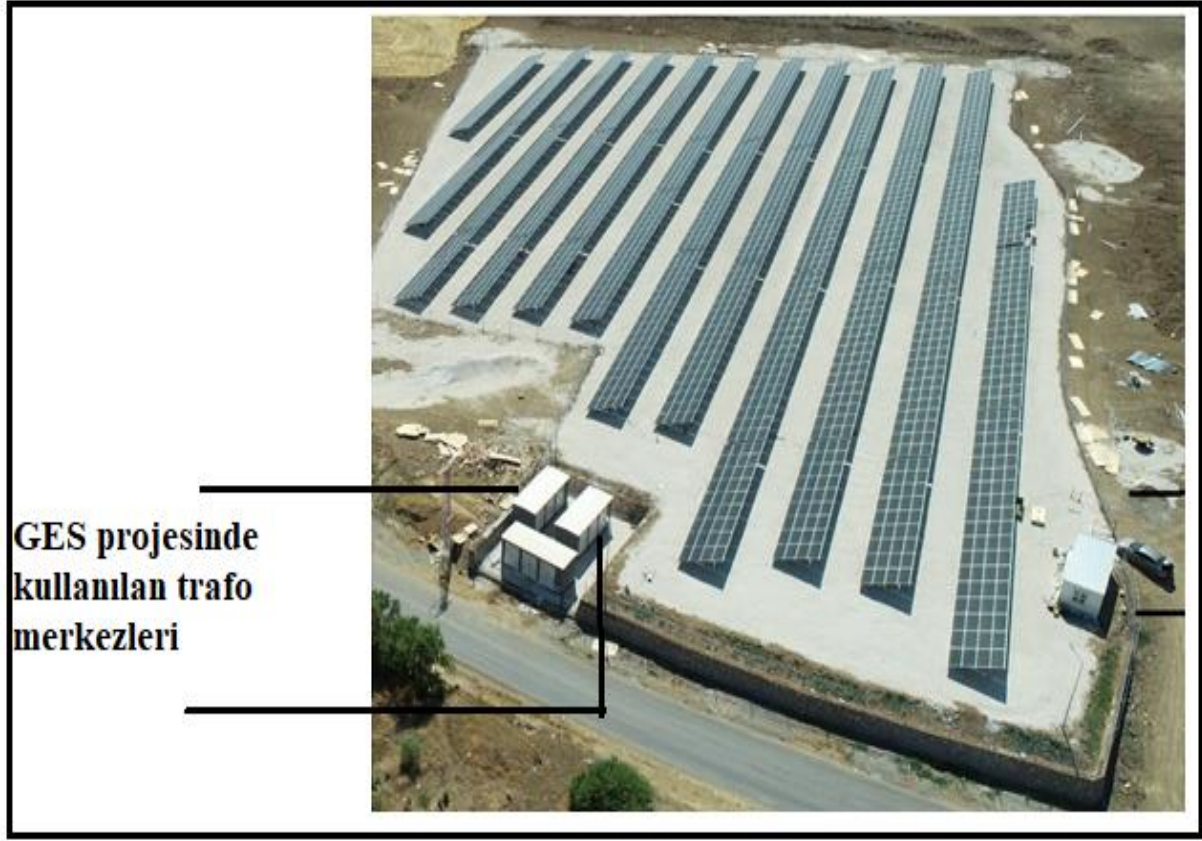
Proje kapsamında üretilen enerjinin güneş enerji trafo merkezine gönderilmesinde alçak gerilim (Ag) kablolarından faydalanılacaktır. Burada kullanılacak kablolar inverter ile trafo arasında enerji nakil hattını kapsamaktadır. Kullanılan kablo 5 mm x 7mm ölçülerinde NYY (bakır ve yer altı) özelliğe sahip bir kablodur. 500 kwatt için inverter pano arası 230 metre kablo kullanılması tahmin edilmektedir. Şekil 7.17'de alçak gerilim kablosunun görünümü verilmiştir.



Şekil 7.17.Alçak gerilim kablosunun görünümü(URL-4423)

7.1.4.6. Enerji nakil hatları ve güneş enerji santralinin trafo merkezi

Güneş enerji santrallerinde üretilen enerjinin tümü şebekeye gönderilmektedir. Bunun içinde bazı özelliklere sahip trafo merkezinin olması gerekmektedir. Şekil 7.18’de GES’de kullanılan trafo merkezi gösterilmiştir.



Şekil 7.18. GES’de kullanılan trafo merkezi

Trafo merkezi belirli özelliklere sahip yapıda bulunmalıdır. Trafo merkezi bina ölçüleri 2.40 m x 7.5 m betonarme bina olarak inşası yapılmıştır. İçyapısında 630kVA harmonik tip trafo kullanılmıştır. Bir adet akım- gerilim ölçü trafosu hücresi, bir adet kesicili trafo koruma hücresi ve bir adet de oto prodüktör hücresi kullanılmıştır.

7.1.5.Güneş enerji santralinin kurulumu için yapılan harcama ve hizmetlerin sınıflandırılması

Güneş enerji santrali kurulum ve işletilmesinin yapılabilirlik kapsamında yapılan harcamalar fiziki olanlar ve fiziki olmayanlar olarak ikiye ayrılmış. Proje kapsamında kullanılan fiziki malzemeler, kullanım adetlerinin listesi tablo 7.2’de verilmiştir.

