



**İSKENDERUN TEKNİK**

ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

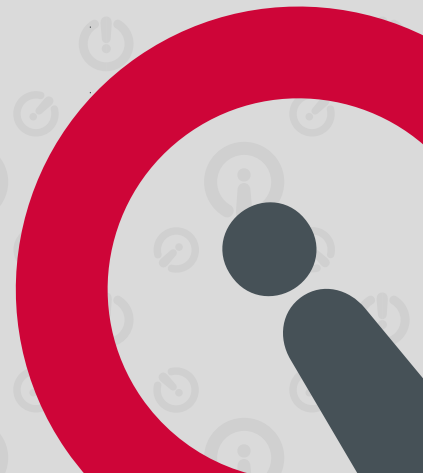
**YÜKSEK  
LİSANS  
TEZİ**

**200 KW'LIK PV GÜNEŞ  
ENERJİ GÜÇ SİSTEMİNİN  
RETSCREEN PROGRAMI  
KULLANILARAK AMORTİSMAN  
VE ENERJİ ANALİZLERİNİN  
İRDELENMESİ**

**Ahmet Can İZMİRLİ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI**

**OCAK 2022**





**200 KW'LIK PV GÜNEŞ ENERJİ GÜÇ SİSTEMİNİN RETSCREEN  
PROGRAMI KULLANILARAK AMORTİSMAN VE ENERJİ  
ANALİZLERİNİN İRDELENMESİ**

**Ahmet Can İZMİRLİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2022**

200 KW'LIK PV GÜNEŞ ENERJİ GÜÇ SİSTEMİNİN RETSCREEN PROGRAMI  
KULLANILARAK AMORTİSMAN VE ENERJİ ANALİZLERİNİN İRDELENMESİ  
(Yüksek Lisans Tezi)

Ahmet Can İZMİRLİ

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Ocak 2022

ÖZET

Güneş ışınlarından elektrik enerjisi üretimi başlangıçta kendine her ne kadar uzay boşluğunda çalışan uzay araçlarında kullanım alanı bulduysa da günümüzde üretim teknolojilerinin ilerlemesi, fosil yakıtların olumsuz etkileri ve rezervlerinin tükenmekte olması gibi nedenlerle güneşten elektrik üretimine evlerde dahi yer verilmektedir. Çevreci olduğu kadar devlet teşvikleriyle ekonomik olarak da cazip hale gelen güneş enerji santralleri her geçen gün elektrik enerjisi sektöründeki payını arttırmaktadır.

Fotovoltaik panel teknolojilerindeki gelişmeler neticesinde günümüzde panellerin verimlilikleri %20'yi, verimli kullanım ömürleri ise 25 seneyi aşmaktadır. Bu olumlu etkenler güneş enerji sistemlerini her geçen gün daha cazip hale getirmektedir. Özellikle güneşlenme süreleri uzun, güneş radyasyonu ortalamanın üzerinde olan bölgeler için güneş enerji santralleri kârlı birer yatırım haline gelmeye başlamıştır.

Bir güneş enerjisi santralının İskenderun'da yerleşik olarak düşünülen bir AVM çatısında kurulduğu varsayılarak, amortisman ve enerji analizleri Retscreen programı kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen karbon ayak izi ve fizibilite verileri incelenerek, yatırım çevresel ve ekonomik olarak incelenmiştir.

Bu tez çalışmasında günde ortalama 4,73 kWh/m<sup>2</sup> güneş ışınımına maruz kalan bir alana kurulu 200 kW kapasiteli güneş santralının yıllık 263 MWh elektrik ürettiği; bu 263 MWh enerji sayesinde 31 536 USD gelir sağlanabileceği hesaplanmıştır. Yatırım çevresel açıdan incelendiğinde 112,2 ton akaryakıt kullanımına eşdeğer 282 tCO<sub>2</sub> emisyonunun önlenebileceği, ekonomik açıdan incelendiğinde yatırımın geri ödeme süresinin (PBP) 6,4 yıl olarak hesaplandığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Güneş Enerjisi, Retscreen, Amortisman ve Enerji Analizi  
Sayfa Adedi : 46  
Danışman : Doç. Dr. Hüseyin Turan ARAT

EXAMINATION OF DEPRECIATION AND ENERGY ANALYSIS OF 200 KW PV  
SOLAR POWER SYSTEM USING RETSCREEN PROGRAM  
(M.Sc. Thesis)

Ahmet Can İZMİRLİ

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY  
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

January 2022

ABSTRACT

Although the production of electrical energy from the sun's rays was initially used in spacecraft operating in outer space, today, due to the advancement of production technologies, the negative effects of fossil fuels, and the depletion of reserves, solar electricity production is included even in homes. Solar power plants, which have become economically attractive with government incentives as well as environmentally friendly, are increasing their share in the electric power sector every day.

As a result of the developments in photovoltaic panel technologies, the efficiency of panels today exceeds 20% and their efficient service life exceeds 25 years. These positive factors make solar energy systems more attractive every day. Especially for regions with long periods of sunbathing and above-average solar radiation, solar power plants have become profitable investments.

Assuming that a solar power plant was installed on the roof of a shopping mall that is considered to be located in Iskenderun, depreciation and energy analyses were performed using the Retscreen program. By examining the carbon footprint and feasibility data obtained, the investment was examined environmentally and economically.

In this thesis study, it was calculated that a 200 kW capacity solar power plant installed in an area exposed to an average of 4.73 kWh/m<sup>2</sup> of solar radiation per day generates 263 MWh of electricity annually; thanks to this 263 MWh of energy, an income of 31 536 USD can be provided. When the investment was examined from an environmental point of view, it was observed that 282 tCO<sub>2</sub> emissions equivalent to the use of 112.2 tons of fuel oil could be prevented, and when examined from an economic point of view, the payback period (PBP) of the investment was calculated as 6.4 years.

Key Words : Solar Energy, Retscreen, Depreciation and Energy Analysis  
Page Number : 46  
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Hüseyin Turan ARAT

## TEŞEKKÜR

Lisans eğitimimin başlangıcından yüksek lisans eğitimimi tamamlayana dek ilgi ve sabırla bana bilgi ve tecrübelerini aktaran, yoğun programında özveri ile bana vakit ayıran, tezimin içeriğinden hazırlanmasına kadar yol gösterip değerli tavsiyelerini benden esirgemeyen tez danışmanım Doç. Dr. Hüseyin Turan ARAT hocama teşekkür ederim.

Tez çalışmama kıymetli vakitlerini ayırarak katkıda bulunan jüri üyeleri; Doç. Dr. Hüseyin YAĞLI ve Dr. Öğr. Üyesi Bahattin TANÇ'a teşekkürlerimi sunuyorum.

RETSscreen yazılımını ücretsiz olarak kullanıma açan Kanada hükümetine, yazılımın geliştirilmesinden ve bakımından sorumlu CanmetENERGY araştırma merkezi çalışanlarına şükranlarımı sunuyorum. Ayrıca yardımlarından ötürü can dostum İbrahim Alper ARI'ya teşekkür ediyorum.

Son olarak tez çalışmam süresince desteği ve sonsuz sabrı ile yanımda olan can yoldaşım Öykü Sude YILDIZ'a minnettarım.

Bu tez çalışmasının ülkemiz ve bölgemiz güneş enerjisi çalışmalarına katkı sağlamasını dilerim.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	11
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	15
3.1. Fotovoltaik Güneş Enerji Santrali Elemanları.....	15
3.1.1. Fotovoltaik Panel (Güneş Pili).....	16
<u>Monokristal Paneller</u> .....	19
<u>Polikristal Paneller</u> .....	20
<u>İnce Film Paneller</u> .....	21
3.1.2. İnvörtör (Evirici) .....	22
3.1.3. Akü.....	23
3.1.4. Akü Şarj Regülatörü .....	23
3.2. Retscreen Expert Yazılımı .....	24
3.2.1. Dosya Menüsü.....	27
3.2.2. Yer Menüsü.....	27
3.2.3. Tesis Menüsü.....	27
3.2.4. Enerji Menüsü .....	27
3.2.5. Maliyet Menüsü.....	27
3.2.6. Emisyon Menüsü .....	27
3.2.7. Finansman Menüsü.....	28
3.2.8. Risk Menüsü.....	28
3.2.9. Veriler Menüsü.....	28

	viii
3.2.10. Analiz Menüsü .....	28
3.2.11. Rapor Menüsü .....	28
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	29
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	38
KAYNAKLAR.....	40
DİZİN.....	47



## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Yıllar Bazında ve Projeksiyonlara Göre Güneş Enerjisi Üretimi.....	5
Şekil 1.2. 2020 yılı itibari ile PV kurulu gücü en büyük 5 ülke .....	5
Şekil 1.3. Dünya güneş enerjisi potansiyeli haritası .....	6
Şekil 1.4. Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli Haritası .....	6
Şekil 1.5. Türkiye’de Toplam Kurulu Güneş Enerji Kapasitesi .....	7
Şekil 1.6. Hatay İli Güneş Enerji Potansiyeli Haritası.....	8
Şekil 1.7. Enlem Açısı .....	9
Şekil 1.8. Zenit Açısı .....	9
Şekil 1.9. Azimut Açısı.....	10
Şekil 1.10. Pironometre.....	10
Şekil 3.1. Güneş Enerji Santrali Elemanları .....	15
Şekil 3.2. Fotovoltaik Hücre Yapısı.....	17
Şekil 3.3. Temel Fotovoltaik Panel Türleri.....	18
Şekil 3.4. Fotovoltaik Panel Katmanları .....	18
Şekil 3.5. Monokristal Panel Üretim Yöntemi.....	19
Şekil 3.6. Polikristal Panel ve Monokristal Panel.....	21
Şekil 3.7. İnce Film Panel Çatı Uygulaması .....	22
Şekil 3.8. Retscreen Expert Yazılımı Arayüzü .....	26
Şekil 4.1. Fotovoltaik Panel Performans Grafikleri.....	29
Şekil 4.2. İskenderun İlçesi İklim Verileri.....	30
Şekil 4.3. Elektrik Üretim Yöntemlerinin Maliyet Karşılaştırması. ....	31
Şekil 4.4. Örnek Tesiste Üretilen Elektrik ve Elde Edilen Yıllık Gelir .....	32



<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.5. Güneş ile Kömür Kaynaklı Elektrik Üretimi Seragazı Karşılaştırması .....	33
Şekil 4.6. Tasarruf Edilen Yakıt Tüketim Miktarı .....	33
Şekil 4.7. GES Yatırımının Finansal Analizi .....	34
Şekil 4.8. Yıllık Nakit Akışı Grafiği .....	35
Şekil 4.9. Duyarlılık Analizi .....	36
Şekil 4.10. Risk Analizi .....	37



## SİMGELER VE KISALTMALAR

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

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklamalar</b>
$\theta_z$	Zenit açısı
\$	Amerikan Doları
$\emptyset$	Enlem Açısı
B	Eğim Açısı
cm	Santimetre
cm <sup>2</sup>	Santimetre Kare
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
GW	Gigawatt
GWh	Gigawatt Saat
H	Hidrojen
He	Helyum
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt Saat
m	Metre
m <sup>2</sup>	Metre Kare
mm	Milimetre
MW	Megawatt
MWh	Megawatt Saat
°C	Santigrat Derece
Pa	Pascal
s	Saniye
TW	Terawatt
TWh	Terawatt Saat
W	Watt

**Kısaltmalar****Açıklamalar**

AA	Alternatif Akım
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AM	Hava Kütlesi
AGM	Emdirilmiş Cam Elyaf Akü
ANFIS	Nöro-Bulanık Çıkarım Sistemi
AVM	Alışveriş Merkezi
BCR	Fayda Maliyet Oranı
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
DA	Doğru Akım
EFB	Döngü Sayısı Yükseltilmiş Akü
GA-ANFIS	Genetik Algoritma Tabanlı ANFIS
GDALRNN	Uyarlanabilir Öğrenme Hızı Sinir Ağı
GES	Güneş Enerji Santrali
HRES	Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemleri
IEA	Uluslararası Enerji Ajansı
IRENA	Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı
IRR	İç Karlılık Oranı
MBE	Ortalama Sapma Hatası
MPPT	Maksimum Güç Noktası Takipli
NASA	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NMBE	Normalleştirilmiş Ortalama Sapma Hatası
NPV	Net Bugünkü Değer
PBP	Amortisman Süresi
PSO-ANFIS	Parçacık Sürüsü Optimizasyonu Tabanlı ANFIS
PV	Fotovoltaik
PWM	Sinyal Genişlik Modülasyonu
RBNN	Esnek Geri Yayılım Sinir Ağı
RMSE	Ortalama Karekök Hatası
RO	Ters Ozmos
USD	Amerikan Doları
VRLA	Supap Ayarlı Kurşun Asit Akü

## 1. GİRİŞ

Güneş; yapı itibari ile H ve He gazlarını barındıran bir yıldızdır. Bünyesinde gerçekleşen reaksiyonlar sonucu ücretsiz yenilenebilir enerji üreten bir ısı ve ışık kaynağıdır. Yüzeyi 6000 °C sıcaklığında radyasyon kaynağıdır. Merkezinde ise bu sıcaklık 20 milyon °C'ye erişebilir. Bu yüksek sıcaklık nedeniyle güneşte elektronlar çekirdeklerine ayrılır. Güneşte atom ya da molekül yerine elektron ve atom çekirdekleri bulunmasının nedeni budur. Güneşteki bu yapıya plazma adı verilir. Güneş enerjisinin neredeyse tamamı 4 hidrojen çekirdeğinin helyum çekirdeğine dönüşmesi sayesinde meydana gelir. Ortaya çıkan He miktarı tüketilen H miktarından daha azdır ( $4H \rightarrow 1He$ ). Güneşten yayılan ışınlar halinde çıkan enerji bu tepkimede oluşan farktan kaynaklanmaktadır. Dünya kendi çevresinde döndüğü gibi, güneşin de etrafında eliptik bir yörüngeyi takip eder. Gece ve gündüz kendi etrafında dönmesiyle, mevsimler ise güneş etrafında dönmesiyle meydana gelir. Bu hareketler günün belli saatlerinde ya da belli mevsimlerde farklı iklim koşullarının oluşmasının da altında yatan ana sebeptir [1].

Gerek geleneksel enerji kaynakları gerekse diğer temiz enerji kaynaklarına kıyasla güneş daha çevreci bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi kullanmak küresel ısınmaya sebebi olan karbondioksit ve diğer sera gazlarından hiçbirini üretmez. Güneş ışınları dünyanın oluşumundan beri yeryüzündeki tüm biyolojik yaşam formları için ana enerji kaynağı olması nedeniyle doğrudan veya dolaylı olarak canlıların yaşamak için gereksinim duydukları enerjiyi sağlamaktadır. Bu avantajları yüzünden güneş enerjisinden faydalanmak insanoğlunun hep hayatının bir parçası olmuş, bu yönde sürekli araştırmalar ve çalışmalar gerçekleştirmiştir [2].

Güneşten dünyamıza ulaşan enerji miktarı, dünyanın bir yılda tükettiği enerji miktarının tam 20 bin katıdır. Bu enerjinin tümü yeryüzüne ulaşmaz. Dünyamızı çevreleyen atmosfer tarafından üçte birine yakın kısmı geri yansıtılır. %20'lik bölümü atmosfer ve bulutlar tarafından tutulur. Dünya yüzeyine güneş ışınımının sadece yarısı ulaşır. Yeryüzüne ulaşan bu enerji sayesinde sıcaklık yükselir. Okyanustaki dalgaların ve rüzgârın da nedeni bu sıcaklık değişimleridir. Bitkilerin fotosentez için kullandığı güneş enerji miktarı da yeryüzüne ulaşan miktarın sadece %1'i kadardır. Güneş ışığı yardımıyla bitkiler fotosentez ile karbondioksit ve su kullanarak şeker ve oksijen üretirler. Bu sayede yeryüzünde bitkilere

bağlı yaşam gelişimi için elverişli ortam meydana gelir. Nükleer enerji ihmal edilirse, güneş enerjisi bütün enerjilerin doğrudan ya da dolaylı kaynağıdır.

Güneş enerjisi ışınarak yayılır. Güneşten yayılan bu ışınım gezegenimize 8 dakikada ulaşır. Dünyada 1 yılda tükettiğimiz toplam enerji, sadece 40 dakikalık güneşten alınan enerji miktarı ile karşılanabilir. Bu nedenledir ki güneş enerjisi ihmal edilemeyecek kadar önemli ve büyük bir enerji kaynağıdır.

Yeryüzüne ulaşan güneş ışınımı doğrudan ve dolaylı olarak ikiye ayrılır. Güneş ışınları direkt yeryüzüne ulaşıyorsa bu doğrudan ışınımır. Belirli bir yöne ve doğrultuya sahip olmayan ışınım türüne ise dolaylı ışınım denir. Güneş ışınları atmosfere girdikten sonra yeryüzüne ulaşana kadar içinden geçtiği hava kütesinin yapısına bağlı bir miktarda soğurur. Hava içerisinde bulunan su ve tuz gibi moleküller bu soğurulan ışınımı saçarlar. Bu da dolaylı ışınımı oluşturur [3].

