

**T.C.**  
**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ**  
**SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**  
**İŞLETME ANABİLİM DALI**

**GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ YATIRIMLARININ**  
**EKONOMİK ANALİZİ**

**DOKTORA TEZİ**

**MELEK AKSU**

**BALIKESİR, 2021**



**T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ  
İŞLETME ANABİLİM DALI**

**GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ YATIRIMLARININ EKONOMİK  
ANALİZİ**

**DOKTORA TEZİ**

**MELEK AKSU**

**TEZ DANIŞMANI**

**PROF. DR. ŞAKİR SAKARYA**

**BALIKESİR, 2021**

**T.C.**  
**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ**  
**SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

**TEZ ONAYI**

Enstitümüzün İşletme Anabilim Dalı'nda 201612508003 numaralı Melek AKSU'nun hazırladığı "Güneş Enerjisi Santrali Yatırımlarının Ekonomik Analizi" konulu DOKTORA tezi ile ilgili TEZ SAVUNMA SINAVI, Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 21.06.2021 tarihinde yapılmış, sorulan sorulara alınan cevaplar sonunda tezin onayına OY BİRLİĞİ/OY ÇOKLUĞU ile karar verilmiştir.

Üye (Başkan) Prof. Dr. Hakan SARITAŞ	İmza
Üye (Danışman) Prof. Dr. Şakir SAKARYA	İmza
Üye Doç. Dr. Mustafa Cem KIRANKABEŞ	İmza
Üye Doç. Dr. Sinan AYTEKİN	İmza
Üye Doç. Dr. Sevinç GÜLER ÖZÇALIK	İmza

.../.../2021

Prof. Dr. Kenan Ziya TAŞ  
Enstitü Müdürü

## ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

21/06/2021

İmza

Melek AKSU

## ÖNSÖZ

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin oldukça yüksek olması, GES kurulum maliyetlerinin giderek azalması ve güneş enerjisi yatırımlarını destekleyici politikaların varlığı ülkede güneş enerjisi yatırımlarına olan talebi artırmıştır. Bu bağlamda bu tez ile Türkiye'de GES yatırımlarının proje değerlendirme yöntemlerine göre yapılabilişinin ortaya konulması ve GES yatırımının ekonomik ömrü süresince meydana gelecek yatırımın terk edilmesi gibi yönetsel karar değışikliklerinin yatırımın yapılabilişine etkisinin reel opsiyon yöntemi kullanılarak tespit edilmesi amaçlanmıştır. GES yatırımlarının ekonomik analizinin ele alındığı bu çalışma hızla büyüyen Türkiye güneş enerjisi sektörü ve yatırımcıları açısından büyük önem taşımaktadır.

Tez çalışmam süresince önerileri ile çalışmamın ilerlemesine katkı sunan değerli danışman hocam Prof. Dr. Şakir Sakarya'ya, tez izleme jürisinde bulunarak önerileriyle tezime farklı bir bakış açısı sunan Doç. Dr. M. Cem Kırankabeş ve Doç. Dr. Sinan Aytekin hocalarıma, tez savunma jürisinde bulunarak değerli katkılarını sunan Prof. Dr. Hakan Sarıtaş ve Doç. Dr. Sevinç Güler Özçalık hocalarıma ve akademik kariyer yolculuğumda bilgi ve tecrübesi ile bana yol gösteren ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Hasan Hüseyin Yıldırım'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi desteğiyle her zaman yanımda olan kıymetli eşim Sadık Aksu ve kalbimizdeki umudu yeşerten aziz misafirimiz, oğlumuz Kerem Aksu'ya varlıklarıyla bana güç verdikleri için minnettirim.

Desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve bugünlere gelmemde büyük emeği olan aileme ve bu süreçte ne zaman ihtiyacımız olsa sorgusuz sualsiz destek veren kardeşim Yusuf Aksu'ya teşekkür ederim.