Tablo 7.2. Proje kapsamında kullanılan ekipman adet ve birim maliyetleri

Ekipman Tanımı	Ekipman Bilgisi	Kullanım Adedi	Ekipman Maliyet Bedeli
Fotovoltaik panel	370watt çift yönlü panel	1440 adet	74 dolar adet
İnverter	100 kWatt DC-AC	5 adet	6000 dolar/ adet
Solar kablo	6mm tek şerit	7690 metre	0,85 cent dolar /metre
Çelik kontürüksüyon	Galvanizli sıcak daldırma	26 ton	1550 dolar /ton
AG kablo alçak gerilim kablosu	5 x 70 mm NYY (bakır ve yer altı)	İnverter pano arası 230 metre özel amaçlı kablo	56 \$ /metre
Gözetim binası	3m x 7m iki oda mutfak ve WC	Bir adet konteyner	2206 \$
Trafo merkezi	2.40m x 7.5m 630kVA harmonik trafo	2.40m x 7.5m betonarme bina ve iç trafo üniteleri	70000 dolar adet
Kontrol ve denetleme	Scada entegrasyon ve gözetleme sistemi	1 adet ve kameralar	2941.2 \$
Saha düzenlenmesi çakıl taşı	Arazi düzenleme-montaj		8823.5 \$
Muhtelif malzemeler	Konnecter, papuç, yangın tüpü, uyarı levhaları, klips, bv.		2941.2 \$
Topraklama	Kısa devre akım kontrol sistemi		2941.2 \$

Proje kapsamında GES'nin tasarımından kuruluma ve kurulum sonrası işletilmesinin devamı için gerekli olana izinler, mühendislik hizmetleri gibi yapılan işlemler gerçekleştirilmiştir. Projede yapılan bütün fiziki olmayan mühendislik hizmetleri tablo 7.3'de verilmiştir.

Tablo 7.3. Proje kapsamında fiziki olmayan hizmet bedelleri

Hizmetin Adı	Hizmet tanımı	Tamamlama süresi	Hizmet bedeli
Güneş enerji santralinin saha düzenlenmesi	Arazi düzenleme iş makinası ile	10 gün	8823.5 \$
Saha düzenlenmesi	Harfiye işlemleri	5 gün	5882.4 \$
Fotovoltaik panellerin çelik konstrüksiyon kurulum	Çelik konstrüksiyon Araziye çakılması	10 gün	8823.5 \$
Saha düzenlenmesi	Tel çit yapılması tüm saha çevresi	10 gün	5882.4 \$
Fotovoltaik panel	Fotovoltaik panel nakliyesi	5 gün	2941.2 \$
İşçilik	Panel kurulum işçilik ve devreye alınması	30 gün	29411.8 \$
Toplam			61764.7 \$

Güneş enerji santralinde kullanılan ekipmanlar belirlendikten sonra maliyet analizi için tablo haline getirilmesi hesaplama ve çeşitli ekonomik değerlendirme açısından büyük önem kazanmaktadır. Tablo 7.4 ‘de ekipmanların maliyetleri ve TL cinsinden karşılıkları verilmiştir.

Tablo 7.4. Proje kapsamında kullanılan ekipman toplam maliyeti

Ekipman Tanımı	Kullanım Adedi	Ekipman Birim Maliyet Bedeli	Ekipman Toplam Maliyeti	Türk lirası karşılığı
Fotovoltaik panel	1440 adet	74 dolar adet	106.560 \$	3.623.040 TL
İnverter	5 Adet	6000\$	30000 \$	1.020.000 TL
Solar kablo	7690 metre	0,85 cent \$ /metre	6536,5 \$	222.241 TL
Çelik	26 ton	1550 dolar /ton	40300 \$	1.370.200 TL
kontürüksüyon				
AG kablo alçak	230 metre	1900 tl /metre		437.000 TL
gerilim kablosu				
Gözetim binası	1 adet	75000 TL	2506 \$	75000 TL
Trafo merkezi	1 adet	70000 \$/ adet	70000 \$	2.380.000 TL
Kontrol ve	1 adet ve	100 bin TL	2942 \$	100.000 TL
denetleme sistemi	kameralar			
Saha düzenlenmesi	10 kamyon	30 bin TL	8824 \$	300.000 TL
çakıl taşı				
Muhtelif	İhtiyaç miktarınca		2942 \$	100.000 TL
malzemeler				
Topraklama	Tam set	100 bin TL	2942 \$	100.000 TL
TOPLAM		286102.4 \$		9.727.481 TL

Çift yönlü panel ile kurulumu gerçekleştirilmiş güneş enerji santrali için ekipmanlar kullanılmıştır. Proje için saha düzenlenmesinden kurulum ve santralin çalıştırılması gibi çeşitli hizmetler yapılmıştır. Ayrıca proje kapsamında güneş enerji santralinin kurulumu gerçekleştirilecek olan sahanın satın alma veya kiralama bedeli vardır. Güneş enerji santrali için yapılan harcamalar aşağıda verilmiştir:

Güneş enerji santralinin maliyeti= Ekipman bedeli + Yapılan hizmetler

Güneş enerji santralinin maliyeti = 9.727.481 + 2.100.000 =11.827.481 TL

Güneş enerji santralinin kurulumu gerçekleştirildikten sonra alınan izinler neticesinde enerji ve tabi kaynaklar bakanlığına bağlı mühendisler tarafından çeşitli kontroller yapılır. Yapılan kontrol ve incelemeler sonucunda mevzuata uygun olmayan bir durum olmaması neticesinde güneş enerji santrali devreye alınarak enerji üretimine geçilir.

Güneş enerji santralinin devreye alınarak çalıştırılmasında bazı giderler meydana gelmektedir. Bu giderler:

- İşletim giderleri
- Bakım ve onarım giderleridir.

Projenin çalıştırılması halinde oluşan giderlerin başında güvenlik ve projenin çalışmasını kontrol eden görevlilerin aylık giderleri ve projenin kontrolü sırasında oluşan enerji masraflarıdır.

Bakım ve onarım giderleri olarak PV panellerinin kullanımı ile oluşan yıpranma veya kırılma gibi durumlarda yenilenmesi. Çeşitli iklim olayları sonrasında oluşan toprak kayması gibi durumlar sonucunda güneş enerji santralindeki kabloların zarar görmesi ile değişmesi gerekmektedir. Güneş enerji santralinin yıllık işletim bedelleri ve yapılan hizmetler tablo 7.5’de verilmiştir.

Tablo 7.5.Güneş enerji santralinin yıllık işletim bedelleri ve yapılan hizmetler

İşletmeye	Ait	İşletim	Toplam Bedeli (\$)	TL karşılığı
Giderleri				
Sistem	Kullanım	Bedeli	26.000,00	884.000
(Dağıtım A.Ş.)				
Güvenlik			20.000,00	680.000
Servis ve Bakım Hizmeti			4.000,00	136.000
Vergi ve Diğer Giderler			10.000,00	340.000
Toplam				2.040.000

Güneş enerji santralinin üretilen enerjinin şebekeye vermesi neticesinde sistem kullanım bedeli meydana gelmektedir. Bu tutar yaklaşık 26.000 \$ dır. Ayrıca güvenlik, servis bakım giderleri, vergi ve diğer giderler yaklaşık 34.000\$ civarında olmaktadır. Toplamda 60.000 \$ olmaktadır.