Zaman içinde artan enerji ihtiyacımızı karşılamak için kullandığımız geleneksel yöntemlerin olumsuz etkileri doğa üzerinde tahribatlara yol açmış, bu etkileri en aza indirmek için sürdürülebilir ve temiz yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek kaçınılmaz hale gelmeye başlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen fotovoltaik paneller kullanarak güneş ışınlarından elektrik enerjisi üretimi, fosil yakıtların çevresel olumsuz etkilerinin azaltılmasında önemli adımlardan biridir. Bu adım sayesinde elektrik üretiminde fotovoltaik panel kullanımı, enerji üretimindeki karbon ayak izini minimize edecek ve yüzleşmekte olunan küresel ısınma probleminin büyümesini engelleyici faktörlerden biri olma rolü üstlenecektir. Ayrıca fotovoltaik paneller üzerine yürütülen çalışmalar neticesinde panellerin verimlilikleri ve verimli kullanım ömürleri her geçen gün artmakta, dolayısı ile güneş enerji santrali yatırımlarının amortisman süreleri de kısalmaktadır.

Enerjiye duyulan ihtiyaç gezegenimizde yıllık %4-5 oranında artarken, fosil yakıt kaynakları hızla tükenmektedir [4]. Ayrıca, fosil yakıtlarla enerji üretimi çevre üzerinde her geçen gün artan olumsuz etkiye sahiptir. Bu olumsuz etkilerle birlikte fosil yakıt rezervlerinin de hızla tükeniyor olmasından dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş kaçınılmaz olmaya başlamıştır [5].

1970'lerden sonra güneş enerjisinden faydalanma çalışmaları hız kazanmış, bu çalışmalar neticesinde elde edilen gelişmeler sayesinde güneş enerjisi kullanımında büyük yol kat edilmiş ve güneş enerjisi kullanımı hızla yaygınlaşmaya başlamıştır.

Karbon ayak izini küçültmek için pek çok ülke çeşitli stratejik önlemler ve eylem planları oluşturmuştur. İklim değişikliği başlığı altında, 12 Aralık 2015'te Paris'te düzenlenen 21. Taraflar Konferansında, Paris Anlaşması birkaç ülke tarafından kabul edilmiştir [6]. Türkiye de 7 Ekim 2021 tarihinde Paris Anlaşmasının onaylanmasının uygun bulunduğu dair kanun ile birlikte, antlaşmayı onaylamıştır.

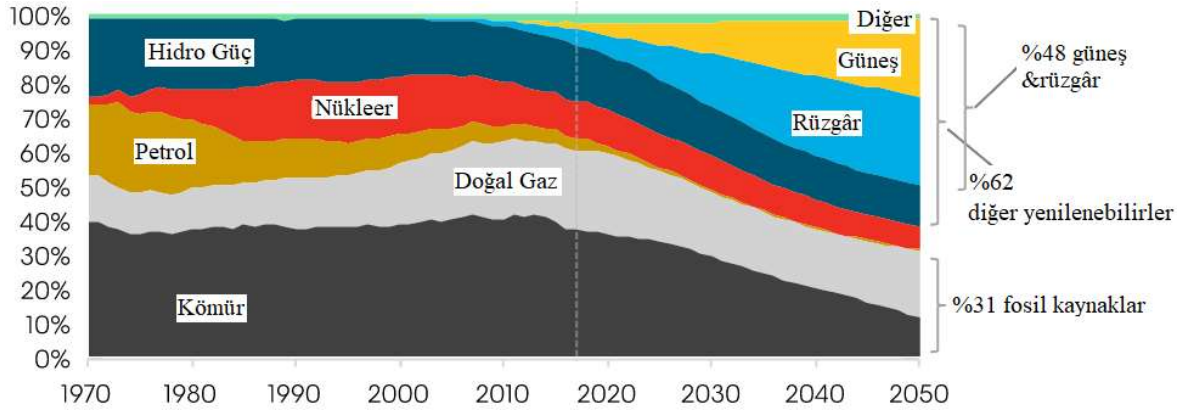
Küresel ısınmada yaşanan artış ve dünya nüfusunun hızla büyümesi, son on yılda yenilenebilir enerji teknolojilerinin uygulanmasına odaklanmada gözle görülür bir yükselişe neden olmuştur [7]. Aralık 2019'da İspanya'nın Madrid kentinde düzenlenen Taraflar Konferansı'nın 25. oturumunda [8] birçok ülke tarafından 2050 yılı için belirlenen sıfır CO<sub>2</sub> emisyon hedefi konusunda anlaşmaya varılamaması nedeniyle, yenilenebilir enerji teknolojilerinin önünü açmak için yaklaşmakta olan 26. oturum otoritelerce önemli addedilmektedir.

Tüm yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş, enerjisi en bol enerji kaynağıdır [9]. Dünya, 120 petawatt oranında güneş enerjisi alır; bu, güneş'ten tek bir günde elde edilen enerji ile neredeyse yirmi yıl boyunca dünyanın enerji ihtiyaçlarını karşılayabileceği anlamına gelir [10]. Bu güneş enerjisi kapasitesinin küresel ısınma sorununu azaltmaya önemli katkı sağlama potansiyeli bulunmaktadır. Ayrıca bu büyük enerji potansiyeli güneş enerjisi üretim teknolojilerinin diğer yenilenebilir teknolojilerden daha hızlı gelişmesini önemli ölçüde teşvik etmiştir. Mevcut güneş enerjisi hasat teknolojileri arasında, fotovoltaik, en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji teknolojilerinden biri olarak küresel ısınma problemini hafifletmek için en uygun çözüm olarak öne çıkmaktadır [11]. Dünya Enerji Görünümü 2019 yılı raporunda; önceki sıfır CO<sub>2</sub> emisyon hedefine ulaşmanın tek yolunun, 2040 yılına kadar fotovoltaik kurulu gücü 7208 TWh'ye çıkararak enerji arzını karbondan arındırmak olduğu belirtilmiştir. Mevcut tahmini kurulu fotovoltaik kapasitesinin, esas olarak son yıllarda fotovoltaik sistem maliyetindeki kaydedilen düşüşe bağlı olarak 635 GW olduğunu göz önünde bulundurulacak olursa, fotovoltaik sistem maliyetindeki daha fazla düşüşün, önümüzdeki yıllarda teknolojinin benimsenmesinde artışa neden olacağı tahmin edilmektedir [8].

Avrupa yıllardır yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesini teşvik etmektedir. Avrupa Komisyonu'nun 1997 yılında yayımladığı enerji genel yönetmeliği, Avrupa Birliği'nde yenilenebilir kaynakların bol bulunabilirliğine ve ekonomik potansiyellerine rağmen düşük kullanımına dikkat çekmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin tanıtımına ilişkin 2001/77/EC sayılı yönerge direktif olarak kabul edilerek, bu enerjilerin Avrupa'da geliştirilmesinin temelleri atılmıştır. Bu yönerge, 2010 yılına kadar enerji talebinin %12'sini ve yenilenebilir enerjilerden elektrik tüketim ihtiyacının %22'sini karşılamayı hedeflemiştir. Ancak bu hedeflere ulaşamadığı için 2009 yılında Avrupa mevzuat çerçevesinin 2009/28/EC Sayılı Direktifle yenilenmesi kararlaştırılmış ve 2020 yılına kadar Avrupa Birliği'nde tüketilen enerjinin %20'sinin yenilenebilir bir kökene sahip olması önerilmiştir [12].

Bir fotovoltaiik güneş enerji sistemi, doğrudan güneş ışığından aldığı enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Çıkış gücü yaz aylarında artan güneşlenme süreleri nedeniyle en yüksek seviyelere ulaşır. Bununla birlikte, üretilen elektrik enerjisi iklim koşullarına, güneşlenme sürelerine, güneş radyasyonu oranına, paneller üzerinde bulunan gölge, kar, toz gibi etmenlere bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Üretilen elektrik doğrudan kullanılabilir, şebekeye geri beslenebilir veya bir pilde saklanabilir. Solar fotovoltaiik sistemi, konut, sanayi ve tarım gibi çok çeşitli uygulamalara uyan çok güvenilir ve temiz bir elektrik kaynağıdır [13].

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en fazla paya sahip olan enerji kaynağı hidrolik enerji olmasına karşın özellikle güneş ve rüzgâr enerjisi yatırımları ve kurulu gücü son yıllarda belirgin bir artış göstermektedir. Nitekim Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verilerine göre, 2030 yılına kadar güneş enerjisinin mevcut politikalar dahilinde 116 milyar dolar, 2031-2040 döneminde 125 milyar dolar, sürdürülebilir politikalar senaryosuna göre ise 2030 yılına kadar yaklaşık 180 milyar dolar, 2031-2040 döneminde 191 milyar dolarlık bir yatırım alması öngörülmektedir [14]. Sonuç olarak 2050 yılına vardığımızda güneş ve rüzgâr enerjisinin dünya elektrik enerjisi ihtiyacının %50'sine cevap olacağı düşünülmektedir (şekil 1.1.).

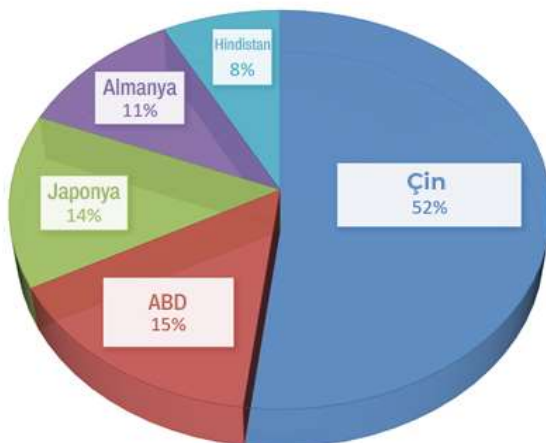


Şekil 1.1. Yıllar Bazında ve Projeksiyonlara Göre Güneş Enerjisi Üretimi [15].

Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) Mart 2021 raporuna göre, 2020 yılı sonu itibari ile yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı 2799 GW'a ulaşmıştır. Hidrolik enerji 1211 GW ile en büyük paya sahipken, rüzgâr enerjisi 733 GW, güneş enerjisi ise 714 GW seviyelerindedir. Geçtiğimiz yıl dünyadaki hemen hemen her büyük yerleşim yerinin güneş enerji santrali kurulumları ile güneş enerjisi kullanımı rüzgâr enerjisi kullanımına denk rakamlara ulaşmıştır. 2020 yılında Çin'de 49,4 GW, Amerika Birleşik Devletleri'nde 14,9 GW, Almanya'da ve Avustralya'da 4'er GW üzerinde güneş enerji santrali kurulumu olmuştur.

Ülkeler kurulu fotovoltaik güneş enerji santrali kapasitesi bakımından incelendiğinde 2020 yılı itibari ile Çin 253430 MW ile birinci, Amerika 73813 MW ile ikinci, Japonya 68665 MW ile üçüncü, Almanya 53781 MW ile dördüncü ve Hindistan 37852 MW ile beşinci sırada bulunmaktadır [16].

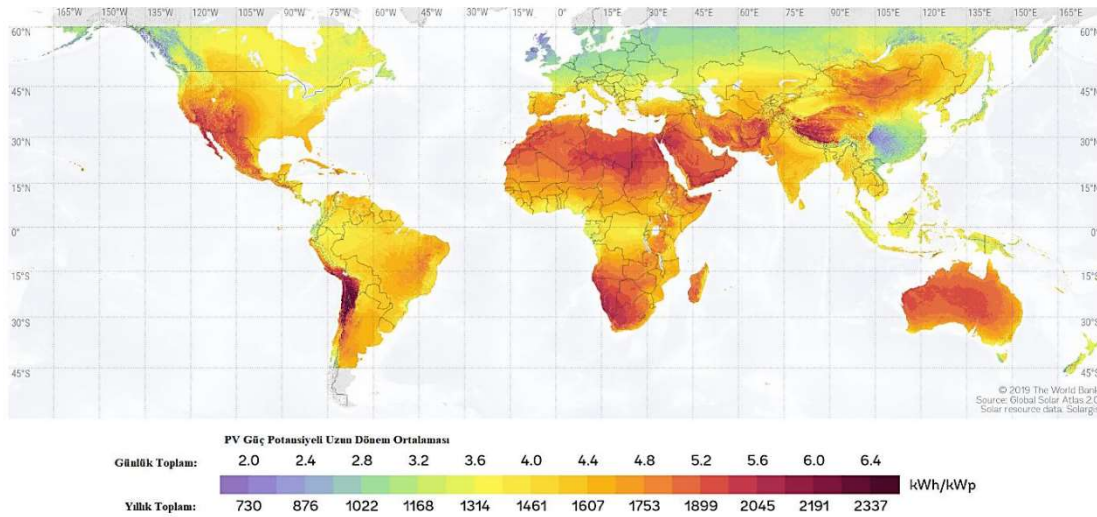
2020 YILI İTİBARI İLE KURULU PV KAPASİTESİNE GÖRE İLK 5 ÜLKE



Şekil 1.2. 2020 yılı itibari ile PV kurulu gücü en büyük 5 ülke [16].



Güneş enerjisinden faydalanmak için dünyanın en elverişli bölgesi ekvatorun 35° kuzey ve 35° güney enlemleri arasında bulunan, “Dünya Güneş Kuşağı” olarak da bilinen bölgedir. Şekil 1.3.’de bu bölge koyu kırmızı renkle gösterilmiştir. Ekvator kuşağını ortlayan bu bölgeden kutuplara doğru gidildikçe haritada mavi renkle gösterilen bölgelere ulaşılır ve bu bölgeler ise güneş enerjisi bakımından en fakir bölgelerdir.



Şekil 1.3. Dünya güneş enerjisi potansiyeli haritası [17].

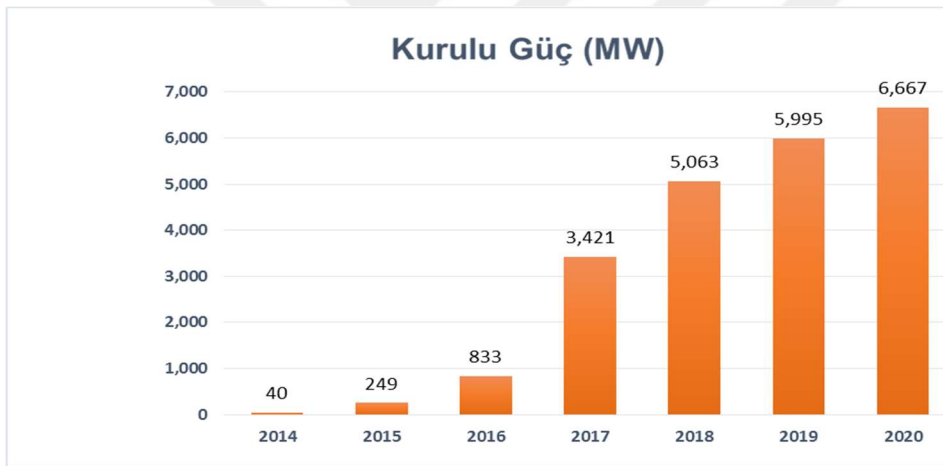
Ekvator kuşağına yakınlığı sayesinde Türkiye güneş enerji potansiyeli bakımından oldukça zengin bir ülkedir. Türkiye'nin kuzey yarımkürede bulunması nedeniyle güney illerine ilerledikçe bu potansiyel artmaktadır. Şekil 1.4.’te verilen haritada güney illeri kırmızı rengi tonları ile gösterilirken kuzey illerine gidildikçe mavi renge yaklaşan tonlar göze çarpmaktadır. Özellikle Doğu Karadeniz Bölgesinin coğrafi yapısı itibari ile uzun süreli yağmurlara maruz kalması nedeniyle bu bölgede bulunan iller mavi renkte gösterilmiştir. Bu iller Türkiye'nin en az güneş enerji potansiyeline sahip illerdir.



Şekil 1.4. Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli Haritası [18].

Türkiye’de 2014 yılında 40 MW olan kurulu güç kapasitesi sonraki yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimine verilen desteklerinin artması ve teknolojik gelişmeler ışığında bu kaynaklardan enerji üretim yöntemlerinin verimliliklerindeki iyileştirmeler nedeniyle yeni tesis kurulumları hız kazanmış, kapasite oranları da sırasıyla; 2015 yılında 249 MW’a, 2016’da 830 MW’a, 2017’de 3421 MW’a, 2018’de 5063 MW’a, 2019’da 5995 MW’a ve 2020’de 6667 MW’a ulaşmıştır (Şekil 1.5.).

Türkiye’de yenilenebilir enerji mevzuatı incelendiğinde; 1 MW ve altı kurulu güçteki GES yatırımlarının lisanssız elektrik üretimi kapsamında değerlendirildiği görülmektedir. Bürokratik işlemlerin azlığı ve kolaylığı nedeniyle kurulu gücün büyük çoğunluğunu küçük ölçekli yatırımlar oluşturmakta olup, üretilen enerjinin tüketimden artan kısmının ilgili bölge elektrik dağıtım şirketi tarafından satın alınma imkânı da bulunmaktadır.

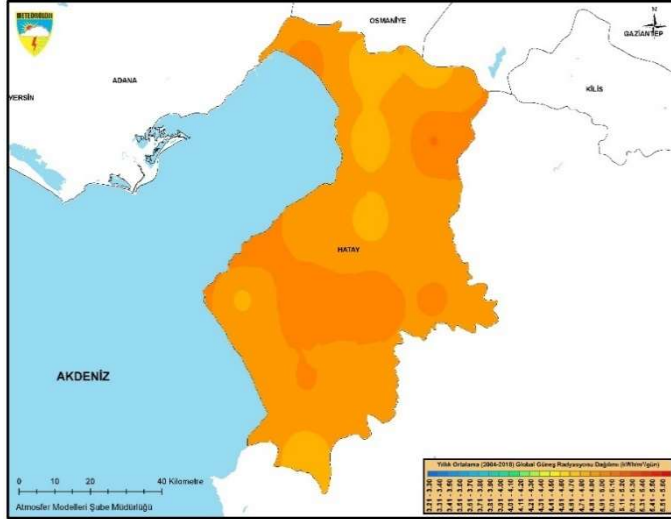


Şekil 1.5. Türkiye’de Toplam Kurulu Güneş Enerji Kapasitesi [19].