Doktora eğitimimi ve tez çalışmamı destekleyen TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığına da ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

**BALIKESİR, 2021**

**MELEK AKSU**

## ÖZET

### GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRALİ YATIRIMLARININ EKONOMİK ANALİZİ

**AKSU, Melek**

**Doktora, İşletme Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şakir SAKARYA**

**2021, 120 Sayfa**

Yenilenebilir enerji yatırımlarının Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığının azaltılabilmesinde oldukça önemli bir role sahip olması nedeniyle güneş enerjisi yatırımlarının ekonomik bağlamda değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Tezde Türkiye'de büyük ölçekli güneş enerjisi santrali yatırımlarının ekonomik açıdan yapılabilirliği indirgenmiş nakit akımı yöntemiyle değerlendirilmiştir. Yönetimsel karar esnekliğinin yatırımın değeri ve yapılabilirliği üzerindeki etkisi de reel opsiyon yöntemi ile incelenmiştir.

İndirgenmiş nakit akımı yöntemi sonuçları güneş enerjisi santrali yatırımının politika mekanizmalarıyla desteklendiği durumda yapılabilir olduğunu gösterirken, yatırımın desteklenmemesi durumunda ekonomik açıdan yapılamayacağı sonucuna ulaşılmıştır. Monte Carlo simülasyonu sonucunda yatırımın net bugünkü değerinin pozitif olma olasılığı yatırımın politika mekanizmalarıyla desteklendiği durumda %64,1, desteklenmediği durumda ise %30,1 olarak tespit edilmiştir.

Reel opsiyon yöntemi sonucunda yatırımın desteklendiği ve desteklenmediği durumlarda yönetimin yatırımı terk etme karar esnekliğinin yatırımın ve net bugünkü değerini stratejik değerini artırdığı sonucuna ulaşılmıştır. Herhangi bir destekten yararlanılmayan durumda terk etme opsiyonu yatırımın yapılmaması kararını değiştirmede etkili olmasa da kaybı sınırlandırma noktasında önemli bir araç olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş Enerjisi Santrali Yatırımları, Ekonomik Analiz, Sermaye Bütçelemesi, Reel Opsiyon

# **ABSTRACT**

## **ECONOMIC ANALYSIS OF SOLAR POWER PLANT INVESTMENTS**

**AKSU, Melek**

**PhD Thesis, Department of Business Administration**

**Advisor: Prof. Şakir SAKARYA**

**2021, 120 pages**

Economic analysis of solar energy investments is significant for Turkey due to its significant role in decreasing the dependency rate of Turkey on energy import. In this context, the economic viability of large-scale solar power plant investment in Turkey has been evaluated using the discounted cash flow method. The effect of managerial flexibility on the value of investment and its viability has been analysed by the method of real option.

The results of the discounted cash flows method demonstrate that the investment is economically viable when it is supported by the government incentives but is not viable when it is not supported by any policy mechanism of government. As a result of the Monte Carlo simulation, the probability of the net present value of the investment being positive was determined as 64.1% in case of incentive, and 30.1% in the lack of incentive.

Results of the real option of abandonment demonstrate that managerial flexibility increases the strategic value of the investment and the net present value in the situations of incentive and without incentive. The real option has no effect on changing the decision not to invest in the situation of no incentive, but it is an important tool in limiting the loss.

**Keywords:** Solar Power Plant Investments, Economic Analysis, Capital Budgeting, Real Options



# İÇİNDEKİLER

<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÇİZELGELER LİSTESİ</b> .....	<b>ix</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Problem.....	2
1.2. Amaç.....	3
1.3. Önem .....	3
1.4. Varsayımlar .....	4
1.5. Sınırlılıklar.....	4
1.6. Tanımlar .....	4
<b>2. İLGİLİ ALANYAZIN</b> .....	<b>6</b>
2.1. Kuramsal Çerçeve .....	6
2.1.1. Enerji Kaynakları.....	6
2.1.1.1. Yenilenemeyen Enerji Kaynakları .....	7
2.1.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları .....	7
2.1.2. Dünyada Enerji Görünümü.....	10
2.1.2.1. Dünyada Enerji Üretim ve Tüketimi.....	10
2.1.2.2. Dünyada Güneş Enerjisinin Durumu .....	14
2.1.2.3. Dünyada Güneş Enerjisi Yatırımları .....	17
2.1.3. Türkiye’de Enerji Görünümü.....	19
2.1.3.1. Türkiye’de Enerji Üretim ve Tüketimi .....	19
2.1.3.2. Türkiye’de Güneş Enerjisinin Durumu .....	23
2.1.3.3. Türkiye’de Güneş Enerjisi Yatırımları.....	28
2.1.4. Türkiye’de Güneş Enerjisinde Yasal Çerçeve .....	34
2.1.5. Güneş Enerjisinde Gelişmeyi Destekleyen Enerji Politikaları .....	37
2.1.5.1. Tarife Garantisi ve Prim Ödemesi.....	41
2.1.5.2. İhale Usulü .....	43