7.1.6.Proje kapsamında karşılaştırılması yapılacak tek yönlü panel kullanılan güneş enerji santralının maliyet ve genel bilgileri

Proje kapsamında çift yönlü panel kullanılarak kurulumu gerçekleştirilecek güneş enerji santralının enerji üretim, maliyet, amortisman süresi ve kurulum kolaylığı gibi durumların değerlendirilmesi için büyük oranda aynı özellikleri olan kurulum gücü, kurulum alanı, eş ışınlam şiddeti gibi benzer yapısı olan güneş enerji santrali ile karşılaştırılması gerekmektedir. Bu karşılaştırma güneş enerji santralının kurulumu gerçekleştirilmeden yapılması halinde yatırımcıya maliyet ve yatırımın geri dönüşümü hakkında önemli bilgi kaynağı olacaktır. Buradan elde edilen bilgi doğrultusunda yatırımın yapılıp veya yapılmaması hakkında karar alınması daha kolay olacaktır.

7.1.6.1.Güneş enerji santralının kurulumu için yapılan harcama ve hizmetlerin sınıflandırılması

Güneş enerji santrali kurulum ve işletilmesinin yapılabilirlik kapsamında yapılan harcamalar fiziki olanlar ve fiziki olmayanlar olarak ikiye ayrılmış. Proje kapsamında kullanılan fiziki malzemeler, kullanım adetlerinin listesi tablo 7.6’da verilmiştir.

Tablo 7.6. Proje kapsamında kullanılan ekipman adet ve maliyetleri

Ekipman Tanımı	Ekipman Bilgisi	Kullanım Adedi	Ekipman Maliyet Bedeli
Fotovoltaik panel	370 Watt tek yönlü panel	1440 adet	67 dolar adet /panel
İnverter	100 kWatt DC-AC	5 adet	6000\$
Solar kablo	6 mm tek şerit	7690 metre	6536,5 \$
Çelik kontürüksüyon	Galvanizli sıcak daldırma	26 ton	40300 \$
AG kablo alçak gerilim kablosu	5 x 70 mm NYY (bakır ve yer altı)	İnverter pano arası 230 metre özel amaçlı kablo	12853 \$
Gözetim binası	3m x 7m iki oda mutfak ve WC	Bir adet konteyner	2206 \$
Trafo merkezi	2.40m x 7.5m 630kVA harmonik trafo	2.40m x 7.5m beton. bina ve iç trafo üniteleri	70.000 \$
Kontrol ve denetleme	Scada entegrasyon ve gözetleme sistemi	1 adet ve kameralar	2942 \$
Muhtelif malzemeler	İhtiyaç miktarınca	100.000 TL	2942 \$
Topraklama	Tam Set	100.000 TL	2942 \$

Proje kapsamında GES'nin tasarımından kuruluma ve kurulum sonrası işletilmesinin devamı için gerekli olana izinler, mühendislik hizmetleri gibi yapılan işlemler gerçekleştirilmiştir. Projede yapılan bütün fiziki olmayan mühendislik hizmetleri tablo 7.7'de verilmiştir.

Tablo 7.7. Proje kapsamında fiziki olmayan hizmet bedelleri

Hizmetin Adı	Hizmet tanımı	Tamamlama süresi	Hizmet bedeli
Güneş enerji santralinin saha düzenlenmesi	Arazi düzenleme iş makinası ile	10 gün	8824 \$
Saha düzenlenmesi	Harfiye işlemleri	5 gün	5883 \$
Fotovoltaik panellerin çelik konstrüksiyon	Çelik konstrüksiyon Araziye çakılması	10 gün	8824 \$
Saha düzenlenmesi	Tel çit yapılması tüm saha çevresi	10 gün	5882.4 \$
Fotovoltaik panel	Fotovoltaik panel nakliyesi	5 gün	2941.2 \$
İşçilik	Panel kurulum işçilik ve devreye alınması	30 gün	29411.8 \$

Tablo 7.8’de çift yönlü panel için verilen güneş enerji santrali işletim maliyetleri tek yönlü paneller kullanılarak kurulumu gerçekleştirilen GES için de aynı tutarda olmaktadır. Güneş enerji santralinin üretilen enerjinin şebekeye vermesi neticesinde sistem kullanım bedeli meydana gelmektedir. Bu tutar yaklaşık 26.000 \$ dır. Ayrıca güvenlik, servis bakım giderleri, vergi ve diğer giderler yaklaşık 34.000\$ civarında olmaktadır. Toplamda 60.000\$ olmaktadır.

Tablo 7.8.Güneş enerji santralinin yıllık işletim bedelleri ve yapılan hizmetler

İşletmeye Ait İşletim Giderleri	Toplam Bedeli (\$)	TL karşılığı
Sistem Kullanım Bedeli (Dağıtım A.Ş.)	26.000,00	884.000
Güvenlik	20.000,00	680.000
Servis ve Bakım Hizmeti	4.000,00	136.000
Vergi ve Diğer Giderler	10.000,00	340.000
Toplam		2.040.000

Tek yönlü panel kullanılarak kurulumu gerçekleştirilecek santralin muhtelif ekipmanlar kullanılacaktır. Proje kapsamında yapılan güncel ön fiyat analizi tablo 7.9’da verilmiştir.