Hatay ili konumu itibari ile Türkiye’nin en güneyinde yer alır. Bu konum Hatay iline güneş enerjisi bakımından büyük avantajlar sağlar. Yıllık toplam güneş enerjisi miktarı yıllık 1450-1750 kWh/m<sup>2</sup> aralığında değişmektedir. Hatay ili yıllık toplam güneşlenme süresi 2997 saat ve günlük ortalama 4,21 kWh/m<sup>2</sup> (Şekil 1.6.) değerlerine sahiptir.

Işınım miktarının güneşlenme süresine oranla düşük kalması Hatay ilinin coğrafi özellikleri ve iklim şartları ile açıklanabilir. Akdeniz ikliminin görüldüğü Hatay ilinde yüksek nem oranı nedeniyle sisli gün sayısının fazla olması da ışınım miktarını kısmen azaltmaktadır. Ancak gerek güneşlenme sürelerinin uzunluğu gerekse ışınım miktarının ülke ortalamalarının üzerinde oluşu dolayısı ile Hatay ili Türkiye ortalamaları üzerinde bir güneş

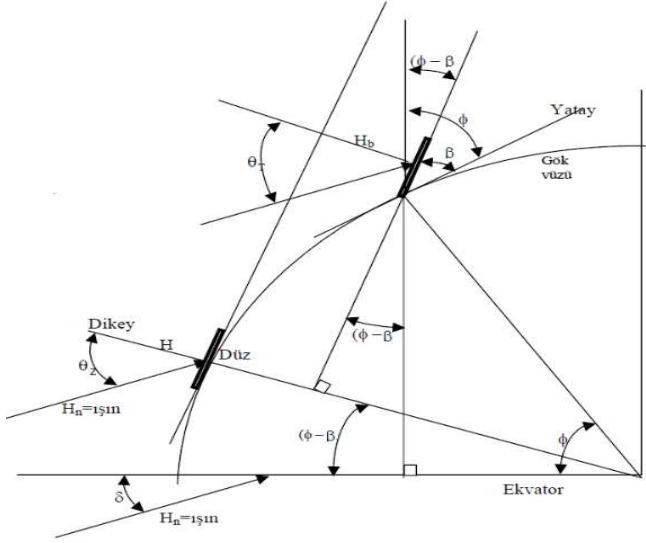
enerjisi potansiyeline sahiptir. Akdeniz bölgesinin doğusunda bulunan Hatay ili  $35^{\circ} 52'$ - $37^{\circ} 4'$  kuzey enlemleri ile  $35^{\circ} 40'$ -  $36^{\circ} 35'$  boylamları arasında yer alır.



Şekil 1.6. Hatay İli Güneş Enerji Potansiyeli Haritası [20].

Hatay iline bağlı İskenderun ilçesi engebesi bulunmayan düz arazi yapısı nedeniyle GES kurulumları açısından kolaylık sağladığı için avantajlı bir bölgedir. Gerek gündüz ağırlıklı elektrik tüketim yapıları, gerekse GES kurmaya çok elverişli geniş çatıları nedeniyle alışveriş merkezleri GES yatırımları için çok uygun yerlerdir. İskenderun'da da bulunan 2 adet alışveriş merkezi de GES yatırımı için düşünülmeleri gereken noktalar arasında gösterilebilir.

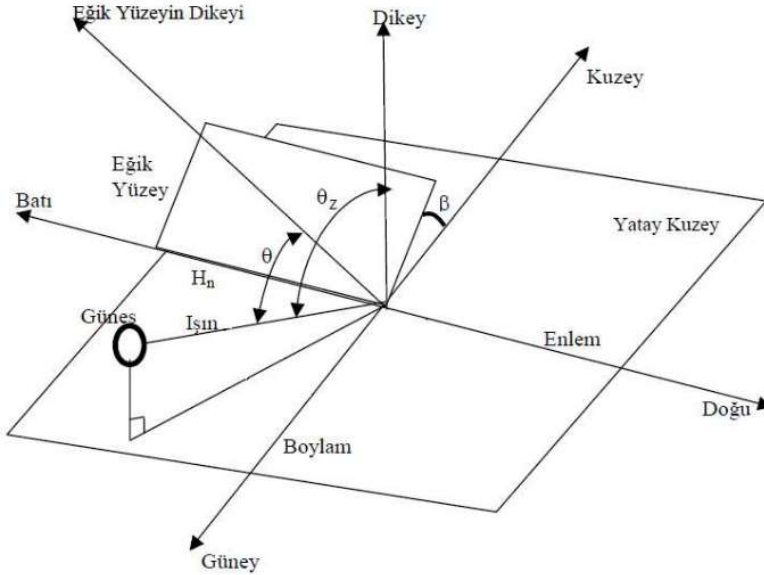
Coğrafi konum kadar panellerden elde edilecek elektriği etkileyen bir diğer önemli husus da güneş açılarıdır. Şekil 1.7.'de Dünya üzerinde bulunan nokta ile dünya merkezi arasında bulunan doğrunun ekvator düzlemi ile arasındaki enlem açısı görülmektedir. Bu açı ekvator üzerinde 0 derece iken, ekvatorun kuzey kutbuna doğru ilerledikçe  $-90^{\circ}$  dereceye doğru, ekvatorun güney kutbuna doğru ilerledikçe  $+90^{\circ}$  dereceye doğru artar. Kuzey kutbu üzerinde  $-90^{\circ}$ , güney kutbu üzerinde ise  $+90^{\circ}$  olur [21].



Şekil 1.7. Enlem Açısı [22].

Şekil 1.7.'de  $\phi$  enlem açısını,  $\beta$  eğim açısını,  $\theta_z$  zenit açısını simgelemektedir.

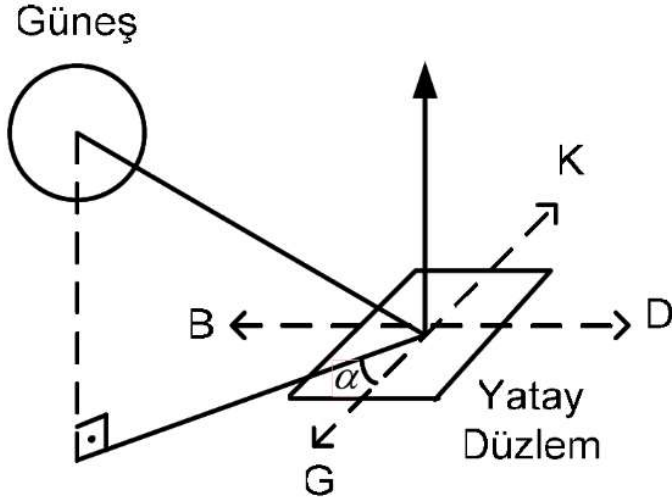
Güneş ve panel arasındaki doğru (güneş yer doğrusu) ile yatay düzlem normalinin arasındaki açuya zenit açısı denir (Şekil 1.8.). Güneşin doğuşu ve batışı sırasında zenit açısı  $90^\circ$  iken, güneş ışınlarının yatay düzleme tam dik geldiği anda bu açı  $0^\circ$  dir [23].



Şekil 1.8. Zenit Açısı [22].

Şekil 1.8.'de  $\theta_z$  ile zenit açısı,  $\phi$  ile geliş açısı,  $\beta$  ile eğim açısı gösterilmiştir.

Kuzey kutup noktası ile güney kutup noktası arasındaki doğrunun, eğik yüzeyin normali ile yaptığı açıya azimut açısı denir [24]. Bu açı güneyde  $0^\circ$ , batıda  $90^\circ$ , doğuda  $270^\circ$ , kuzeyde  $180^\circ$ 'dir (Şekil 1.9.) [23].



Şekil 1.9. Azimut Açısı [23].

Güneş ışınımı ölçümü için kullanılan araçlardan birisi pironometredir (Şekil 1.10.). Bu araç ışınım yutma ve yansıtma özelliklerini kullanarak ölçüm yapar. Üzerinde bulunan siyah ve beyaz kısımlar bulunur. Bu kısımlarda yutulan güneş ışını nedeniyle sıcaklık farkı oluşur. Işınımlar siyah bölüm tarafından yutulur ve sıcaklığı yükselir, beyaz bölüm ise siyah bölüme oranla çok daha az ışın yutacağı için iki kısım arasında sıcaklık farkı oluşur. Üzerinde bulunan cam bölmelerin kirlenmesi pironometrenin ölçümlerini etkileyeceği için, bu araçların doğru ölçüm yapabilmesi için sık sık temizlenmesi gerekir.



Şekil 1.10. Pironometre [58].

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimde yaşanan artışa orantılı şekilde bu enerji kaynakları üzerine yapılan araştırmalar da artan bir ivme ile devam etmektedir. Araştırmacılar güneş enerjisi ve bu enerjiden fotovoltaik paneller kullanarak elektrik üretimi, üretilen enerjinin analizi, kurulan güneş enerji santrallerinin amortismanı gibi konular üzerine pek çok makale yayınlamışlardır.

Bu makalelerden birinde Azhar Abbas Khosa ve diğerleri yaptıkları çalışmada Pakistan Bahawalpur'da kısa zaman önce kurulan 100 MW'lık bir elektrik santralinin performans analizi için olasılıksal bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri model Monte-Carlo simülasyon yöntemine dayalıdır ve santral sahasından gelen olası girdi verisi aralığını kullanır. Elde ettikleri veriler ışığında santralin ilk işletme yılında üretilen güç 136 700 MWh ve santralin 25 işletme yılını tamamladığı varsayılınca kümülatif enerji 3 108 450 MWh'dir. Modelin öngördüğü enerji maliyeti 0,0795 \$/kWh'dir. Pakistan'daki bir yerel müşteri için ortalama 0,1 \$/kWh elektrik maliyeti öngörüldüğünde; bu değer makul olduğuna değinilmiştir [25].

Bir diğer çalışmada Sandhya Thotakura ve diğerleri kıyı bölgelerindeki evlerin çatılarına toplam 3078 solar panel ve 23 invertörden oluşan sistemlerin performans analizlerini 1 Ekim 2018'den 30 Eylül 2019'a kadar 12 aylık fotovoltaik santral operasyonel verileri kayıt altına alınmış; Güneş fotovoltaik santralinin bu süre boyunca şebekeye 1325,42 MWh enerji sağladığı görülmüştür. Sonuçları PVGIS, PV Watts ve PV Syst simülasyon araçları kullanılarak değerlendirildiğinde; %5,33 (PVGIS), %12,33 (PV Watt) ve %30,64 (PV Syst) ortalama sapma hatası (MBE) ve %2,954 (PVGIS), %7,88 (PV) normalleştirilmiş ortalama sapma hatası (NMBE) olduğu gözlemlenmiştir [26].

Aiman Alshare ve diğerlerinin yaptığı çalışmada, Ürdün'deki Ürdün Bilim ve Teknoloji Üniversitesi kampüsünde inşa edilen 5 MWh'lik PV sistemin Şubat 2017'den Ocak 2018'e kadar gözlenmesiyle edinilen sonuçları sunmuşlardır. Tesisin eğim açısı 15° ve azimut açısı ise 0°'dir. Yapılan ekonomik analiz sonucunda iç verim oranının yıllık %30,11 ve tesisin amortisman süresinin ise 4,32 yıl olduğu görülmüştür [27].

Prachuab Peerapong ve Bundit Limmeechokchai çalışmalarında; üç kategoride RETscreen'de yapılan modellemeler ile projelerin tüm ömrü boyunca fotovoltaik sistemlerin önerilen tarife garantisini incelemiştirlerdir. Bu kategoriler şu şekilde sıralanmıştır. 1- Konut çatısı, 2- Entegre yere monte edilmiş ve çatı üstü fotovoltaik ve 3- Kurulu kapasite 1 MW'tan büyük olan şebeke ölçeği. Bu çalışmanın sonucu, %11,0 vergi sonrası öz sermaye ile önerilen garanti tarifelerinin: müstakil çatılar için 0,48\$/kWh, entegre yere ya da çatıya montajda 0,31\$/kWh ve büyük ölçekli projeler için 0,28\$/kWh olduğu bulunmuştur [28].

Başka bir çalışmada Nallapaneni Manoj Kumar ve diğerleri Hindistan'ın kuzeyindeki Chandigarh'daki IRB Complex-5'te kurulu 200 kW'lık bir çatıya entegre kristal fotovoltaik sisteminin performansını, enerji kaybını ve bozulmasını incelemiş, PVsyst simülasyon aracını enerji üretimini ve enerji kaybını tahmin etmek için kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlar; planlanan fotovoltaik sisteminden yıllık 292.954 kWh enerji elde etmenin mümkün olduğu göstermiştir [29].

Emilia Ines Come Zebra ve diğerleri ise hibrit enerji sistemleri üzerine bir çalışma yürütmüş ve bu çalışmada şebekeden bağımsız elektrifikasyon için yenilenebilir enerji kaynaklarının dalgalı doğasının üstesinden gelmek için tasarlanmış hibrit yenilenebilir enerji sistemleri (HRES'ler) analiz edilmiştir. Çeşitli küçük şebekelerin enerji maliyeti karşılaştırıldığında ve analiz edildiğinde; Dizel yakıtın enerji maliyeti aralığını (0,92 USD/kWh ile 1,30 USD/kWh) arasında alarak karşılaştırınca, Solar fotovoltaik (0,40 USD/kWh ile 0,61 USD/kWh) arasında ve hibrit güneş fotovoltaik/dizel (0,54 USD/kWh ile 0,77 USD/kWh) arasında bulunmuştur [30].

Yazılımsal analizleri tercih eden Paul A. Adedeji ve diğerleri yaptıkları çalışmada; Yazılım hesaplama teknikleri kullanılarak coğrafi bilgi sistemi (CBS) tabanlı saha uygunluk analizinden elde edilen uygun bir bölgedeki güneş kaynağı değişkenliğini araştırmışlardır. Uygunluk haritasından seçilen bir aday bölgeye beş yazılım hesaplama tekniği uygulamışlardır. Bunlar: uyarlanabilir öğrenme hızı sinir ağı (GDALRNN), esnek geri yayılım sinir ağı (RBNN), uyarlanabilir nöro-bulanık çıkarım sistemi (ANFIS), genetik algoritma tabanlı ANFIS (GA-ANFIS) ve parçacık sürüsü optimizasyonu tabanlı ANFIS (PSO-ANFIS) gradyan inişidir. Her model, temsili bölgeden elde edilen verilerle sırasıyla %70 ve %30'u ile eğitilmiş ve test edilmiştir. GDALRNN modeli, 0,0316 ortalama karekök

hatası, (RMSE) %4,7590'lık RMSE (CV(RMSE)) varyasyon katsayısı, %0,2951 bağıl ortalama önyargı hatası, 4,0998 ortalama mutlak yüzde hatası. 0,0403'lük sağlam varyasyon katsayısı, 10,7345 beceri puanı ve 9,71 s hesaplama süresi ile diğer tüm modellerden daha iyi performans gösterdiği görülmüştür [31].

Samba Sowe ve diğerleri Farafenni kasabasının yüksek güneş ışınımı değerlerine sahip bir bölgede bulunduğunu ve tüm yıl boyunca (Günde 4.5–7 kWh/m<sup>2</sup>) ışınım potansiyeli ile fotovoltaik santral yatırımları için uygun bir şehir olduğunu görmüşlerdir. Kristal Si ve ince film modülleri arasındaki fizibiliteyi tarifelerdeki beslemeyi değiştirerek değerlendirmek için 1 MW fotovoltaik santral çalışılmıştır. Mevcut 0,24 ABD Doları / kWh tarifesi, ince film modüllerinin yalnızca daha yüksek NPV (2,053,869 ABD Doları), IRR (%7), BCR (1,60) sunmadığını göstermiştir. Aynı zamanda NPV (1,189,576 ABD Doları), IRR (%4), BCR değerlerinde olan kristal si modüllerinden daha kısa PBP (9,48 yıl) değerlerini göstermiştir [32].

Libya'nın Misurata kentinde bir okula güç sağlayan hibrit bir sistemin tekno-ekonomik analizini inceleyen Khalil Abdulfattah Glaisa ve diğerleri; Yenilenebilir enerji sisteminin optimum boyut ve özelliklerini belirlemek için HOMER yazılım aracı kullanmışlardır. Güneş radyasyonu ve rüzgâr hızı (Günlük 7 kWh/m<sup>2</sup>, 5,50 m/s) maksimum değerlerinde ve yakıt fiyatının asgari olarak kabul edildiği koşullarda (0,10 dolar), ekonomik açıdan en uygun güç sistemi olan (PV / Tur / Gen / Akü)'nün toplam net kurulum maliyeti 293961 USD, enerji maliyeti 0,191 USD/kWh ve yenilenebilir oranı %53'tür. Güneş radyasyonu, rüzgâr hızı ve yakıt fiyatı ortalama değerlerde (Günlük 5,05 kWh/m<sup>2</sup>, 4,84 m / s ve 0,40 USD) varsayıldığında, en uygun çözüm yine (PV / Tur / Gen / Pil) net 384181 USD kurulum maliyetine ve 0,25 USD/kWh enerji maliyetine ve %79 oranına sahiptir. Güneş radyasyonu ve rüzgâr hızı minimum değerlerde (Günlük 3 kWh/m<sup>2</sup>, 3,50m/s) ve yakıt fiyatı maksimum (1,25 USD) olarak tahmin edildiğinde, en uygun ekonomik sistem hala (PV / Tur / Gen / Pil) olup, net kurulum maliyeti 753 505 USD ve enerji maliyeti 0,489 USD/kWh ve %71'dir [33].