Güneş enerji santralının maliyeti= Ekipman bedeli + Yapılan hizmetler

Güneş enerji santralının maliyeti = 9.184.761 + 2.100.000 =11.284.761 TL

Tablo 7.9. Tek yönlü fotovoltaik panel kullanılan projenin ekipman bedelleri

Ekipman Tanımı	Kullanım Adedi	Ekipman Maliyet Bedeli	Ekipman Maliyet Bedeli
Fotovoltaik panel	1440 adet	67 dolar adet /panel	96.480 \$
İnverter	5 adet	6000\$	30.000 \$
Solar kablo	7690 metre	6536,5 \$	6536.5\$
Çelik kontürüksüyon	26 ton	1550 dolar /ton	40.300 \$
AG kablo alçak gerilim kablo	İnverter pano arası 230 metre özel amaçlı kablo	437.000 TL	12853 \$
Gözetim binası	Bir adet konteyner	75000 TL	2206 \$
Trafo merkezi	2.40m x 7.5m betonarme bina ve iç trafo üniteleri	2.380.000 TL	70.000 \$
Kontrol ve denetleme	1 adet ve kameralar	100.000 TL	2941.2 \$
Saha düzenlenmesi	10 gün	300.000 TL	8823.5 \$
Toplam Tutar			270.140 \$

8. EKONOMİK HESAPLAMALAR

Çift ve tek yönlü paneller kullanılarak kurulumu gerçekleştirilecek güneş enerji santralini finansal açıdan maliyet hesaplamasının yapılması gerekmektedir. Bu sebeple herhangi bir proje kurulumu gerçekleştirilmeden proje analiz yöntemleri ile karlılığının değerlendirilmesi yapılmaktadır. Bu kapsamda proje değerlendirme yöntemlerinden paranın zaman içerisinde değer değişimini dikkate alan Net Bugünkü Değer yöntemi kullanılacaktır. Ayrıca elde edilen ekonomik veriler ile paranın zaman değerini dikkate almayan geri ödeme süresi gibi diğer proje analizi yöntemleri de uygulanabilmektedir.

Elde edilen bilgiler sonucunda tek yönlü panel ile çift yönlü panel ile güneş enerji santralinin saha bedeli, güneş enerji santralinin ekipmanlarının kurulumu, yapılan bütün hizmetler ve işletim bedelleri tablo 8.1’de verilmiştir. Elde edilen bilgiler ışığında güneş enerji santrallerinin ekonomik analizleri yapılacaktır. Proje değerlendirme metotları kullanılarak yapılacak analiz paranın zaman değerini dikkate alarak incelenecektir. Böylelikle projeler arasında ekonomik değerlendirme yapılabilecek ve hesaplamalar neticesinde hangi projenin kurulumunun ve sonrasında işletilmesinin karlı olduğu sonucuna varılacaktır.

Tablo 8.1. Güneş enerji santrallerinin kurulum ve işletim maliyetleri

	Güneş Enerji Santrali (Tek Yönlü Panel)	Güneş Enerji Santrali (Çift Yönlü Panel)
Ekipman Maliyeti	9.184.761 TL	9.727.481 TL
Yapılan Hizmetler	2.100.000	2.100.000
İşletmeye Ait Giderler	2.040.000	2.040.000

Güneş enerji santrallerinde yıllık elde edilen gelirlerden yıllık işletme gelirleri çıkartılarak yıllık ölçekte nakit akışları belirlenecektir. Belirlenen nakit akışlar ile belirlenen proje değerlendirme yöntemleri uygulanarak projenin veya projelerin ekonomik durumları hakkında daha geniş bilgi edilecektir.

Aktif olarak çalışmakta olan çift yönlü panel kullanılmış güneş enerji santralinden alınmış yıllık yaklaşık gelir bilgileri kullanılarak hesaplamalar yapılacaktır. Güncel elektrik satış bedeli 0.133 \$ kWh olarak alınmıştır. 500 kW kurulu güce sahip tek yönlü ve çift yönlü panel kullanılan güneş enerji santrallerinin gelirleri sırasıyla 1.053.000 kWh ile 1.170.000 kWh olarak elde edilmiştir. güneş enerji santrallerinden elde edilen güncel

verilerden de anlaşıldığı gibi tek yönlü panel ile çift yönlü panel arasında yaklaşık %10'luk enerji üretimi vardır.

Tek yönlü panel kullanılarak kurulan GES'in yıllık geliri şu şekilde olmaktadır:

$$0.133 \times 1.053.000 = 140.049 \$$$

$$140.049 \times 34 = 4.761.666 \text{ TL (Projenin Yıllık TL getirisi)}$$

Projenin yıllık işletim ve bakım-onarım masrafları çıkarıldığında yıllık net nakit akışı bulunacaktır.

$$4.761.666 - 2.040.000 = 2.721.666 \text{ TL (masraflar çıktıktan sonra kalan tutar)}$$

Çift yönlü panel kullanılarak kurulan GES'in yıllık getirisi şu şekilde olmaktadır:

$$0.133 \times 1.170.000 = 155.610 \$$$

$$155.610 \times 34 = 5.290.740 \text{ TL (Projenin Yıllık TL Getirisi)}$$

Projenin yıllık işletim ve bakım-onarım masrafları çıkarıldığında yıllık net nakit akışı bulunacaktır.

$$5.290.740 - 2.040.000 = 3.250.740 \text{ TL (masraflar çıktıktan sonra kalan tutar)}$$

Ekonomik veriler ışığında her iki projenin yıllık getirisi TL cinsinden hesaplanmıştır. Ayrıca hesaplamalar neticesinde elde edilen yıllık gelirden santrallerin işletme giderleri çıkartılıp yıllık net gelir hesaplanmıştır. Projeler 20 yıllık ekonomik ömrü varsayılarak gelirler tablo 8.2'de gösterilmiştir.