Diğer bir çalışmada H.J. Vermaak, Güney Afrika'daki güneş takip sisteminin tekno-ekonomik bir analizini yapmıştır. 4 farklı güneş takip konfigürasyonundan üretilen enerji miktarının yanı sıra maliyetler üç farklı senaryo (1 KWP sistemi, 1 MWp sistemi, 1 hektar arazi üzerine monte edilmiş sistem) altında analiz etmiştir. Sabit sisteme kıyasla tek eksenli ve çift eksenli sistemlerin %33 ve %37 oranında enerji artışı sağladığı görülmüştür. Bununla birlikte, eşit panel boyutlarındaki sistemler için 1hektar arazi alanı seçilip incelendiğinde; Tek ve iki eksenli sistemlerin statik sistem tarafından üretilen güç miktarının sadece %15,44'ünü ve %22,28'ini ürettiği görülmüştür [34].

Endonezya'nın Surabaya kentindeki tipik bir konutta şebekeye bağlı bir fotovoltaik sistemin kurulduğunu varsayan Elieser Tarigan ve diğerleri tesisin fizibilitesini simüle etmişlerdir. Çalışmaları ile evsel elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasına yönelik fotovoltaik sistemin teknik, ekonomik ve çevresel yönlerini değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Pvsyst ve RETScreen yazılımı ile 1 kWp şebekeye bağlı fotovoltaik sistem simülasyonu yapılmıştır [35].

Başka bir çalışmada Ammar Alshegri ve diğerleri Masdar Bilim ve Teknoloji Enstitüsü için uygun maliyetli bir fotovoltaik (PV) enerjili ters ozmos (RO) tuzdan arındırma tesisi tasarlamışlardır. Önerilen sistem, pahalı bataryalara veya ekstra araziye dayanmayan bir RO tesisi tasarımlarına izin vermiş ve su üretim maliyetini cari giderlerin %84'ünü sübvans etmek için devlet giderlerini büyük ölçüde azaltma sağlamışlardır. Ek olarak, sistemleri GHG emisyonunu yıllık 1.035 CO<sub>2</sub> azaltma öngörülmüştür. Öz kaynakların geri ödeme süresini 23,3 yıl, fayda-maliyet oranını 0,72 olarak tespit edilmiştir [36].

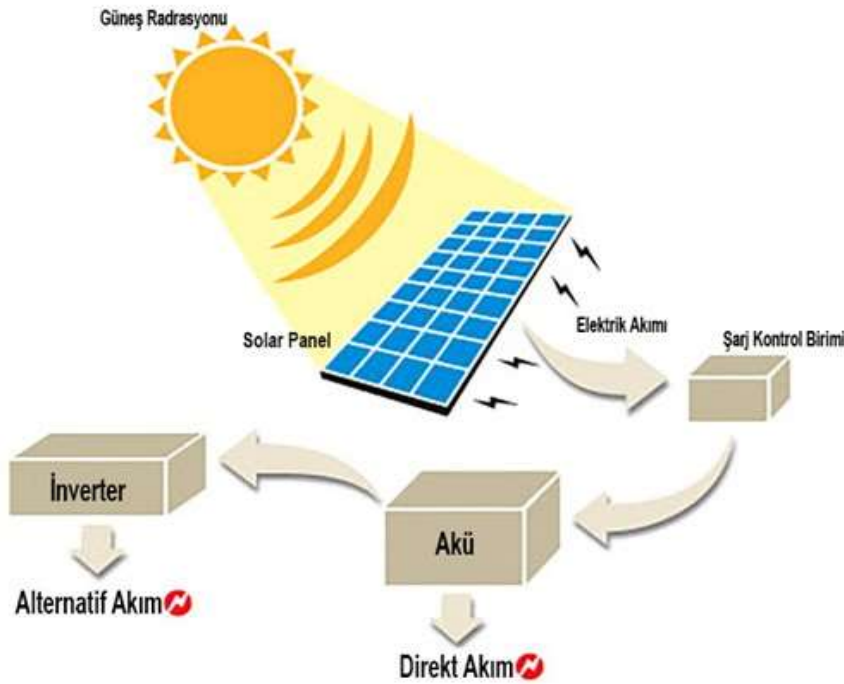
Uydudan elde edilen verilerle bir çalışma yürüten Prachuab Peeraponga ve Bundit Limmeechokchaia; Bangkok'ta kurulu konut tipi güneş çatısındaki amorf panellerin ortalama enerji çıkışı için en yüksek 1,503 kWh/KWP değerine ulaşmışlardır. Çonburi ilinde kurulu ticari binalarda amorf panellerin ortalama enerji çıkışları için ise en yüksek 1.601 kWh/KWP değerlerini bulduğunu görmüşlerdir. Her iki alanda da optimum eğim açısı 15 ° güney yönündedir [37].

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Fotovoltaik Güneş Enerji Santrali Elemanları

Güneş enerjisi santralleri, güneş ışınlarından elektrik enerjisi üretmek amacıyla kurulan santrallerdir. Santraller DA akımın üretildiği fotovoltaik paneller (PV), üretilen doğru akımın (DA) alternatif akıma (AA) dönüştürüldüğü invertör, üretilen elektriğin depolandığı akü ve akülerin sağlıklı elektrik depolayabilmesi için akü şarj regülatöründen oluşur. Şekil 3.1'de temsili bir görsel, ekipmanları göstermektedir.

Santraller bulunduğu bölgenin elektrik şebekesine bağlı olması (on grid) ve şebeke bağlantısı bulunmaması (off grid) durumuna göre ikiye ayrılır. On grid santrallerde üretilen elektriğin kullanımdan artan kısmını şebekeye aktarmak ve santralde üretilen elektriğin kullanıma yetersiz gelmesi durumunda şebekeden elektrik çekmek mümkündür. Off grid santrallerde şebeke bağlantısı bulunmadığı için santral tasarımında ihtiyaç duyulan elektrik miktarının belirleyici rolü vardır. Şebekeden elektrik çekilemeyeceği için, ihtiyaç duyulan tüm elektrik fotovoltaik panellerden ve kullanımdan arta kalan enerjinin depolandığı akülerden sağlanır.



Şekil 3.1. Güneş Enerji Santrali Elemanları [58].

### 3.1.1. Fotovoltaik Panel (Güneş Pili)

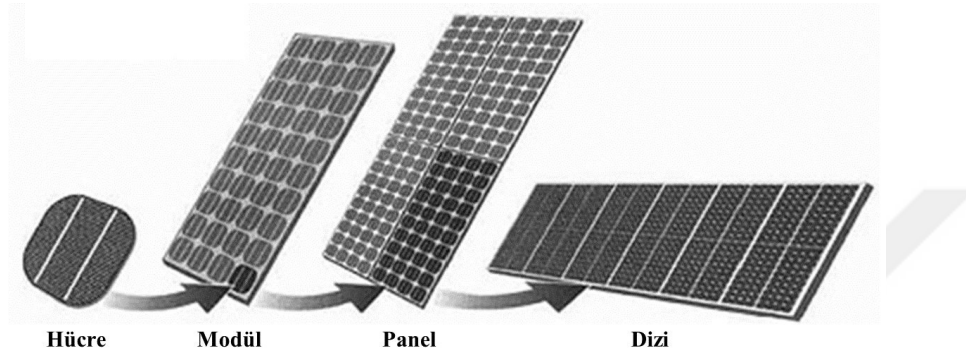
Güneş pilleri güneş enerji santrallerinin temelini oluşturmakla birlikte, güneşten elektrik enerjisi üretimi için en fazla tercih edilen yöntemlerdir. Latince ışık anlamına gelen “photos” kelimesi ile elektrik denilince akla gelen ilk isimlerden olan Alessandro Volta’dan esinlenerek ortaya çıkan “voltaic” kelimesinin birleşimi ile “ışıktan direkt elektriğe” anlamına gelen fotovoltaik kelimesi ortaya çıkmıştır. [38].

Fotovoltaik teknolojisinin keşfine dair ilk adımlar bilim insanı Becquerel tarafından atılmış, elektrolit çözeltide bulunan elektrotlarda oluşan gerilimin, elektrolit üstüne gelen ışıktan kaynaklandığını fark ederek bunu incelemiş ve fotovoltaik kavramını keşfetmiştir [39]. Aynı özelliğin katı cisimlerde de bulunduğunu ilk olarak selenyum kristalleri kullanarak 1876 yılında G.W. Adams ve R.E. Day bulmuştur. Fotonlar güneş enerjisini taşıyan taneciklerdir. Bu taneciklerin sahip olduğu enerji, fotonun frekansı ve Planck Sabiti ile hesaplanmaktadır [39].

Başlangıçta verimlilikleri literatürlere %6 olarak geçen ilk fotovoltaik hücreler daha sonraları Amerikalı bilim insanları Chapin, Fueller ve Pearson tarafından silikon güneş hücresi üzerine uygulanmış ve attıkları bu adım sayesinde fotovoltaik teknolojisinin ticarileşmesi başarısına ortak olmuşlardır. [40].

Güneş pilleri yapı itibari ile silikon, galyum gibi yarı iletken malzemeler kullanılarak üretilir. Fotovoltaik teknolojisi çalışma prensibi kısaca şöyle açıklanabilir; Güneşte gerçekleşen füzyon reaksiyonu sonucu ortaya çıkan enerjinin ışıma vasıtasıyla dünyaya ulaşması ve bu ulaşan ışımının yarı iletken malzeme üzerinde oluşturduğu fotovoltaik etki sonucu elektrik enerjisi meydana gelmesi olayıdır. Oluşan elektrik enerjisinin boyutu fotovoltaik panelin malzeme özelliklerine ve ışıma şiddetine bağlı olduğu gibi elde edilen elektrik de doğru akım türündedir. Fotovoltaik hücreler bir araya getirilerek fotovoltaik paneller meydana gelir ve kullanılan malzemelerin çeşitlerine göre güneş pilinin verimi genellikle %5 ile %20 aralığında olmaktadır [41]. Daha büyük enerji üretimi amacıyla PV hücreler bir araya getirilerek modülleri (string), modüller bir araya getirilerek panelleri, paneller bir araya getirilerek dizileri meydana getirir (Şekil 3.2.) ve bu sayede akım, gerilim ve güç bakımından istenilen değerlere sahip Güneş enerji santralleri inşa edilebilir [42].

Fotovoltaik sistemlerde çıkış gerilimini arttırmak istendiğinde sistemde bulunan fotovoltaik hücreler birbirine seri bağlanırken, çıkış akımını arttırılmak istenirse bu sefer diziler birbirine paralel bağlanırlar. Paralel bağlantı tercih edildiği zaman sistemden elde edilen toplam akım her bir diziden gelen akımın toplamı kadar olur. Elde edilen seri ve paralel bağlı fotovoltaik modüllerin bir araya gelmesiyle oluşan yapıya fotovoltaik dizisi denir. Fotovoltaik modüller 1000W/m<sup>2</sup> ışınım, 1,5 hava kütlesi (AM) ve 25°C hava sıcaklığı ortamında test edilirler.



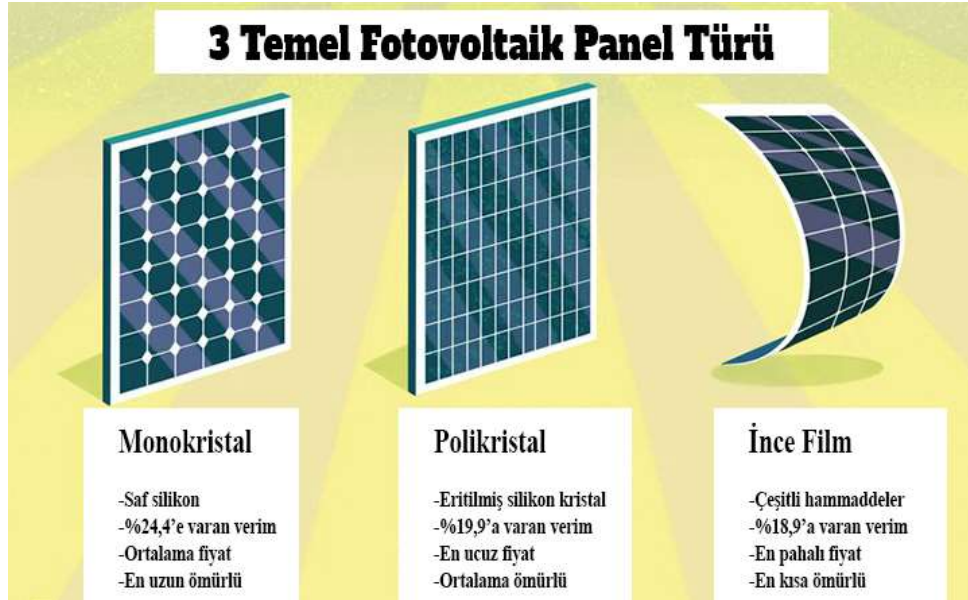
Şekil 3.2. Fotovoltaik hücre yapısı [43].

Fotovoltaik hücreden elde edilecek akım ve gerilim doğrudan ışınım ve sıcaklık değerlerine bağlıdır. Sıcaklığın çok değişmediği bir günde ışınım miktarında büyük farklılıklar olabilir. Işınımın yarıya düştüğü bir durumda elde edilecek güç çıkışı da yarıya iner [43].

Fotovoltaik hücreler çoğunlukla kare olarak üretilirler. Bazı modellerde dikdörtgen ya da daire şeklinde üretildikleri de olur. Panellerin kalınlık olarak 0,2-0,4mm, yüzey alanı bakımından 60-160cm<sup>2</sup> arasında olup ortalama 100cm<sup>2</sup>'lik bir alana sahiptirler. Fotovoltaik hücre üretiminde en çok tercih edilen malzeme silisyum yarı iletken özellik gösteren malzemedir. Gezegenimizde oksijenden sonra en sık rastlanan element silisyumdur. Kuartz ve kum ise silisyumun doğada en yaygın bulunduğu biçimleridir. Kristal Silisyum, tek kristalli olabileceği gibi çok kristalli yapıda da olabilir. [44]

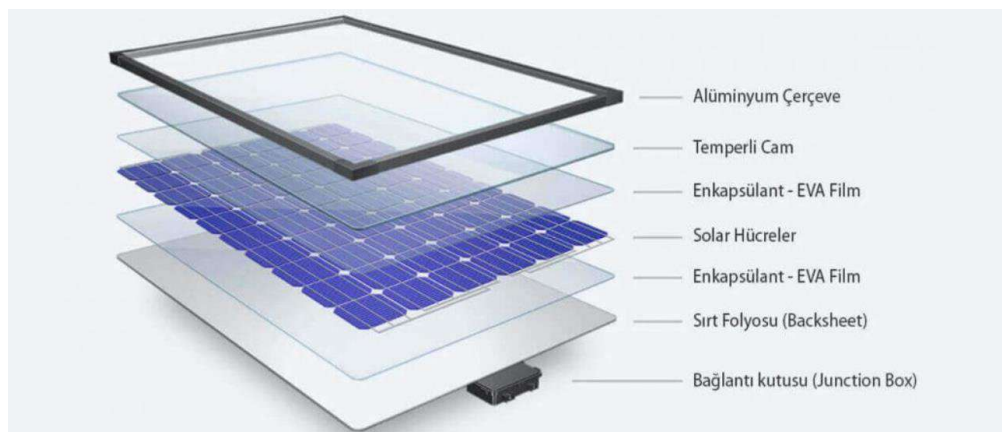
Fotovoltaik panel üreticileri günümüzde 25 yıl malzeme ve performans garantisi vermektedir. Paneller 25 yıl kullanıldıktan sonra bile %80'in üzerinde performans göstermektedir.

Kullanıma sunulan çok çeşitli fotovoltaik panel türleri mevcuttur. En sık rastlanılan 3 çeşit panel monokristal paneller, polikristal paneller ve ince film panellerdir (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Temel Fotovoltaik Panel Türleri [58].

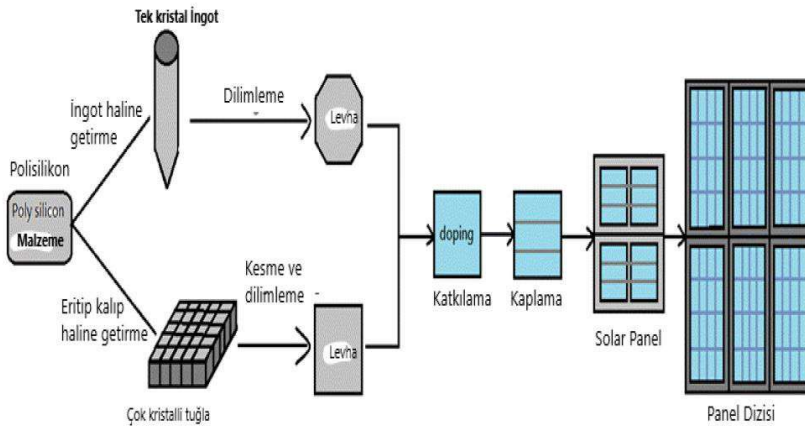
Şekil 3.4.'te bir fotovoltaik panelin katmanları gösterilmiştir. Paneli darbelere ve dış etkilere karşı koruyan, onu çevreleyen ilk katman alüminyum çerçevedir. Işık geçirgenliği yüksek aynı zamanda gördüğü ısıl işlem (tamperleme) sayesinde dayanımı arttırılmış temperli cam panelin en üst katmanıdır. Güneş ışınlarından elektrik üreten solar hücreler Eva film tabakaları arasında konumlanmaktadır. Solar hücrenin arkasında kalan eva filmin altındaki katman ise panelin arka yüzünü oluşturan sırt folyosudur. Sırt folyosunun da üzerinde paneli monte etmeye yarayan bağlantı kutusu bulunur.



Şekil 3.4. Fotovoltaik Panel Katmanları [58].

## Monokristal Paneller

Monokristal hücrelerin üretiminde kullanılan saf silikon “Czochralski çekmesi” ve “Yüzer bölge” ismi verilen iki yöntem kullanılır. Polonyalı bir kimyager olan Czochralski'nin bulunduğu yöntemde saf silikon öncelikle eritilerek sıvı hale getirilir. Daha sonra dönme hareketi yapan kristal bir çubuk eritilmiş silikona daldırılıp erimiş silikonun bu çubuğun üzerinde katılaşması sağlanır. Son olarak eritilmiş silikonun içinden belirli bir hızla çekilen ve dönmeye devam eden çubuk üzerinde yüksek saflıkta bulunan bir silikon külçe üretilmiş olur. Silikon külçenin dilimlenmesi işi üretimin en zorlu bölümüdür. Dilimlenme işleminden sonra elde edilen parçalara wafer adı verilir. Wafer fotovoltaik hücrelerin gövdesini oluştururlar. Bu gövdeye daha sonra iletkenler eklenerek fotovoltaik hücrelerin üretimi tamamlanmış olur [45].



Şekil 3.5. Monokristal Panel Üretim Yöntemi [46].

Silikon temelli fotovoltaik panellerin verimlilikleri yapılarında bulunan silikonun ne kadar saf olduğuyla doğru orantılıdır. Kullanılan silikonun saflık oranı ne kadar artarsa paneller de buna paralel olarak daha verimli hale gelir. 2018 yılında Fraunhofer Enstitüsünün fotovoltaik panellerin verimlilikleri ile ilgili yapmış olduğu bir çalışmaya göre deneysel ortamda monokristal hücreler için elde edilen maksimum verim %26,7 olarak tespit edilmiştir. Son tüketiciye sunulan piyasadaki panellerde ise bu verim %19-21 arasında olmaktadır [47].

Monokristal panellerde polikristal panellerde kullanılan silikondan daha saf silikon kullanıldığı için monokristal panellerin görünümü daha homojen ve koyu renklidir. Monokristal panellerin daha koyu renkli olması da onlara daha iyi ışık absorbe edebilme kabiliyeti kazandırır. Bu sayede düşük ışınım altında dahi diğer panel türlerine oranla daha verimli çalışırlar. Verimliliklerinin yüksek olması bu panelleri özellikle kısıtlı alandan yüksek verim istenen projelerde öne çıkarsa da üretimlerinin diğer panel türlerine oranla zor olması ve bu panelin fiyatının diğer türlere oranla yüksek kalmasına neden olmaktadır. Ama Monokristal paneller üzerine yapılan çalışmalar ve elde edilen teknolojik gelişmeler sayesinde panellerin maliyetleri hızla düşmekte ve monokristal panellerin daha sık tercih edilebileceğini işaret etmektedir.

### **Polikristal Paneller**

Monokristal panel üretiminin zorluğu ve maliyetinin yüksek oluşu polikristal panellerin ortaya çıkmasında etkili olmuştur. Polikristal panel üretmek için monokristal panellerdeki gibi silikону saflaştırma amacıyla yapılan fazladan işlemler kullanılmadan silikon doğrudan eritilip külçe haline getirilir ve bu külçeler dilimlenir. İşlemlerde kolaylık sağlayan bu yöntem sayesinde üretim maliyeti düşen polikristal panel, kullanılan silikonun saflığının monokristal panelde kullanılanlara oranla düşük olması nedeniyle verim kaybı yaşar. Verim kaybının nedeni kullanılan silikon saf olmadığı için görünüşünün monokristal paneller gibi homojen ve koyu renkli olmamasından ileri gelmektedir.

Polikristal panelin kolay üretilir ve düşük maliyetli olması onu piyasada en çok tercih edilen panel türü yapmıştır. Bu nedenle en sık rastlanılan panel tipi polikristal panellerdir. Monokristal panellerde kullanılan silikonun polikristal panellerde kullanılanlara oranla daha saf oluşu polikristal panellerin verimini düşürdüğü gibi verimli kullanım ömrünü de kısaltır. Ayrıca estetik olarak da monokristal panellerin gerisinde kalmaktadırlar [45].



Şekil 3.6. Polikristal Panel ve Monokristal Panel [58].

### **İnce Film Paneller**

İnce film paneller bir kaplama malzemesinin üzerine bir ya da birden fazla film formunda ince katmanlardan oluşan malzemelerin yerleştirilmesiyle oluşturulur. Kalınlık olarak mikrometre boyutlarında olan ince film paneller yüzey alanları bakımından diğer panel türlerinden daha fazla yer kaplamaktadır. Üretimlerinin kolay olması, esnek yapıları sayesinde kullanım yerlerinin fazla olması, sıcaklığa monokristal ya da polikristal panellere göre daha dayanıklı olması ve verimini yüksek sıcaklıklarda bu panellere göre daha az kaybetmesi gibi avantajları bulunmaktadır. Ama genel verimlilikleri diğer panellere oranla çok düşük kalması nedeniyle tercih sebebi değildir. Önde gelen ince film çeşitleri; kadmiyum tellürid, amorf silikon ve bakır diselenid indiyum'dur.

Günümüzde kullanılan fotovoltaik panellerin, panel başına ürettikleri güç değeri 45 Watt ile 450 Watt arasında değişmektedir. Monokristal ve polikristal paneller güneş enerji santralleri için ilk tercih edilen panel tipleridir. Bunun altında yatan en büyük neden ise ince film panellerin verimlerinin bu iki panel türüne oranla çok düşük olmasıdır [45].





Şekil 3.7. İnce Film Panel Çatı Uygulaması [58].

### 3.1.2. İnvörtör (Evirici)

İnvörtörler doğru akımı alternatif akıma çeviren DA-AA çeviricilerdir. İnvörtörler temel olarak girişindeki bir doğru gerilimi çıkışında istenen genlik ve frekansta simetrik bir alternatif gerilime çevirirler. Çıkışta elde edilen gerilim ve frekans değerleri sabit veya değişken bir şekilde üretilebilmektedir. İnvörtörleri genel olarak iki şekilde sınıflandırılabilir.

- a- Şebekenin bulunmadığı durumlarda kullanılan şebeke bağlantısız (off-grid) invörtörlerdir. Bu invörtör türü daha çok depolamalı sistemlerde karşılaşılmaktadır. Panellerden üretilen elektrik doğrudan AA elektriğe dönüştürülüp bir yükü besleyebiliyor iken, bir aküde depolanan DA enerji invörtörde AA'ye dönüştürülerek de bir yük beslenebilmektedir.
- b- Şebekeye bağlı sistemler için kullanılan şebeke bağlantılı (on-grid) invörtörlerdir. Bu sistemde fotovoltaik güneş panellerinde elde edilen DA elektrik doğrudan AA elektriğe dönüştürerek elektrik şebekesine verilmektedir [48].

### 3.1.3. Akü

Güneş enerji sistemlerinde enerji depolama birimi aküdür. Fotovoltaik paneller ile üretilen enerji gündüz akülere depolanır, güneş battıktan sonra aküde depolanan enerji kullanılabilir. Fotovoltaik paneller ile enerji üretimi sadece gündüz gerçekleşir. Gece enerji üretimi olmayan zamanlarda ihtiyaç duyulan enerji aküden sağlanır.

Güneş enerji güç sistemlerinde sıklıkla döngü sayısı yüksek şarj edilebilir kurşun asit aküler kullanılır. Döngü sayısı yükseltilmiş Sulu (Enhanced Flooded Battery-EFB) ile VRLA tipi Jel ve AGM aküler, akü tercihlerinin başında gelmektedir. Ayrıca daha uzun ömürlü ve daha hafif fakat daha pahalı olan lityum ve nikel bazlı aküler taşınabilirlik ön planda ise tercih edilebilir [49].

### 3.1.4. Akü Şarj Regülatörü

Fotovoltaik panellerin ürettiği enerjiyi akülerde sağlıklı depolayabilmek amacıyla paneller ile akü arasında konumlandırılan şarj regülatörleri, şarj işleminin verimli olmasını sağlamanın yanı sıra panellere akülerden ters akım gitmesini önleyen sistemin önemli bir elemanıdır. Devresinde bulunan transistörler anahtarlama görevi yaparak, panellerin gerilimi akü geriliminden yüksek olmadıkça herhangi bir akım geçişine izin vermez [50].

Fotovoltaik panelden gelen DA enerjiyi düzenleyerek sabitleyen akü şarj regülatörü akülerin sağlıklı şarj olabilmesi için stabil bir DA elektrik enerjisi sağlar. Aküler şarj işlemleri sırasında beslenen akım ve voltaj değerleri bakımından sabit ve düzenli elektrik enerjisine gereksinim duyarlar. Fotovoltaik paneller ise sürekli değişen akım ve voltaj değerleriyle aküleri verimli ve sağlıklı şarj edebilme yeteneğine sahip değildir. Bu nedenle akü şarj regülatörleri fotovoltaik güneş enerji santralleri için vazgeçilmez birer bileşendir. Akülerden panellere ters akım gitmesini de önledikleri gibi akü dolduğu zaman panellerden gelen elektriği keserek aküyü aşırı şarj olmaktan korurlar.

Akü şarj kontrol birimleri iki çeşittir; 1- PWM (Sinyal Genişlik Modülasyonu) 2- MPPT (Maksimum Güç Noktası Takipli).

### 3.2. RetScreen Expert Yazılımı

RETScreen Uluslararası, yenilikçi ve benzersiz bir yenilenebilir enerji bilinci, karar desteği ve kapasite geliştirme konularına yoğunlaşmış bir yazılımdır. Kanada Hükümeti tarafından Kanada'nın Doğal Kaynaklar Enerji Çeşitlendirme Araştırma Laboratuvarı aracılığıyla Varennes, Quebec'teki merkezi ile geliştirilmekte ve sürdürülmektedir [51,52]. Yazılım, Ulusal Havacılık ve Uzay İdaresi (NASA), Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Ortaklığı gibi kuruluşların, Birleşmiş Milletler Çevre Programı, Küresel Çevre Fonu, Dünya Bankası Prototip Karbon Fonu, Enerji + Çevre Vakfı ve Leonardo Enerji Girişimi [53] iş birlikleri ile sanayi, hükümet ve akademi insanların da aralarında bulunduğu 307 uzmanın üzerinde çalıştığı bir programdır. RETScreen yazılımlarının tüm sürümleri; temiz enerji projeleri, fotovoltaik, [54] rüzgâr enerjisi ve hidroelektrik projeleri gibi verimli teknolojiler ve yenilenebilir enerji projeleri de dahil olmak üzere fizibilite analizlerini açık kaynak olarak kullanıcılara sunmaktadır. Yazılım, dünya genelinde 222'den fazla ülke ve bölgede dünya nüfusunun üçte ikisinden fazlasını kapsayan 36 dilde yayın yapmaktadır [55].

Yazılım, enerji projelerinin fizibilite değerlendirme çalışmaları, mevcut projelerin izlenmesi ve değerlendirilmesini içerecek şekilde yeni ve güçlendirme projelerinin performans değerlendirmesi için kullanılabilir. Kullanıcılar her teknoloji projesini fizibilite veya performans değerlendirme çalışmalarının amacına göre seçebilir ve her teknoloji projesi maliyet analizi, sera gazı analizi, finansal özet ve duyarlılık ve risk analizlerini içerecek şekilde enerji modelinin beş aşamalı analizine sahip standart bir prosedüre sahiptir. Yazılım, karar vericilere belirli bir enerji projesinin uygulama potansiyelini hızlı ve ucuz bir şekilde değerlendirmede yardımcı olur. Bu, fizibilite öncesi, fizibilite, geliştirme ve mühendislik aşamalarında ortaya çıkan potansiyel enerji projelerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi ile ilgili maliyetlerin ve zamanın önemli ölçüde azaltılmasıyla yapılır [51,53]. RETScreen Uluslararası fotovoltaik proje modeli, üç temel fotovoltaik uygulama için enerji üretimini, yaşam döngüsü maliyetlerini ve sera gazı emisyonlarını azaltmayı kolayca hesaplamak için dünya çapında kullanılmaktadır: şebeke içi; şebeke dışı ve su pompalama [56]. Bu çalışma için RETScreen Expert olarak bilinen yazılımın en son sürümü kullanılmaktadır.

RETScreen yazılımı, bir yenilenebilir enerji projesinin tüm proje yaşam döngüsünü kapsayabilecek bir analizle finansal anlamda anlamlı olup olmadığını belirlemek için kullanılır. Kıyaslama analizi, Fizibilite analizi ve Performans analizini içeren üç ana analiz aracına sahiptir [53,55]. Bu araçlar yazılımın ana ekran arayüzünde halka biçiminde simgelenmiş döngü ile ifade edilmiştir. Seçilen analiz aracına göre Retscreen yazılımı modüllerini ve menülerini otomatik olarak ayarlamakta, yapılacak analiz için girilmesi gereken bilgiler de bu yapılan seçime göre şekillenmektedir.

Karşılaştırma çalışma sayfası, kullanıcının hızlı bir şekilde dünya üzerindeki herhangi bir yer için bir tesis sitesinde başvuru iklim koşullarını sağlayarak bir tesisin enerji performansı ölçmek için [53,55] aynı tesisin tahmini ya da ölçülen yıllık enerji tüketimi ile çeşitli enerji performansını karşılaştırma sağlar. Konum çalışma sayfası ve tesis çalışma sayfası ölçüt altındaki iki çalışma sayfasıdır.

Fizibilite analizi çalışma sayfası, kapsamlı ve ayrıntılı bir analizin yapıldığı yerdir. Analiz, kullanıcıların enerji analizi, maliyet analizi, emisyon analizi, finansal analiz ve duyarlılık / risk analizini içerecek şekilde beş aşamalı bir standart analiz yaparak herhangi bir temiz enerji projesini modellemelerine olanak tanır [53]. Çalışma sayfası, kıyaslama, ürün, proje, hidroloji ve iklim veri tabanlarının yanı sıra, genel temiz enerji proje şablonları ve sıra özel vaka çalışmalarından oluşan kapsamlı bir veri tabanı ile tamamen entegre olan dünya çapındaki enerji kaynağı haritalarına bağlantılara sahiptir.

Performans analizi çalışma sayfası, kullanıcının tesisin gerçek enerji performansı ile öngörülen performansı da içeren tesis operatörlerine, yöneticilerine ve üst düzey karar vericilere temel enerji performansı verilerini izlemesine, analiz etmesine ve raporlamasına olanak tanır. Çalışma sayfası, bir tesisin gerçek enerji performansını tahmin edilen performansına göre izlemek için NASA'dan alınan hava durumu verileri gibi farklı parametrelere dayanan normalleştirilmiş enerji performansını dikkate alarak gelişmiş regresyon ve öngörücü modeller kullanır [53,55].

Kanada hükümetinin geliştirilmesine öncülük ettiği RETScreen Expert yazılımı; Yenilenebilir enerji, verimlilik, fizibilite, performans analizleri gibi başlıklarda temiz enerji analizleri ve raporlamaları yapabilen bir programdır. Profesyonel kullanım sürümü ücrete tabi olan program, kısıtlı görüntüleme işlevlerini barındıran sürümlerinde açık ve ücretsizdir.

Retscreen sürekli kıyaslama, fizibilite, performans ve portföy analizi için temiz enerji yönetim yazılımı sistemidir. Platform, ticari, kurumsal, konut, endüstriyel ve elektrik üretimi dahil olmak üzere çeşitli tesis türleri için uygun maliyetli düşük karbonlu planlama, uygulama, izleme ve raporlama sağlar; ayrıca yenilenebilir enerji, enerji verimliliği, kojenerasyon ve ulaşım dahil olmak üzere çeşitli proje türlerini modeller [53].

Yazılımın menüleri sırasıyla; 1- Dosya, 2-Yer, 3-Tesis, 4-Enerji, 5-Maliyet, 6-Emisyon, 7-Finansman, 8-Risk, 9-Veriler, 10-Analiz, 11-Rapor ve 12 Özel'dir.



Şekil 3.8 Retscreen Expert Yazılımı Arayüzü [53].

Pek çok enerji yatırımı yapılırken RETScreen Expert yazılımı yardımıyla maliyet analizi çalışma sayfası kullanılarak, yatırımı yapılacak tesise dair oluşacak maliyetleri tahmin etmek mümkün olabilmektedir. Bu maliyetleri yıllık ya da yinelenen maliyet olarak değerlendirebiliriz. Maliyet hesabına konu olacak pek çok gider kalemi Retscreen Expert yazılımının veri tabanından otomatik olarak elde edilebilmektedir [57]. Bu verilere coğrafi ve iklim verileri de dahildir.