Tablo 8.2. Projenin 20 yıllık net nakit akışları

Ekonomik Çalışma Zamanı	GES (Tek yönlü Panel) Proje 1	GES(Çift Yönlü Panel) Proje 2
1.Yıl	2.721.666 TL	3.250.740 TL
2. Yıl	2.721.666 TL	3.250.740 TL
3. Yıl	2.721.666 TL	3.250.740 TL
4. Yıl	2.721.666 TL	3.250.740 TL
5. Yıl	2.721.666 TL	3.250.740 TL
6. Yıl	2.721.666 TL	3.250.740 TL
7. Yıl	2.721.666 TL	3.250.740 TL
8. Yıl	2.721.666 TL	3.250.740 TL
9. Yıl	2.721.666 TL	3.250.740 TL
10. Yıl	2.721.666 TL	3.250.740 TL
11. Yıl	2.721.666 TL	3.250.740 TL
12. Yıl	2.721.666 TL	3.250.740 TL
13. Yıl	2.721.666 TL	3.250.740 TL
14. Yıl	2.721.666 TL	3.250.740 TL
15. Yıl	2.721.666 TL	3.250.740 TL
16. Yıl	2.721.666 TL	3.250.740 TL
17. Yıl	2.721.666 TL	3.250.740 TL
18. Yıl	2.721.666 TL	3.250.740 TL
19. Yıl	2.721.666 TL	3.250.740 TL
20. Yıl	2.721.666 TL	3.250.740 TL

Tablo 8.3. Projelerin NBD yöntemine göre % 20 inskontolu yıllık net nakit akışları

Yıllar	Proje 1	Proje 2
1.Yıl	2.268.055	2.708.950
2. Yıl	1.890.045	2.257.458,3
3. Yıl	1.575.038	1.881.215,2
4. Yıl	1.314.814	1.570.470,7
5. Yıl	1.093.917	1.306.567,5
6. Yıl	911.781,9	1.089.025,1
7. Yıl	759.605,3	907.267,6
8. Yıl	633.092,8	756.161,8
9. Yıl	527.556,8	630.110,4
10. Yıl	439.616,5	525.075,1
11. Yıl	366.307,6	437.515,4
12. Yıl	305.256,3	364.596,2
13. Yıl	254.385	303.835,8
14. Yıl	211.984,2	253.192,6
15. Yıl	176.651,2	210.991,1
16. Yıl	147.212,9	175.829,7
17. Yıl	122.674,9	146.522,1
18. Yıl	102.241,3	122.116,4
19. Yıl	85.193	101.754,1
20. Yıl	70.993	84.793,8
Toplam	13.256.421,7	15.833.449

Tablo 8.3’de proje 1 ve proje 2’nin 20 yıllık çalışma dönemi temel alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar neticesinde proje 1 yirmi yıllık dönem sonunda net bugünkü değer yöntemine göre 13.256.422 TL elde etmiştir. Proje 2’nin ise yirmi yıllık dönem sonunda 15.833.449 TL elde etmiştir.

Herhangi bir proje değerlendirilirken birkaç yöntem kullanılması gerekmektedir. Bu sebeple kurulumu gerçekleşmesi düşünülen proje farklı proje değerlendirme yöntemleri ile detaylı bir şekilde hesaplanıp değerlendirilmesi daha net bir sonuç verecektir. Hesaplama ilk olarak Net Bugünkü Değer (NBD) ile hesaplanmıştır. Daha sonra

değerlendirme NBD yönteminin de kullanıldığı Karlılık Endeksi Yöntemi (KEY) ile de hesaplanmıştır.

Tek yönlü panel kullanılarak kurulumu gerçekleştirilecek güneş enerji santralinin ekipman ve hizmetler aşağıdaki gibidir:

Güneş Enerji Santrali Maliyeti = Ekipman Bedeli + Yapılan hizmetler

$$\begin{aligned}\text{Güneş Enerji Santralinin Maliyeti} &= 9.184.761 + 2.100.000 \\ &= 11.284.761 \text{ TL}\end{aligned}$$

Tek Yönlü Panel NBD Toplamı = 13.256.421,7 TL

Çift yönlü panel kullanılarak kurulumu gerçekleştirilecek güneş enerji santralinin ekipman ve hizmetler aşağıdaki gibidir:

Güneş Enerji Santrali Maliyeti = Ekipman Bedeli + Yapılan hizmetler

$$\text{Güneş enerji santralinin maliyeti} = 9.727.481 + 2.100.000 = 11.827.481 \text{ TL}$$

Çift Yönlü Panel NBD Toplamı = 15.833.449 TL

Burada Karlılık Endeksi Yönteminin hesaplanması için tek yönlü ve çift yönlü panellerle kurulumu gerçekleştirilecek projelerin hesaplama sonucunda NBD'lerinin proje maliyetlerine bölünmesi gerekmektedir.

Tek yönlü panel için karlılık endeksi yöntemi ile hesaplanması:

$$\begin{aligned}\text{Karlılık endeksi} &= \frac{\text{Tek Yönlü Panel NBD}}{\text{Projenin Toplam Maliyeti}} \\ &= \frac{13.256.421,7}{11.284.761} = 1.174\end{aligned}$$

Çift yönlü panel için karlılık endeksi yöntemi ile hesaplanması:

$$\begin{aligned}\text{Karlılık endeksi} &= \frac{\text{Çift Yönlü Panel NBD}}{\text{Projenin Toplam Maliyeti}} \\ &= \frac{15.833.449}{11.827.481} = 1.338\end{aligned}$$

Karlılık endeksi yöntemi ile tek yönlü panel ile kurulumu gerçekleştirilecek projenin hesaplama sonucu 1.174 bulunmuş olup çift yönlü panel ile hesaplama sonucu 1.338 olarak bulunmuştur. Karlılık endeksi yöntemi ile elde edilen sonuç ile çift yönlü panel ile kurulumu gerçekleştirilecek GES daha karlı olduğu sonucuna varılmaktadır.

9. BULGULAR

Literatür incelemelerinden edinilen bilgilere göre ısıtma, soğutma aydınlatma gibi minimum yaşam standartları için, teknolojinin hızla gelişmesi ile fabrikalar ve diğer üretim prosesleri gibi enerjiye olan ihtiyaç gün geçtikçe etkisini göstermektedir. Sanayi devriminden önce ve sonra artan fosil tabanlı yakıt kullanımı atmosfer ve canlı yaşamları üzerindeki olumsuz etkileri gün geçtikçe artmaktadır. Bu olumsuz etkilerin ortadan kalkması için fosil enerji kaynakları yerine daha çevreci ve birçok ülkenin rahatça ulaşabileceği enerji kaynakları olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması ve yaygınlaştırılması gerekmektedir. Güneş yenilenebilir enerji kaynakları içinde en rahat ulaşılabilen ve herhangi bir hareketli parçası olmayan, birçok olumsuz duruma dayanaklı PV panellerle kolayca elektrik enerjisine çevrilebilen yenilenebilir enerji kaynağıdır.

Türkiye jeopolitik konum itibarıyla birçok yenilenebilir enerji kaynaklarına ulaşabilme ve kullanabilme kapasitesine sahip ender ülkelerden biridir. Yapılan incelemelerde Türkiye'nin yıllık güneşlenme süresi 2700 saat civarında olup, önemli bir potansiyel kapasitesine sahiptir.

Güneş ışığından elektrik üretimi, “fotovoltaik hücre” adı verilen enerji üretim birimlerinin bir araya getirilmesiyle oluşan fotovoltaik panellerle sağlanmaktadır. Bu panellerin çeşitli tasarım ve konfigürasyonlarla bir araya getirilmesi sonucunda ise büyük ölçekli enerji üretim tesisleri kurulabilmektedir. Fotovoltaik panellerden elde edilen enerjisini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Güneşlenme, nem gibi meteorolojik etkenlerin yanı sıra panel yüzeyini etkileyen toz, kir, yüzey sıcaklığı gibi birçok faktör bunlar arasında sayılabilir. Panel performansını arttırmak için bu alanlarda alınabilecek önlemlerle ilgili birçok literatür çalışması mevcuttur.

Fotovoltaik panellerin enerji üretim performansını arttırmak için son dönemde geliştirilen önemli fikirlerden biri, geleneksel olarak panele doğrudan gelen güneş ışınlarından yararlanmanın ötesine geçerek, güneş ışığının değdiği yüzeyden -yüzeyin türüne göre değişen-çeşitli oranlarda geri yansıyan ışının da enerjiye dönüştürülmesini sağlayan çift yönlü (bifacial) panel teknolojisidir. Çift yönlü panellerin tek yönlü panellere göre sağladığı enerji artışı yüzeye göre farklılık göstermekle birlikte artış oranı %30'un üzerine çıkmamaktadır. Ancak bu artış kurulum maliyetlerine kıyaslandığında avantajlı olduğundan çift yönlü panellerin kullanımı giderek artmaktadır.

Türkiye'nin güneş ışınlam açısından zengin olan güney bölgeleri PV ile GES kurulumuna en elverişli bölgeler arasındadır. Elazığ ilde konum itibariyle bu bölge içindedir. Bu sebeple enerji üretim kapasitesi literatüre göre de yüksek olan çift yönlü PV panel ile daha yüksek verim elde etmek mümkündür.

Proje değerlendirme yöntemleri ile yapılan incelemeler ve hesaplamalar sonucunda tek yönlü paneli elverişli olan elektrik enerjisi üretimi çift yönlü panel ile daha karlı olup projeye yatırım maliyetlerini daha kısa zamanda geri alınmasına ve daha yüksek karlar edilmesine olanak tanıyacaktır.



10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günlük hayat ihtiyaçlarımız genelinde kullanılan elektrik enerjisinin çevreye zararsız yenilenebilir enerji sistemleri ile üretilip kullanılması ülkeler için büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple güneş enerji santralleri günümüzde elektrik üretiminde sıkça kullanılan uygulamalardan olmuştur. Herhangi bir projenin kurulup kurulmamasında proje değerlendirme yöntemleri kullanılarak bir veya birkaç projenin yaklaşık karlılıkları ve değerlendirilmesi yapılabilinmektedir.

Bu tez çalışmasında aktif olarak çalışmakta olan iki güneş enerji santrallerinde alınan bilgiler doğrultusunda proje değerlendirme yöntemlerinde net bugünkü değer yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Proje 1 (Tek yönlü panel kullanıldığı GES) toplam yatırım maliyeti 9.184.761 TL (500 kWh için) olmaktadır. Proje 2 (Çift yönlü panel kullanıldığı GES) toplam yatırım maliyeti 9.727.481 TL (500 kWh için) olmaktadır.

Net bugünkü değer yöntemi % 20 iskonto kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar neticesinde proje 1'in 6. çalışma yılının sonunda 9.053.651 TL kazanç sağlayarak proje maliyetine yaklaşmıştır (Proje 1 yatırım maliyeti : 9.184.761 TL). Proje 2'nin net bugünkü değer yöntemi kullanılarak 5. Yılın sonunda 9.724.662 TL gelir elde etmiş olup proje maliyetine (Proje maliyeti : 9.727.481 TL) çok yaklaşmıştır.

Proje 1 için :

20 Yıllık Gelir - Proje kurulum maliyeti = NBD sonucu

$$13.256.422 - 9.184.761 = 4.071.661 \text{ TL}$$

Proje 2 için :

20 Yıllık Gelir - Proje kurulum maliyeti = NBD sonucu

$$15.833.449 - 9.727.481 = 6.105.968 \text{ TL}$$

Proje değerlendirme yöntemlerinden Net Bugünkü Değer yöntemi kullanılarak iki proje değerlendirilmiştir. Değerlendirme neticesinde tek yönlü panel kullanılarak kurulan GES'in yirmi yıllık zaman sonucunda 4.071.661 TL getirisi olmuştur. Diğer proje olan çift yönlü panel ile kurulumu gerçekleştirilen GES'in yirmi yıllık zaman diliminde proje maliyeti çıkarıldığında 6.105.968 TL olmuştur.

Ayrıca kurulumu düşünülen GES'in malzeme secimi veya tek yada çift yönlü panel kullanılarak kurulumun gerçekleştirilmesi için projelerin değerlendirmesi gerekmektedir. Sonuç olarak çift yönlü panel kullanılarak kurulan güneş enerji santralinin geri ödeme süresi yöntemi ile de değerlendirildiğinde diğer panel ile kurulan santrale nispeten yüksek

enerji üretim kapasitesinden dolayı bir yıl daha erken proje maliyetini karşılamaktadır. Ayrıca paranın zaman içinde değer değişimini dikkate alan proje değerlendirme yöntemi olan NBD yöntemine göre de proje 2 daha kurulumu uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Karlılık endeksi yöntemi ile tek yönlü panel ile kurulumu gerçekleştirilecek projenin hesaplama sonucu 1.174 bulunmuş olup çift yönlü panel ile hesaplama sonucu 1.338 olarak bulunmuştur. Karlılık endeksi yöntemi ile elde edilen sonuç ile çift yönlü panel ile kurulumu gerçekleştirilecek GES daha karlı olduğu sonucuna varılmaktadır.