### **3.2.1. Dosya Menüsü**

Retscreen Expert yazılımını çalıştırıldığında, ilk olarak dosya menüsü açılmaktadır. Bu menüde öncelikle yapılacak analize dair performans, kıyaslama, fizibilite ya da hepsi gibi seçenekler arasından tercihte bulunulması gereklidir. Yazılım bünyesinde bulunan şablonlar sayesinde tercihe yönelik diğer menülerde otomatik formlar ve bilgiler sunmaktadır.

### **3.2.2. Yer Menüsü**

Yer menüsünde analizi yapılacak olan tesisin konumu yazılıma girilerek, tesisin bulunduğu konum için coğrafi ve iklimsel verilere erişim sağlanır. Bu veriler arasında ay ay ya da ortalama olarak, hava sıcaklığı, bağıl nem, yağış miktarı, günlük güneş radyasyonu, atmosferik basınç, rüzgâr, yer sıcaklığı, ısıtma ve soğutma gibi veriler bulunmaktadır.

### **3.2.3. Tesis Menüsü**

Bu menüde tesisin türü, tipi, tesisle ilgili açıklamalar, analizi hazırlayan ve varsa hazırlatan kişi bilgileri, tesisin adres ve ismi gibi bilgiler ilgili bölümlere girilir. Ayrıca tesiste kullanılan ya da üretilen enerji için tüketilen yakıt bilgileri ve oluşan emisyonlar da bu menü altında girilerek analize devam edilir.

### **3.2.4. Enerji Menüsü**

Analizde enerjiye dair tüm bilgiler bu menü altında toplanmıştır. Enerjinin üretimi ve kullanımı ile ilgili bütün ekipmanlar, üretim yöntemleri, tüketim alanları gibi pek çok bilgiyi enerji menüsü içinde ilgili bölümlere girerek analize devam edilir.

### **3.2.5. Maliyet Menüsü**

Analize konu tesis için yapılan tüm harcamalar, çekilen krediler, bakım maliyetleri bu menü altında değerlendirilir. Tesis kurulumu aşamasında oluşan ilk maliyetler ya da üretilen enerji sonucu tasarruf edilen yakıt tutarı gibi bilgilere de bu menüden ulaşılır.

### **3.2.6. Emisyon Menüsü**

Emisyon menüsü altında tesisin bulunduğu bölgenin baz seragazı emisyonu oranları bulunur. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynağı tarafından üretilen enerjiye karşılık gelen seragazı düşüş miktarı da bu menüden görülebilir. Seragazının düşüşüne neden olan faktör geleneksel fosil kaynaklı yakıtlar yerine yenilenebilir ve çevreci kaynaklar ile enerji

üretildiğinde, fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan karbondioksit gibi gazların minimize ediliyor olmasıdır.

### **3.2.7. Finansman Menüsü**

Tesise dair yakıt maliyetleri, teşvik ve hibeler, borç oranı, faizler, faiz vadeleri gibi çok çeşitli finansal verinin girildiği bu menüde alınan değerler; amortisman hesaplamalarının ve analizinin temelini oluşturmaktadır.

### **3.2.8. Risk Menüsü**

Bu menüde yatırıma dair bir duyarlılık aralığı yüzdesi girilerek muhtemel riskler mali bir tablo şeklinde elde edilir. Ayrıca maliyet ve finansman menülerindeki veriler ışığında belirlenebilen duyarlılık aralığına göre minimum ve maksimum olarak ilk maliyetler, işletme ve bakım, yakıt maliyeti gibi çeşitli parametrelerde analizlere ulaşılabilmektedir.

### **3.2.9. Veriler Menüsü**

Veriler menüsü altında tüketim, etkinlik, hava durumu ya da kullanıcının özel olarak tanımladığı veriler ayrıntılı Excel tablosu formunda görüntülenir. Elektrik, Doğalgaz, Su gibi farklı kalemlerde tüketim verilerine bu menü dahilinde ulaşılabilir.

### **3.2.10. Analiz Menüsü**

Bu menüde, elde edilen verilere ilişkin grafikler oluşturulur. İstenilen veriye ait grafik için istenilen zaman aralığına dair grafik çıktısı alınabilmektedir. Tesisten elde edilen net tasarruf miktarına dair grafikler de oluşturulabilir.

### **3.2.11. Rapor Menüsü**

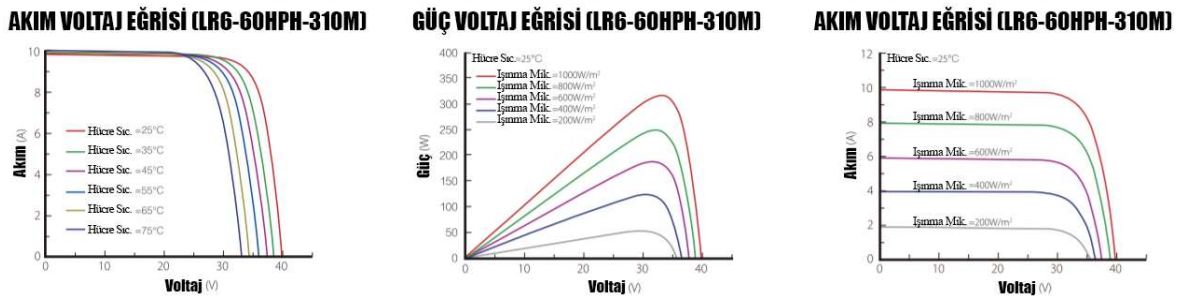
Yazılımda bütün veri girişlerini tamamladıktan sonra bu menü altındaki, Nihai Kullanım, Kıyaslama, Seragazi Emisyonu, Finansal Sürdürülebilirlik, Nakit Akışı, Risk, vb. rapor türlerinden istenilen seçilerek gerekli raporlar oluşturulabilir.

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında İskenderun’da kurulması planlanan bir fotovoltaik güneş enerji güç sistemi enerji üretimi, finansal performansı ve çevreye etkileri bakımından analiz edilmiştir. Analizleri gerçekleştirmek amacıyla Retscreen Expert programı kullanılmıştır.

Çevresel etkilerini karşılaştırabilmek adına geleneksel yöntemlerle elektrik üretimi yapan, fosil yakıt kullanan, yakıt türü olarak kömür tercih edilen bir termik santral ile tesisin seragazı salınımları kıyaslanmış, elde edilen sonuçların ayrıca akaryakıt tüketimi şeklinde de karşılığı grafiksel olarak sunulmuştur.

Güneş enerji santralinde kullanılmak üzere fotovoltaik panel türü olarak monokristal tercih edilmiş, fiyat ve performans kriterleri göz önüne alınarak bir Çin firması olan Longi Solar’ın maksimum 310W güç üreten, LR6-60HPH-310M ürün kodlu fotovoltaik paneli kullanılmıştır (Şekil 4.1.). Fabrika verilerine göre ideal şartlarda %18,8’lere çıkan verime sahip bu panel 2400Pa rüzgâr, 5400Pa kâr yüklerine kadar dayanımına sahiptir.



Şekil 4.1. Fotovoltaik Panel Performans Grafikleri [Longi Solar].

Bir panelde fotovoltaik hücreye eşdeğer 120 yarım hücre bulunmaktadır. Bunun nedeni hücreler üzerinde aşırı yüklerden kaynaklı ısı noktaları oluşması ve bunun sonucunda da verimin düşmesidir. Yarım hücre kullanarak hücreler tam hücrelere kıyasla daha az ısındığı için bu hücrelerin verimleri gözle görülür derecede artmaktadır. Monokristal fotovoltaik panellerde 25 yıllık kullanımdan sonra dahi alınan verimin ilk güne kıyasla %80’in üzerinde kalacağı pek çok firma tarafından garanti edilmektedir. Longi Solar da bu paneli için 25 yıl sonunda %84’ün üzerinde verimi vaat etmektedir.



Güneş Enerjisi Santralini İskenderun’da faaliyet gösteren bir alışveriş merkezinin çatısında kurulacağını kabul ederek Retscreen Expert yazılımında tesis kurulum bölgesi olarak Hatay ili İskenderun ilçesi seçilmiştir. Yazılım İskenderun bölgesi için analizlerde ihtiyaç duyulan iklim verilerini otomatik olarak NASA iklim verileri veri tabanından almaktadır. Bu verilerde fotovoltaik paneller ile elde edilecek elektrik enerjisini hesaplamak için gerekli olan, aylara göre ayrılmış halde, günlük güneş radyasyonu, hava sıcaklığı gibi bilgiler bulunmaktadır (Şekil 4.2.).



Şekil 4.2. İskenderun İlçesi İklim Verileri [53].

İklim verileri incelendiğinde, yıllık ortalama hava sıcaklığının 20,1°C derece, güneş radyasyonunun 4,73kWh/m<sup>2</sup>/yıl değerleri ile güneş enerji santrali kurulumu için İskenderun ilçesinin çok elverişli olduğu anlaşılmaktadır.

Analizini gerçekleştirilen fotovoltaik güneş enerji santralini diğer elektrik üretim yöntemleri ile maliyet açısından kıyaslandığında (Şekil 4.3.), İskenderun bölgesinin yüksek güneş enerji potansiyeli sayesinde geleneksel fosil yakıt kaynaklı enerji üretim yöntemleri kadar ekonomik olduğu görülmüştür.

Fotovoltaik güneş enerji sistemlerinin yenilenebilir ve çevre dostu olma avantajlarına, yerli ve yabancı, destek ve hibeler de eklenince yeni enerji yatırımlarında ilk tercih edilen seçeneklerden olması kaçınılmaz hale gelmiştir.

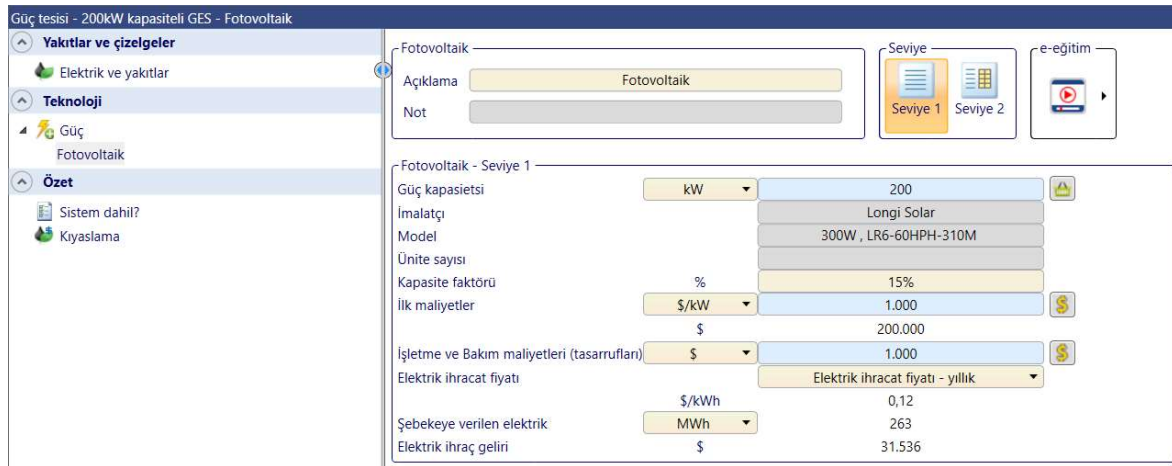


Şekil 4.3. Elektrik Üretim Yöntemlerinin Maliyet Karşılaştırması [53].

Teknolojik gelişmeler, otomasyon sistemlerinin yaygınlaşması ve güneş enerji santrallerine talebin artarak devam etmesi günümüzde kurulum maliyetlerini 1000USD/kWh seviyelerine kadar düşürmüştür. Bu tutar ortalama kalitede bir sistemi temsil etmekte olup, sistem büyüklüğü, kurulumun yapılacağı bölge, kullanılan malzeme kalitesi gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. İskenderun bölgesinde 200kW kapasitede, fotovoltaik

panel verimliliği %18-20 seviyelerinde olan ortalama kalitedeki bir sistemin 200 000 USD yatırımla kurulabileceği kabul edilebilir. Bu sistemin temizlik, bakım, onarım gibi harcamaları için ise yıllık 1000 USD masrafı olacağı öngörülebilir.

2021 yılı 3. Çeyreği için EPDK'nın yayımladığı Elektrik Fiyat Tarifesine göre bir ticarethanenin 1 kWh elektrik enerjisi için 0,12 USD ücret ödediği kabul edilebilir. Bu veriler Retscreen programına eklendiğinde kurulumu planlanan tesisten yıllık 263 MWh elektrik enerjisi üretimi olacağı ve bununla yıllık 31 536 USD kazanç sağlayacağı Şekil 4.4.'te analiz edilmiştir.



Şekil 4.4. Örnek Tesiste Üretilen Elektrik ve Elde Edilen Yıllık Gelir [53].

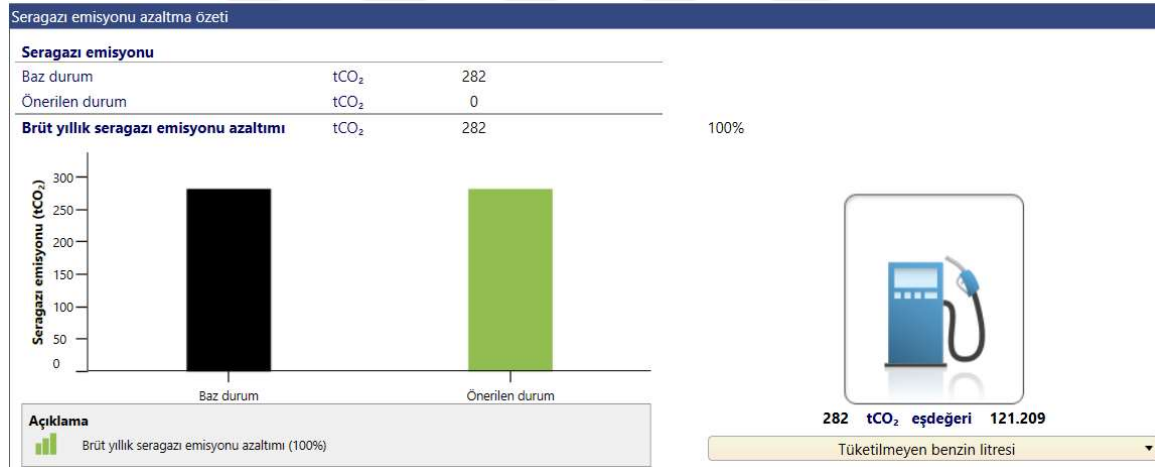
Seragazı salınımı karşılaştırması için analiz edilen güneş santrali ile aynı kapasitede enerji üretecek kömür tipi termik santral kıyaslandığında; termik santralim üreteceği 282 tCO<sub>2</sub>'nin oluşmayacağı anlaşılabilmektedir.

Elektrik enerjisi üretmek için fotovoltaik paneller kullanıldığında seragazı salınımı meydana gelmemektedir. Özellikle kömür seragazı bakımından 1MWh elektrik üretmek için yaklaşık olarak 1tCO<sub>2</sub> açığa çıkardı bilindiğinden en son tercih edilmesi gereken yöntemlerden biridir.

Baz durum elektrik sistemi (Temel)							
Yakıt türü	Yakıt karışımı %	CO <sub>2</sub> emisyon faktörü kg/GJ	CH <sub>4</sub> emisyon faktörü kg/GJ	N <sub>2</sub> O emisyon faktörü kg/GJ	Elektrik üretim verimliliği %	İ&D kayıpları %	Seragazi emisyon faktörü tCO <sub>2</sub> /MWh
Kömür	100,0%	92,7	0,0145	0,0029	33,8%	7,0%	1,073
Elektrik karışımı	100,0%	294,4	0,0461	0,0092		7,0%	1,073
<input type="checkbox"/> Proje boyunca gerçekleşen temel değişiklikleri							
Baz durum sistem seragazi özeti (Temel)							
Yakıt türü	Yakıt karışımı %	CO <sub>2</sub> emisyon faktörü kg/GJ	CH <sub>4</sub> emisyon faktörü kg/GJ	N <sub>2</sub> O emisyon faktörü kg/GJ	Yakıt tüketimi MWh	Seragazi emisyon faktörü tCO <sub>2</sub> /MWh	Seragazi emisyonu tCO <sub>2</sub>
Elektrik	100,0%	294,4	0,0461	0,0092	263	1,073	282
Toplam	100,0%	294,4	0,0461	0,0092	263	1,073	282

Şekil 4.5. Güneş ile Kömür Kaynaklı Elektrik Üretimi Seragazi Karşılaştırması [53].

Elektrik üretimi için yenilenebilir bir kaynak olan güneşi tercih edildiğinde yıllık 112 209 litre akaryakıt kullanımına eşdeğer 282 tCO<sub>2</sub> ortaya çıkışının önüne geçilmiş olmaktadır (Şekil 4.6.).



Şekil 4.6. Tasarruf Edilen Yakıt Tüketim Miktarı [53].

Yenilenebilir kaynakların enerji üretiminde kullanımının yaygınlaşması amacıyla gerek devlet destekleri gerekse uluslararası yardım ve hibeler bu yatırımları her geçen gün daha cazip kılmaktadır. Türkiye’de pek çok kamu ya da özel banka güneş enerji santrali yatırımı adı altında uygun ödeme koşullarına ve uzun vadelere sahip krediler vermektedirler. Yapılacak tesis yatırımının %70-80’i oranında kredi verebilen bankalar bu krediler için de vadeyi 10 ve üstü yıllara yayabilmektedirler.