Sonuç olarak herhangi bir bölgede PV panel ile GES kurulumu düşünülüyor ise literatür, kurulumu gerçekleştirilmiş GES'nin çıkış verileri ve proje değerlendirme yöntemleri ile sonuçlar değerlendirildiğinde çift yönlü paneller bu gibi projelerde kullanımı hem projeye yatırımı yapılan maddi kaynağın en kısa zamanda geri alınmasına hem de daha çok kar elde edilmesine sebebiyet verecektir.

11. KAYNAKLAR

- Alam M., Gul M.S., Muner T.,** 2023. Performance analysis and comparison between bifacial and monofacial solar photovoltaic at various ground albedo conditions. *Renewable Energy Focus*, Volume 44, pages 295-316.
- Al-Hamamre, Z., Saidan, M. Hararah, M., Rawajfeh, K., Alkhsawneh, E. H., Al-shannag, M.,** 2017. Wastes and biomass materials as sustainable-renewable energy Resources for Jordan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 67 pages: 295-314.
- Arhan İ., Bilgin M. Z., (2022).** Yenilenebilir Sistemlerde Maksimum Güç Noktası Takibi ve Enerji Yönetimiyle Enerji Verimliliği. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 5 (1): 75-91.
<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1783093>
- Balçık, B.** (2003). *Yatırım Projelerinin Hazırlanması ve Değerlendirilmesi*. Konya: Nobel Yayın Dağıtım.
- Basu, S., John., A., Akshay, Kumar, A.,** 2021. Design and Feasibility Analysis of Hydrogen Based Hybrid Energy System: A case study. *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 46 page 34574-34586.
- Baray, D.,** 1990. Sanayi İşletmelerinde Yatırım Politikası. Anadolu Üniversitesi Eğitim Bilim Araştırma Vakfı, Eskişehir.
- BOEHLJE, M., & EHMKE, C.,** (2005). Capital Investment Analysis and Project Assessment. *New Ventures*(731), 1-11.
<https://www.extension.purdue.edu/extmedia/ec/ec-731.pdf>
- Bayyığıt A., Çinici O.K., Acır A.,(2023).** Tek Yüzeyli ve Çift Yüzeyli Fotovoltaik Panellerin Performans Analizi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Dergisi*, part C, 11(2) : 407-420.
<https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/3146628>

Ceylan A., (2003).İşletmelerde Finansal Yönetim, Bursa, Ekin yayınları.

Çamurcu H. (2005). Dünya Nüfus artışı ve Getirdiği Sorunlar. Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi. Volume : 8 issue 13. 87-105.

<https://dergipark.org.tr/en/pub/baunsobed/issue/50339/651864>

Dinçer, F., 2011. Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Potansiyeli - Ekonomik Analizi ve AB Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Değerlendirme. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(1).

Erkul, A. 2010. Monokristal, Polikristal ve Amorf-Silisyum güneş panellerinin verimliliğinin incelenmesi ve aydınlatma sistemi uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Esteban, D.M., Diez, J.J., Lopez, J.S., Negro, V., 2011. Why offshore wind energy?. *Renewable Energy*, Volume 36, pages 444-450.

Foster, R., Ghassemi, M., Cota, A., 2010. Solar Energy Renewable Energy and the Environment, Boca Raton, page no :4.

Goldemberg, J., Coelho, S.T., 2004. Renewable Energy Traditional Biomass vs. Modern Biomass. *Energy Policy* Volume 32 pages: 711-714.

Hafeznia H., Aslani A., Anwar S., Yousefjamali M., 2017. Analysis of the effectiveness of national renewable energy policies: A case of photovoltaic policies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 79, pages 669-680.

Isıker, Y., Yesilata B., Bulut H., 2006. Fotovoltaik Panel Gücüne Etki Eden Çalışma Parametrelerinin Araştırılması. *UGHEK’2006: I. ULUSAL GÜNES VE Hidrojen Enerjisi Kongresi*, 21-23 Haziran 2006, ESOGÜ, Eskişehir.

- İşcan, S., Ersanlı, C.C.,** 2016. Fotovoltaik Güneş Paneli Destekli Batarya Şarj ve Led Aydınlatma Sistemi Uygulaması. *5th International Vocational Schools Symposium. UMSOY*, 18-20 May, Kosova.
- Ji, J., Lu, J.P., Chow, T.T., He, W., Pei, G.,** 2007. A sensitivity study of a hybrid photovoltaic/thermal water-heating system with natural circulation. *Applied Energy*, Volume 84, issue 2, pages:222-237.
- Kaldellis, J.K., Kokala, A.** 2010. Quantifying the decrease of the photovoltaic panels' energy yield due to phenomena of natural air pollution disposal. *Energy*, Volume 35, issue12, pages 4862-4869.
- Karayılmazlar E., İşler İ.,** (2019). Kamu Yatırım Projelerinde Fayda Maliyet Analizi. Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, sayı: 35, sayfa: 65-82.
<https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/702718>
- Kaya, K., Şenel M., C., Koç E.,** 2018. Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi, *Technological Applied Sciences (NWSATAS)*, 13 (3):219-234. DOI:10.12739/NWSA.2018.13.3.2A0152.
- Kerem A., Atik, M., Bayram, A.,** 2020. Fotovoltaik (PV) Panel Sisteminde Yüzey Soğutma İşleminin Elektrik Üretimine Etkisinin Deneysel İncelenmesi. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, Cilt:12, sayı 2, sayfa: 565-578.
- Koç A., Yağlı H., Koç Y., Uğurlu İ.,** (2018). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi. *Mühendislik ve Makina*, Cilt no: 59, sayı: 692, sayfa 86-114.
<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/798533>
- Köse, H., ve Kahraman, B.,** (2014). Maden İşletme Ekonomisi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir.