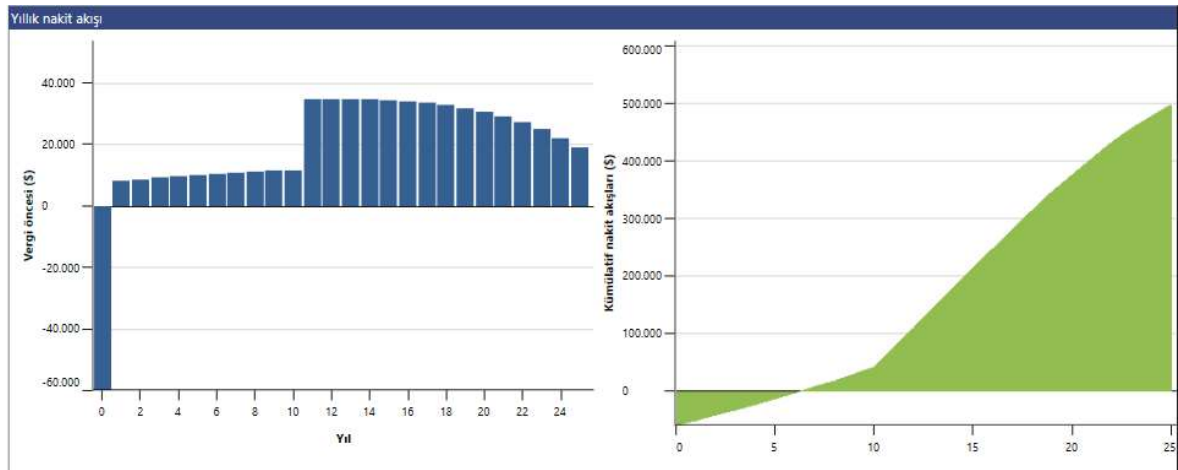
Faiz ve enflasyon oranlarının ülkemizde dünya ortalamaları üzerinde seyretmesi yapılacak her yatırım gibi GES yatırımlarını da olumsuz etkilemektedir. %15'lerin üzerinde olan enflasyon ve desteklerle %5-10 seviyelerine inebilen kredi faiz oranlarına rağmen GES yatırımları kendilerini kurulumlarının üzerinden 10-12 yıl geçmeden amorti edebilmektedirler.

Finansal parametreler		Maliyetler   Tasarruflar   Hasılat		Yıllık nakit akışı		
<b>Genel</b>		<b>İlk maliyetler</b>		<b>Yıl</b>	<b>Vergi öncesi</b>	<b>Kümülatif</b>
Yakıt maliyeti eskalasyon oranı	2%	İlk maliyet	100% \$ 200.000	#	\$	\$
Enflasyon oranı	15%	<b>Toplam ilk maliyetler</b>	<b>100% \$ 200.000</b>	0	-60.000	-60.000
İskonto oranı	0%	<b>Yıllık nakit akışı - Yıl 1</b>		1	8.232	-51.768
Yeniden yatırım oranı	0%	<b>Yıllık maliyetler ve borç ödemeleri</b>		2	8.703	-43.064
Proje ömrü	25	İşletme ve Bakım maliyetleri (tasarrufları)	\$ 1.000	3	9.161	-33.903
<b>Finansman</b>		Borç ödemeleri - 10 yıl	\$ 22.784	4	9.602	-24.301
Tevvikler ve hibeler	\$	<b>Toplam yıllık maliyetler</b>	<b>\$ 23.784</b>	5	10.023	-14.279
Borç oranı	70%	<b>Yıllık tasarruflar ve gelir</b>		6	10.417	-3.861
Borç	\$ 140.000	Elektrik ihraç geliri	\$ 31.536	7	10.781	6.919
Öz varlık	\$ 60.000	SG azaltım geliri	\$ 0	8	11.106	18.025
Borç faiz oranı	10%	Diğer gelir (maliyet)	\$ 0	9	11.386	29.411
Borç vadesi	yıl 10	TE üretim geliri	\$ 0	10	11.612	41.024
Borç ödemeleri	\$/yıl 22.784	<b>Toplam yıllık tasarruflar ve gelir</b>	<b>\$ 31.536</b>	11	34.559	75.582
<b>Gelir vergisi analizi</b>		<b>Net yıllık nakit akışı - Yıl 1</b>	<b>\$ 7.752</b>	12	34.645	110.227
		<b>Finansal sürdürülebilirlik</b>		13	34.642	144.870
<b>Yıllık ciro</b>		Vergi öncesi İGO - özsermaye	% 21,2%	14	34.535	179.405
<b>Elektrik ihraç geliri</b>		Vergi öncesi DDGO - özsermaye	% 9,3%	15	34.306	213.711
Şebekeye verilen elektrik	MWh 263	Vergi öncesi İGO - varlıklar	% 7,7%	16	33.935	247.646
Elektrik ihracat fiyatı	\$/kWh 0,12	Basit geri ödeme	yıl 6,5	17	33.397	281.043
Elektrik ihraç geliri	\$ 31.536	Özsermaye geri ödeme	yıl 6,4	18	32.666	313.708
Elektrik ihracatı eskalasyon oranı	% 2%	Net Şimdiki Değer (NPV)	\$ 497.754	19	31.710	345.419
<b>SG azaltım geliri</b>		Yıllık yaşam döngüsü tasarrufları	\$/yıl 19.910	20	30.494	375.913
Brüt sera gazı azaltımı	tCO <sub>2</sub> /yıl 282	Maliyet-Fayda oranı	9,3	21	28.977	404.890
Brüt sera gazı azaltımı - 25 yıl	tCO <sub>2</sub> 7.052	Borç çevrilebilirliği	1,4	22	27.109	431.999
SG azaltım geliri	\$ 0	Seragazi azaltma maliyeti	\$/tCO <sub>2</sub> -83,03	23	24.838	456.836
<b>Diğer gelir (maliyet)</b>		Enerji üretim maliyeti	\$/kWh 0,081	24	22.099	478.935
<b>Temiz Enerji (TE) üretim geliri</b>				25	18.819	497.754

Şekil 4.7. GES Yatırımının Finansal Analizi [53].

60 000 USD nakit, 140 000 USD kredi çekilerek toplamda 200 000 USD'lik GES yatırımı yapıldığı farz edilirse; bu bölgede kurulacak bir GES'nin 6,4 yıl içinde kendini amorti ettiği hesaplanmıştır. Güneş enerji santrallerinin 25 yılı aşan verimli kullanım ömürleri göz önüne alındığında, bu yatırımın 25. yılını doldurduğunda 500 000 USD'a varan gelir sağlayacağı da ayrıca analiz sonuçlarından görülebilmektedir (Şekil 4.7.).

Fotovoltaik güneş enerji santrali yatırımının yıllık nakit akış grafiğini incelendiğinde elde edilecek kazanç daha anlaşılır hale gelmektedir. İlk maliyetlerde önemli bir yer tutan, 140 000 USD tutarındaki kredi ödemesi 10 yıl boyunca nakit akışında belirgin şekilde fark edilmektedir. Tesisin kurulumundan itibaren 10 yıllık süre tamamlandıktan sonra ise kredi taksitleri bittiği için yatırımın getirisi artık önemli ölçüde arttırmaktadır. Panel üreticileri tarafından verilen 25. yıllık verimli kullanım garanti süresi dolduktan sonra ilk gün verimliliğine oranla %80'in üzerinde verimlilik sunan paneller sayesinde, düzenli ve titiz şekilde bakımları yapılmış bir güneş enerjisi santralinin 25 yıldan sonra dahi yıllarca getirisi olacağı tahmin edilmektedir.



Şekil 4.8. Yıllık Nakit Akışı Grafiği [53].

Güneşten fotovoltaik yöntemle enerji üretimi sırasında verimin panellerin ısınmasıyla ters orantılı şekilde düşmesi sorununa dair yapılan yenilikçi çalışmalar neticesinde hibrit sistemler ortaya çıkmıştır. Bu sistemlerden birinde paneller aracılığı ile elektrik üretilirken aynı zamanda panellerin soğutulması amacıyla sisteme eklenen, içinden su geçen borular sayesinde hem fotovoltaik hücrelerin ısılarının düşmesi sağlanarak verimleri arttırılabilmekte hem de borulardan geçen su sayesinde sisteme ikinci bir iş yaptırılarak suyun ısıtılması sağlanmaktadır.

Özellikle konut ya da alışveriş merkezleri gibi sıcak su ihtiyacı olan yerlerde hibrit sistem kullanımının yakın gelecekte yaygınlaşması beklenmektedir. Üretilen enerji miktarındaki artışın yanında elde edilen sıcak suyun da giderleri azaltması ile hibrit sistemler tercih edildiğinde fotovoltaik yatırımların daha da kârlı hale gelmesi beklenmektedir.

Bu çalışmaya konu olan fotovoltaik yatırımın özsermaye geri ödeme penceresinden yatırımın duyarlılık analizi (Şekil 4.9.) incelendiğinde Retscreen %25'lik duyarlılık oranı ile farklı senaryolar üzerinden yatırımın risklerini sıralamaktadır.

Duyarlılık analizi

Analiz yap - Özsermaye geri ödeme

Duyarlılık oranı 25%

Eşik Değer 7 yıl

- Analizi kaldır

		İlk maliyetler				
		150.000	175.000	200.000	225.000	250.000
Elektrik ihracat fiyatı						
\$/MWh		-25,0%	-12,5%	0,0%	12,5%	25,0%
90,00	-25,0%	6,7	10,4	11,9	13,4	14,9
105,00	-12,5%	4,3	6,5	10,1	11,3	12,5
120,00	0,0%	3,1	4,4	6,4	9,4	10,9
135,00	12,5%	2,4	3,3	4,5	6,2	8,8
150,00	25,0%	2,0	2,7	3,5	4,6	6,2

- Analizi kaldır

		İlk maliyetler				
		150.000	175.000	200.000	225.000	250.000
İşletme ve bakım						
\$		-25,0%	-12,5%	0,0%	12,5%	25,0%
750	-25,0%	3,1	4,3	6,1	8,9	10,7
875	-12,5%	3,1	4,4	6,2	9,1	10,8
1.000	0,0%	3,1	4,4	6,4	9,4	10,9
1.125	12,5%	3,2	4,5	6,5	9,7	11,0
1.250	25,0%	3,2	4,6	6,6	10,0	11,1

- Analizi kaldır

		Borç faiz oranı				
		7,50%	8,75%	10,00%	11,25%	12,50%
Borç oranı						
%		-25,0%	-12,5%	0,0%	12,5%	25,0%
53%	-25,0%	5,7	6,0	6,3	6,7	7,1
61%	-12,5%	5,5	5,9	6,3	6,9	7,5
70%	0,0%	5,2	5,7	6,4	7,2	8,2
79%	12,5%	4,8	5,5	6,4	7,8	9,7
88%	25,0%	4,0	5,0	6,6	9,2	10,4

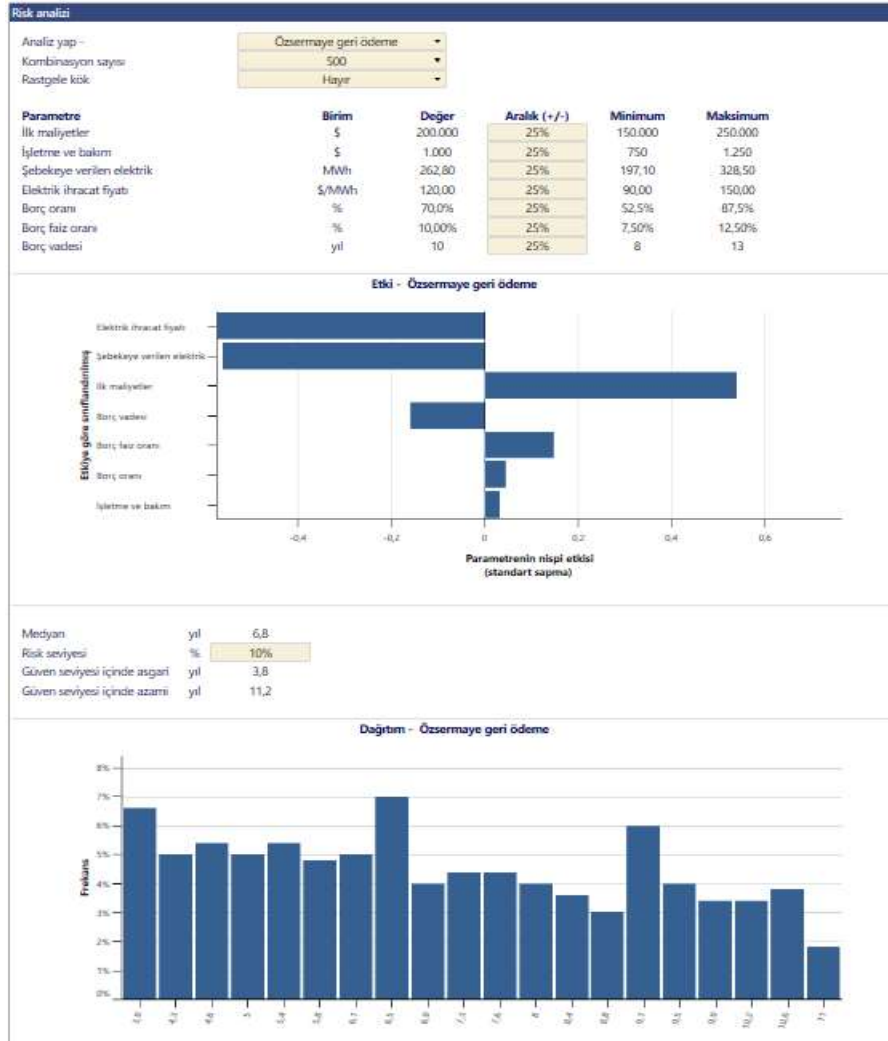
- Analizi kaldır

		Borç faiz oranı				
		7,50%	8,75%	10,00%	11,25%	12,50%
Borç vadesi						
yıl		-25,0%	-12,5%	0,0%	12,5%	25,0%
8	-25,0%	7,1	8,0	8,3	8,6	8,9
9	-12,5%	5,9	6,6	7,4	8,5	9,2
10	0,0%	5,2	5,7	6,4	7,2	8,2
11	12,5%	4,7	5,2	5,7	6,4	7,2
12	25,0%	4,4	4,8	5,2	5,8	6,6

+ Analizi ekle

Şekil 4.9. Duyarlılık Analizi [53].

Örneğin MWh başına 90 ile 150 dolar arasında farklı tutarlarda gelir elde etmenin, yıllık bakım masraflarının 750 ile 1250 dolar arasında değiştiği, borç oranının %53 ile %88 arasında değiştiği ya da borçlanma süresinin 8 ile 12 yıl arasında değiştiği bu senaryolar incelenerek GES işletme sırasında olası risklerin mali etkileri görülebilmektedir. Bu olasılıkları göz önünde bulundurarak mali yapı sağlamlaştırıldığı takdirde olası riskler en aza indirilebilir.



Şekil 4.10. Risk Analizi [53].

Risk analizi tablosu incelediğimizde (Şekil 4.10.), %25 kabul edilen duyarlılık aralığı ışığında, 500 kombinasyon sayısı ile rastgele kök olmadan özsermaye geri ödemesi için;

İlk maliyetler parametresi için 150 bin - 250 bin USD aralığında, işletme ve bakım parametresi için 750 - 1250 USD aralığında, şebekeye verilen elektrik parametresi için 197,10 - 328,50 MWh aralığında, elektrik ihracat fiyatı parametresi için 90 - 120 USD/MWh aralığında, borç oranı parametresi için %52,5 - 87,5 aralığında, borç faiz oranı parametresi için %7,5 - 12,5 aralığında, borç vadresi parametresi için ise 8 - 13 yıl arasında parametreler elde edilmektedir.

Medyan olarak 6,8 yıl, risk seviyesi olarak %10, güven seviyesi içinde asgari 3,8 yıl, güven seviyesi içinde azami olarak ise 11,2 yıl değerlerine ulaşılmaktadır.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, yenilenebilir enerji kaynakları içinde en bol ve temiz enerji sunanların başında gelen güneş enerjisinden yararlanma yollarından biri olan fotovoltaik güneş enerji santrali incelenmiştir. Santral gerek finansal gerekse çevresel parametreler baz alınarak analiz edilmiş ve elde edilen veriler sunulmuştur. Analizleri gerçekleştirmek için Kanada hükümetinin geliştirilmesine öncülük ettiği yenilenebilir enerji kaynakları üzerine analizler yapmaya yarayan Retscreen Yazılımı kullanılmıştır.

Fotovoltaik Güneş Enerji Güç Sisteminin Hatay iline bağlı İskenderun ilçesinde bulunan bir alışveriş merkezinin çatısına kurulacağı varsayılarak yazılımda gerekli veri girişleri yapılmış, bunun sonucunda yazılım NASA uydu veri tabanından da yararlanarak, tesisin kurulacağı konum ile ilgili iklim ve coğrafi bilgileri otomatik olarak sağlamıştır.

Çevresel etkileri karşılaştırmak amacıyla santralden elde edilecek yıllık elektrik miktarına karşılık gelen miktarda elektriği, yakıt olarak kömür kullanan bir termik santralle üretmenin yaratacağı seragazı etkisi analiz edilmiştir. Elektrik üretimi sırasında seragazı salınımı yapmayan fotovoltaik güneş enerji güç sistemine oranla bu sistemin bir yılda üreteceği elektriği üretmek için kömürle çalışan bir termik santralin seragazı salınımı karşılaştırılmıştır.

Bu veriler ve kabuller ışığında elde edilen, bu çalışmanın en önemli sonuçları;

- Çevresel etkiler açısından fotovoltaik güneş enerji güç sisteminin seragazı salınımı bulunmazken, kömür yakıtlı termik santralin GES ile üretilen yıllık 263 MWh elektriği üretebilmek için, 282 tCO<sub>2</sub> seragazı salınımı yapacağı anlaşılmıştır.
- Finansal açıdan ise kurulması planlanan santralin 10 yıl vadeli %70 oranında kredi kullanacağı, yıllık enflasyon oranının %15 olacağı, Tesisin ilk kurulum maliyetinin kWh başına 1000 UDS ortalama değerden hesaplandığında toplamda 200 000 USD olacağı, yıllık bakım/onarım masrafının ise 1000 USD olacağı öngörülmüştür.

- Bunun sonucunda yıllık üretmesi öngörülen 263 MWh elektriğin çatısına santralin kurulduğu alışveriş merkezinde kullanılması sayesinde kWh başına 2021 yılı 3. Çeyreği için EPDK'nın yayımladığı Elektrik Fiyat Tarifesine göre 0,12 USD olan elektrik giderinden yıllık 31 536 USD tasarruf sağlayacağı, geri ödeme süresinin (PBP) ise 6,4 yıl olacağı, 25 yılı aşan verimli kullanım ömrü göz önüne alındığında ise tesisin 25. yılını doldurduğunda 500 000 USD'yi bulan bir getiri sağlayacağı da öngörülmüştür.

Bu çalışma özelindeki varsayımsal karşılaştırmada, Fotovoltaik Güneş Enerji Güç Sistemleri kömür yakıtlı termik santrallere oranla, daha çevreci elektrik üretim yöntemi olarak değerlendirilmiştir.

Fotovoltaik sistemlerin ya da fotovoltaik sistemlerin verimliliklerini arttırmak için geliştirilmeye devam eden hibrit sistemlerin, yakın gelecekte enerji ihtiyacımızı karşılama noktasında kullanımının yaygınlaşması gerek çevresel olumsuz etkilerinin bulunmaması gerekse ekonomik olarak da kârlı birer yatırım olmaya başlamaları nedeniyle uygun olacaktır.

Ayrıca Tarım ve Kırsal Kalkınmayı Destekleme Kurumu'nun yenilenebilir enerji kaynaklarına sağladığı %65'lere varan hibe avantajından da yararlanılarak yatırım maliyetleri önemli ölçüde finanse edilebilir.

Artan sıcaklığın fotovoltaik hücre verimini düşürmesi konusu üzerine araştırmalara yoğunlaşılması, verimliliklerinin artırılması ve üretim maliyetlerinin düşürülmesine yönelik yeni üretim yöntemleri ve malzemelerinin bulunması ve literatüre kazandırılması ise gelecek çalışmalar için önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Erkul, A. (2010). Monokristal, polikristal, amorf silisyum güneş panellerinin verimliliğın incelenmesi ve aydınlatma sistemine uygulanması. *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Yüksek Lisans Tezi*. 22-26.
2. Sağlam, Ş. (2006). Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Aydınlatma Sisteminin Bulanık Mantık ile Kontrolü. *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Doktora Tezi*. 4-7.
3. Enarun, D. (1987). Bina Tasarım Aşamasında Hacim içindeki Doğal Işık Dağılımını Belirlemek için Bir Model. *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Doktora Tezi*. 12-14.
4. Haydaroğlu, C. Gümüş, B. (2016). Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralının PVsyst ile Simülasyonu ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi, *Dicle Üniversitesi Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 7(3): 491-500.
5. Küçükgoze, O.M. (2016). Erzincan İlinde Güneş Enerjili Elektrik Üretim Sisteminin Ekonomik Analizi. *Erzincan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan, Yüksek Lisans Tezi*. 25-26.
6. Minjeong, S. Dongjun, S. (2021). A Heuristic solution and multi-objective optimization model for life-cycle cost analysis of solar PV/GSHP system: A case study of campus residential building in Korea. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. Volume 47. ISSN 2213-1388.
7. Yahiaoui, A. Benmansour, K. Tadjine, M. (2016). Control, analysis and optimization of hybrid PV-Diesel-Battery systems for isolated rural city in Algeria. *Solar Energy*, Volume 158. 941-951.
8. Jäger-Waldau, A. (2020). Snapshot of Photovoltaics. *Energies 2020*. 13(4). 930.

9. Lewis, N.S. Nocera, D.G. (2006). Powering the planet: Chemical challenges in solar energy utilization. *PNAS* 2006, 103 (43) 15729-15735.
10. Rashad, M. Samahy, A.A. Daowd, M. Amin, A.M. (2013). A comparative study on photovoltaic and concentrated solar thermal power plants. *Recent Advances in Environmental and Earth Sciences and Economics*, 167–173.
11. Garni, H.A. Awasthi, A. (2017). Techno-economic feasibility analysis of a solar PV grid-connected system with different tracking using HOMER software. *5th IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE)*. 217–222.
12. Ossorio, J.R.R. Martínez, A.G. Martín, M.S. Suárez, A.M.D. Santos, A.C. Asensio, E.R. (2021). Levelized cost of electricity for the deployment of solar photovoltaic plants: The region of León (Spain) as case study. *Energy Reports*. 7. 199-203.
13. How to Design Solar PV System. [https://www.leonics.com/support/article2\\_12j/articles2\\_12j\\_en.php](https://www.leonics.com/support/article2_12j/articles2_12j_en.php) (Son erişim tarihi: 15.10.2021).
14. IEA (2019), World Energy Outlook 2019, IEA, Paris. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019> (Son erişim tarihi: 15.10.2021).
15. Solar, Wind, Batteries To Attract \$10 Trillion to 2050, But Curbing Emissions Long-Term Will Require Other Technologies Too. <https://about.bnef.com/blog/solar-wind-batteries-attract-10-trillion-2050-curbing-emissions-long-term-will-require-technologies/> (Son erişim tarihi: 15.10.2021).
16. Renewable capacity highlights. <https://www.irena.org/> (Son erişim tarihi: 15.10.2021).
17. Solar resource maps of World. <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/world> (Son erişim tarihi: 15.10.2021).

18. Türkiye Global Güneş Radyasyonu Uzun Yıllar Ortalaması (2004-2018) Heliosat Model Ürünleri. [https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon\\_iller.aspx](https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx) (Son erişim tarihi: 15.10.2021).
19. Güneş. <https://enerji.gov.tr/Preview/tr/974188aa-fa6b-4349-89dd-300b2f7efb24> (Son erişim tarihi: 15.10.2021).
20. Türkiye Global Güneş Radyasyonu Uzun Yıllar Ortalaması (2004-2018) Heliosat Model Ürünleri. [https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon\\_iller.aspx?il=hatay](https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx?il=hatay) (Son erişim tarihi: 15.10.2021).
21. Ajder, A. (2011). Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri İçin Optimum Eğim Açısının Hesaplanması. *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Yüksek Lisans Tezi.* 7-15.
22. Deriş, N. (1979). Güneş enerjisi Sıcak Su ile Isıtma Tekniği. *Sermet Matbaası, İstanbul.* 88-135.
23. Kılıç, A. Öztürk A. (1983). Güneş Enerjisi. *Kipaş Dağıtımculuk, İstanbul.* 35-68.
24. Ruckstuhl, C. Philipona, R. Behrens, K. Coen, M.C. Durr, B. Heimo, A. Matzler, C. Nyeki, S. Ohmura, A. Vuilleumier, L. Weller, M. Wehrli, C. Zelenka, A. (2008). Aerosol and cloud effects on solar brightening and the recent rapid warming. *Geophys Res Lett* 35(12). L12708.
25. Khosa, A.A. Rashid, T. Shah, N.H. Usman, M. Khalil, M.S. (2020). Performance analysis based on probabilistic modelling of Quaid-e-Azam Solar Park (QASP) Pakistan. *Energy Strategy Reviews Volume 29, May 2020.* 100479.
26. Thotakura, S. Kondamudi, S.C. Xavier, J.F. Quanjin, M. Reddy, G.R. Gangwar, P. Davuluri, S.L. (2020). Operational performance of megawatt-scale grid integrated rooftop solar PV system in tropical wet and dry climates of India. *Case Studies in Thermal Engineering Volume 18, April 2020.* 100602.

27. Alshare, A. Tashtoush, B. Altarazi, S. Khalil, H. (2020). Energy and economic analysis of a 5 MW photovoltaic system in northern Jordan. *Case Studies in Thermal Engineering* Volume 21, October 2020. 100722.
28. Peerapong, P. Limmeechokchai, B. (2013). Investment incentive of grid connected solar photovoltaic power plant under proposed feed-in tariffs framework in Thailand. *Energy Procedia*, Volume 52, 2014. 179-189.
29. Kumara, N.M. Guptab, R.P. Mathewc, M. Jayakumard, A. Singhe, N.K. (2019). Performance, Energy loss, and degradation prediction of roof-integrated crystalline solar PV system installed in Northern India. *Case Studies in Thermal Engineering*, Volume 13, March 2019. 100409.
30. Zebra, E.I.C. Windt, H.J. Nhumaio, G. Faaij, A.P.C. (2021). A review of hybrid renewable energy systems in mini-grids for off-grid electrification in developing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume 144, July 2021. 111036.
31. Adedejia, P.A. Akinlabic, S.A. Madushelea, N. Olatunji, O.O. (2021). Beyond site suitability: Investigating temporal variability for utility-scale solar-PV using soft computing techniques. *Renewable Energy Focus* 39 (April). 72-89.
32. Sowe, S. Ketjoy, N. Thanarak, P. Suriwong, T. (2014). Technical and Economic Viability Assessment of PV Power Plants for Rural Electrification in The Gambia. *Energy Procedia* Volume 52, 2014. 389-398.
33. Glaisa, K.A. Elayebb, M.E. Shetwanc, M.A. (2013). Potential of Hybrid System Powering School in Libya. *Energy Procedia* 57. 1411-1420.
34. Vermaak, H.J. (2014). Techno-economic analysis of solar tracking systems in South Africa. *Energy Procedia*, Volume 61, 2014. 2435-2438.

35. Tarigan, E. Djuwaria, Kartikasari, F.D. (2014). Techno-Economic Simulation of a Grid-Connected PV System Design as Specifically Applied to Residential in Surabaya, Indonesia. *Energy Procedia*, Volume 65, 2015. 90-99.
36. Alsheghri, A. Sharief, S.A. Rabbani, S. Aitzhan, N.Z. (2015). Design and Cost Analysis of a Solar Photovoltaic Powered Reverse Osmosis Plant for Masdar Institute. *Energy Procedia*, Volume 75, August 2015. 319-324.
37. Peeraponga, P. Limmeechokchaia, B. (2015). Optimal Photovoltaic Resources Harvesting in Grid-connected Residential Rooftop and in Commercial Buildings: Cases of Thailand. *Energy Procedia*. Volume 79, 2015. 39-46.
38. Anderson, W. Chai, Y. (1976). Becquerel effect solar cell, Energy Conversion, *Energy Conversion*, Volume 15, Issues 3-4, 1976. 85-94.
39. Green, M.A. (1982). Solar cells: Operating principles, technology, and system applications. *Prentice-Hall*. 84-92.
40. Graf, R.F. (1999). Modern dictionary of electronics. *Elsevier*. ISBN 978-0-08-051198-6.
41. Sulukan, E. (2020). İstanbul'da bir fotovoltaik sistemin tekno-ekonomik ve çevresel analizi, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*. 2020, Vol. 26 Issue 1. 127-132.
42. Parlak, K.Ş. (2014). Pv array reconfiguration method under partial shading conditions, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 63. 713-721.
43. Özcan, Ö. İzgi, E. (2020). Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Çatı Sisteminin Performans Analizi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 23(3). 127-140.
44. Yaver, S. (2020). Hatay İklim Koşullarında Fotovoltaik Modül Yüzey Sıcaklığının Modül Verimine Etkisinin Belirlenmesi. *Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri*

- Enstitüsü, Hatay, Yüksek Lisans Tezi.* 13-18.
45. Güneş, C. (2021). Fotovoltaik Güneş Enerji Santrallerinin Tasarımı, Bakımı, Onarımı ve İşletilmesi. *Adıyaman Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Adıyaman, Yüksek Lisans Tezi.* 8-14.
46. Sağlam, E. (2018). Fotovoltaik Santrallerin Kurulum Aşamaları ve işletimdeki santrallerin gerçek üretim değerlerinin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması. *İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.* 8-13.
47. Photovoltaics Report, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE with support of PSE Projects GmbH. <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf> (Son erişim tarihi: 08.10.2021).
48. Haydaroğlu, C. (2017). Performance Analysis Of Dicle University Solar Power Plant. *DUMF Mühendislik Dergisi* 7 (3). 491-500.
49. Solar Akü. [https://www.bagimsizenerji.com/solar\\_akü.html](https://www.bagimsizenerji.com/solar_akü.html) (Son erişim tarihi: 28.08.2021).
50. Şarj Kontrol Cihazı Nedir? Nasıl Seçilir?. <https://muhendistan.com/sarj-kontrol-cihazı-nedir-nasil-secilir/> (Son erişim tarihi: 28.08.2021).
51. Mehmood, A. Shaikh, F.A. Waqas, A. (2014). Modeling of the solar photovoltaic systems to fulfill the energy demand of the domestic sector of Pakistan using RETSCREEN software. *International Conference and Utility Exhibition on Green Energy for Sustainable Development (ICUE), 2014.* 1-7.
52. Thevenard, D. Leng, G. Martel, S. (2000). The retscreen model for assessing potential PV projects. *IEEE Photovoltaic Specialists Conference-2000.* 1626-1629.



53. RETScreen. <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465> (Son erişim tarihi: 28.08.2021).
54. Lee, K.H. Lee, D.W. Baek, N.C. Kwon, H.M. Lee, C.J. (2012). Preliminary determination of optimal size for renewable energy resources in buildings using RETScreen. *Energy Volume 47, Issue 1, November 2012.* 83-96.
55. RETScreen Clean Energy Management Software. [https://energypedia.info/wiki/RETScreen\\_Clean\\_Energy\\_Management\\_Software](https://energypedia.info/wiki/RETScreen_Clean_Energy_Management_Software) (Son erişim tarihi: 08.10.2021).
56. Mirzahosseini, A.H. Taheri, T. (2012). Environmental, technical and financial feasibility study of solar power plants by RETScreen, according to the targeting of energy subsidies in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews 16(5).* 2806-2811.
57. Günaydın Tanç, T.G. (2020). Kömür ve Doğalgaz ile Çalışan Termik Santrallerin Retscreen Programı ile Çevresel Etkilerinin Karşılaştırılmalı İncelenmesi. *İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, Yüksek Lisans Tezi.* 3-6, 11-14.
58. Google Görseller. <https://www.google.com/imghp?hl=tr> (Son erişim tarihi: 08.10.2021).

## DİZİN

---

### **A**

Akım · 18, 19, 25  
 Akü · Vii, Xi, Xii, 14, 25, 26  
 Atmosfer · 1  
 Azimut · Viii, 11

---

### **B**

Biyolojik · 1

---

### **C**

Co<sub>2</sub> · X, 3, 15

---

### **E**

Elektrik · İv, 2, 4, 5, 7, 9, 12,  
 15, 16, 17, 18, 20, 24, 25,  
 28, 31, 32, 33, 34, 35, 38,  
 40, 41, 42  
 Emisyon · Vii, 28, 30  
 Enerji · İv, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7,  
 12, 13, 14, 15, 17, 18, 23,  
 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30,  
 31, 33, 34, 35, 36, 37, 38,  
 41, 42, 45  
 Enerji · İv, Vii, Viii, Xi, 3, 4,  
 5, 7, 8, 9, 16, 17, 26, 28,  
 29, 41, 42, 47  
 Enlem · Viii, X, 10

---

### **F**

Fosil · İv, 2, 30, 31, 33

Fotovoltaik · 2, 3, 4, 5, 12, 13,  
 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20,  
 21, 23, 24, 25, 26, 31, 32,  
 33, 34, 35, 38, 41, 42, 47

---

### **G**

Güneş · İv, Vii, Viii, İx, Xi, 1,  
 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12,  
 14, 16, 17, 18, 20, 25, 31,  
 32, 35, 37, 41, 42, 43, 45,  
 47  
 Gw · X, 4, 5

---

### **H**

Hatay · Viii, 8, 9, 32, 41, 47

---

### **I**

Işıma · 18

---

### **İ**

İklim · 1, 4, 8, 27, 29, 32, 41  
 İklim · Viii, 3, 33, 47  
 İnvörtör · 16, 24

---

### **K**

kWh · iv, v, x, 8, 12, 13, 14,  
 15, 34, 41, 42

---

### **M**

Maliyet · vii, ix, xi, 28, 29,  
 30, 34  
 Monokristal · vii, viii, 20, 21,  
 22, 23, 32, 43  
 MW · x, 5, 7, 12, 13, 14, 45

---

### **O**

oksijen · 2

---

### **P**

Pironometre · viii, 11  
 PV · ii, iii, iv, v, viii, xi, 6, 12,  
 14, 15, 16, 18, 43, 44, 45,  
 46, 48

---

### **R**

Retscreen · iv, v, vii, viii, 26,  
 27, 28, 29, 31, 32, 34, 38,  
 41, 49  
 Risk · vii, ix, 28, 30, 31, 40

---

### **S**

silikon · 18, 21, 22, 23



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

**İSTE**