- Kılıç, F. Ç.** 2015. Güneş Enerjisi, Türkiye’deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri, *Mühendis ve Makina*, Cilt 56, sayı 671, s. 28-40.
- Kuwahata. R, Monroy. C. R.,** 2011. Market stimulation of renewable-based power generation in Australia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 15, pages 534–543.
- Küpelı A Ö** 2005. Güneş pilleri ve verimleri. *Yüksek Lisans Tezi*, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Madariaga A., Alegria I.M., Martin J.L., Eguia P., Ceballos S.,** 2012. Current facts about offshore wind farms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume 16, pages 3105-3116.
- Masters, G.M.,** 2004. Renewable and Efficient Electric Power Systems. Hoboken, New Jersey, page 467.
- Okka O., (2009).** Analitik Finansman Yönetim, Ankara, Nobel Yayın Dağıtım.
- Özcan, S.,ve Saçlı, C.,** (2009). Elbise Dolabı Üretimi İçin Yatırım Alternatiflerinin Seçilmesi Ve Mobilya Sektöründe Bir Uygulama. *Selçuk Üniversitesi İktisaid ve İdari Bilimler Fakültesi Sosyal Ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*(18), 251-272.
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/susead/issue/28417/302557>
- Öztürk, H.H.,** 2014. Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmenler. Elektrik Mühendisleri Odası,
https://www.emo.org.tr/ekler/3a921ffad054cb0_ek.pdf. 18 Ağustos 2023
- Öztürk, Z., Top, M., & Pehlevan, O.,**(2015). Sağlık Sektöründe Yatırım Projelerinin Değerlendirilmesi. *Uluslararası Sağlık Yönetimi Ve Stratejileri Araştırma dergisi*, 1(2), 18-38.
- Patel, M.R.** 1999. Wind and Solar Power Systems, Boca Raton, page no : 7

- Patel M.T., Ahmed, M.S., Imran, H., Butt Z.N., Khan, M.R.,** 2021. Global analysis of next- generation utility-scale PV: Tracking bifacial solar farms. *Applied Energy*, Volume 290, 116478.
- Perveen R., Kishor N., Mohanty S.R.,** 2014. Off-shore wind farm development : Present status and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 29, page 780- 792.
- Peng J., Lu L., Yang H.,** 2013. Review on life cycle assessment of Energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 19, pages 255-274.
- Razongles G., Sicot L., Joanny M., Gerritsen E., Lefillastre P., Schroder S., Lay P.,** 2016. Bifacial photovoltaic modules: measurement challenges. *Energy Procedia*, Volume 92, pages 188-198
- Solangi, K.H., Islam, M.R., Saidur, R., Rahim, N.A., Fyaz, H.,** 2011. A Review on Global Solar Energy Policy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 15 page 2149-2163.
- Tekbaş, Ş., Köse, A., Sarıkovalık, V., Sarıoğlu, S. E., Kalfa Baş, N., ve Özdemir, A. K.** (2014). Temel Finans Matematiği ve Değerleme Yöntemleri. İstanbul: Sermaye Piyasası Lisanslama Sicil ve Eğitim Kuruluşu A.Ş.
- Thellufsen, J.,Z., Lund, H., Sorknaea, P., Ostergaard, P.A., Chang, M., Drysdale, D., Neilsen, S., Djorup, S.R., Sperling, K.,** 2020. Smart Energy Cities in a 100% Renewable Energy Context, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 129, 109922.
- Yıldırım, H.H., Aksu, M.,** (2021). Rüzgar ve Güneş Enerjisi Santral Yatırımlarının Ekonomik Performanslarının Değerlendirilmesi, *Journal of International Banking Economy and Management Studies*, volume 4, Issue 1.

Yılğör, A. G., ve Yücel, E., (2008). Sermaye Bütçelemesi Kararları: Mersin Ve Adana İllerinde Bir Uygulama. *Ç.Ü Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 17(2), 449-464.

Yılmaz E.A., Öziç H.C., 2018. Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli ve Gelecek Hedefleri. *Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, 8(3), 525-535.

Yılmaz S.M., Tur M.R., Ozhan D., (2023). Meeting the Charging Station Energy Needs Using Hybrid Energy Systems at Batman University West Raman Campus: Technical and Economic Analysis, *JOURNAL OF SCIENCE, TECHNOLOGY AND ENGINEERING RESEARCH*, 4(2) : 100-111.
<https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/3330619>

Yiğit, F., ve Kabul, A. (2014). Isparta Yöresinde Bir Evin Elektrik İhtiyacının Rüzgar Enerjisi İle Karşılanmasının Ekonomik Analizi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 11(2), 1-9.

Yusufoglu U.A., Lee T.H., Pletzer M.T., Halm A., Koduvelikulathu L.J., Comparotto C., Kopecek R., Kurz H., 2014. Simulation of 102nergy production by bifacial modules with revision of ground reflection. *Energy Procedia*, Volume 55, page 389-395.

Zarei, A., Liravi, M., Rabiee, M.B., Ghodrat, M. 2020. A Novel, Eco-friently combined solar cooling and heating system, powered by hybrid photovoltaic thermal (PVT) collector for domestic application. *Energy Conversion and Management*, Volume 222, Issue 15, pages: 113198.

Zini, G., Tartarini, P., 2012. *Solar Hydrogen Energy Systems*, Milano, page14.

Waldau A. J., 2007. Photovoltaics and renewable energies in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 11, pages 1414-1437.

Wrobel, M., Jewiarz, M., Szlek, A., 2018. *Renewable Energy Sources: Engineering, Technology, Innovation*, Switzerland, page 18.

URL-1, 2024. <https://solargis.com/>. Avrupa güneş enerji potansiyeli. 10 Eylül 2024

URL-2, 2024. <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/>. Türkiye güneş enerji atlası. 10 Ekim 2024.

URL- 3, 2024.[https://www.muhasibetr.com/yazarlarimiz/said/006/Sermaye bütçelemesi](https://www.muhasibetr.com/yazarlarimiz/said/006/Sermaye_butcelemesi). 11 Aralık 2024.

URL- 4, 2025. <https://www.harita.gov.tr/urun/elazig-fiziki-il-haritasi/414> Elazığ ili fiziki haritası.20 Mart 2025.

URL- 5, 2025.<https://www.kablopiyasa.com/arama/al%C3%A7ak%20gerilim%20enerji%20kablosu>
Alçak gerilim enerji kablosu. 10 Ocak 2025.