2.1.5.3. Yenilenebilir Enerji Kota Sistemi (Yenilenebilir Enerji Portföy Standardı).....	43
2.1.6. GES Yatırımları Finansman Kaynakları.....	44
2.1.6.1. Özsermaye Finansmanı .....	45
2.1.6.1.1. Sermaye ve Sermaye Piyasası İşlemleri .....	45
2.1.6.1.2. Hibeler .....	46
2.1.6.1.3. Girişim Sermayesi Yatırım Fonu.....	46
2.1.6.2. Borç Finansmanı .....	48
2.1.6.2.1. Uzun Vadeli Krediler .....	48
2.1.6.2.2. Leasing .....	51
2.1.6.2.3. Yeşil Tahvil ve Yeşil Sukuk.....	52
2.1.6.3. Kitlesele Fonlama .....	54
2.1.7. GES Yatırımlarının Maliyet Yapısı .....	55
2.1.8. GES Yatırımlarının Finansal Modellemesinde Kullanılan Yöntemler.....	58
2.1.8.1. İndirgenmiş Nakit Akımı Yöntemi .....	59
2.1.8.2. Reel Opsiyon Yöntemi.....	61
2.1.8.2.1. Reel Opsiyon Yönteminin Özellikleri.....	62
2.1.8.2.2. Reel Opsiyon Türleri .....	64
2.1.8.2.3. Reel Opsiyon Değerleme Yöntemleri .....	66
2.1.8.2.3.1. Black ve Scholes Opsiyon Değerleme Yöntemi.....	67
2.1.8.2.3.2. Binom Opsiyon Değerleme Yöntemi .....	68
2.2. İlgili Çalışmalar .....	71
2.2.1. Güneş Enerjisi Yatırımlarının Analizinde İndirgenmiş Nakit Akımı Yönteminin Kullanıldığı Çalışmalar.....	71
2.2.2. Yenilenebilir Enerji Yatırımlarının Analizinde Reel Opsiyon Yönteminin Kullanıldığı Çalışmalar.....	74
<b>3. YÖNTEM.....</b>	<b>76</b>
3.1. Araştırmanın Modeli .....	76
3.2. Araştırmanın Örneklemi.....	77
3.3. Veri Toplama Araç ve Teknikleri.....	78
3.4. Verilerin Toplanma Süreci .....	80
3.4.1. İndirgenmiş Nakit Akım Yönteminde Kullanılan Verilerin Toplanma Süreci .....	80
3.4.1.1. Güneş Işınım Tahmini.....	80
3.4.1.2. GES’lerde Enerji Kayıpları ve Panellerde Aşınma.....	81
3.4.1.3. GES Gelirlerine İlişkin Parametreler .....	82

3.4.1.4. Sermaye Harcamaları (CAPEX) ve Operasyonel Harcamalar (OPEX)	83
3.4.1.5. Finansal Parametreler	85
3.4.2. Reel Opsiyon Analizinde Kullanılan Verilerin Toplanma Süreci	86
3.4.2.1. Dayanak Varlık Değerinin Belirlenmesi	86
3.4.2.2. Kullanım Fiyatının Belirlenmesi	87
3.4.2.3. Volatilitenin Belirlenmesi	88
3.5. Araştırmanın Varsayımları	89
3.6. Verilerin Analizi	90
<b>4. BULGULAR VE YORUMLAR</b>	<b>91</b>
4.1. İndirgenmiş Nakit Akım Yöntemine Dayalı Risk Modelleme	91
4.2. Reel Opsiyon Analizi	94
4.2.1. GES Yatırımında Destekten Yararlanılan Durumda Terk Etme Opsiyonu Analizi	94
4.2.2. GES Yatırımının Desteklenmediği Durumda Terk Etme Opsiyonu Analizi	97
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER</b>	<b>101</b>
5.1. Sonuç	101
5.2. Öneriler	103
<b>KAYNAKÇA</b>	<b>105</b>

## ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1. Bölgesel Bazda Enerji Tüketiminin Geçmişi ve Geleceği (katrilyon BTU) .....	11
Çizelge 2. Elektrik Tüketimi (terawatt saat) .....	11
Çizelge 3. Dünyada Kaynak Bazında Birincil Enerji Tüketimi (katrilyon BTU).....	12
Çizelge 4. Dünya Toplam Enerji Üretimi (katrilyon BTU) .....	12
Çizelge 5. Enerji Üretiminde Yenilenebilir Enerjinin Payı .....	13
Çizelge 6. Enerji Üretiminde Yenilenebilir Kaynakların Payı (Bölgesel).....	13
Çizelge 7. Dünya Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Göre Elektrik Kapasitesi (MW) ve Elektrik Üretim (GWh) .....	14
Çizelge 8. Dünyada Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim ve Kapasitesi .....	16
Çizelge 9. İlk 10 Fotovoltaik Enerji Piyasasının Yıllar İtibariyle Gelişimi .....	17
Çizelge 10. 2019 Yılı Türkiye Genel Enerji Denge Tablosu (bin TEP) .....	20
Çizelge 11. 2019 Yılı Türkiye Elektrik Enerjisi Üretimine Kaynaklara Göre Dağılımı.....	21
Çizelge 12. 2019-2039 Yılları Arasında Türkiye Elektrik Enerjisi Talep Projeksiyonu .....	22
Çizelge 13. Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı .....	24
Çizelge 14. Güneş Enerjisinde Kurulu Kapasite ve Elektrik Üretimi.....	26
Çizelge 15. Güneş Enerjisinde Kuruluşlara Göre Kurulu Güç (MW) ve Santral Adetleri.....	27
Çizelge 16. Yenilenebilir Enerji Ülke Çekiciliği Endeksi (RECAI).....	31
Çizelge 17. Lisanslı Fotovoltaik Enerji Santralleri .....	33
Çizelge 18. Yenilenebilir Enerjiden Elektrik Üretimini Destekleme Politikaları.....	38
Çizelge 19. Enerji Sektörü Politikalarının Sınıflandırılması.....	39
Çizelge 20. Yenilenebilir Enerji Yatırımlarında Kullanılan Finansal Araçlar.....	44
Çizelge 21. GES Maliyetlerini ve Uygulanabilirliğini Etkileyen Faktörler.....	56
Çizelge 22. Reel Opsiyon Türleri ve Finansal Opsiyonlarda Karşılıkları .....	64
Çizelge 23. GES Yatırımlarının Değerlemede İndirgenmiş Nakit Akımı Yöntemini Kullanan Çalışmaların Sınıflandırılması.....	73
Çizelge 24. Yenilenebilir Enerji Yatırımlarının Değerlemesi Üzerine İncelenen Çalışmalar .....	74
Çizelge 25. Modül Düzlemine Düşen Enerji Miktarı .....	81
Çizelge 26. Şebekeye Verilen Elektrik Miktarının Hesaplanması.....	82

Çizelge 27. Türkiye’de Şebeke Ölçeğinde Fotovoltaik Santral Kurulum Maliyetinin Bileşenleri .....	84
Çizelge 28. Reel Opsiyon Modellemede Kullanılan Volatilitte.....	88
Çizelge 29. Araştırmanın Varsayımları.....	89
Çizelge 30. Fotovoltaik Enerji Santrali Yatırımı Yapılabilirlik Göstergeleri.....	92



## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Cari İşlemler Hesabı, Enerji Dış Ticareti (2010-2020).....	2
Şekil 2. Dünya Yataydaki Toplam Işınım (Global Horizontal Irradiation) .....	14
Şekil 3. Dünya Direkt Normal Işınım (Direct Normal Irradiation) .....	15
Şekil 4. Dünya Fotovoltaik Enerji Potansiyeli.....	15
Şekil 5. Güneş Enerjisi Yeni Yatırımlarında Global Trend (milyar dolar).....	18
Şekil 6. Ortalama Yıllık Fotovoltaik Güneş Enerjisi Yatırımı (milyar USD/yıl) .....	19
Şekil 7. Elektrik Üretim ve Tüketiminin Yıllar İtibariyle Değişimi (%).....	20
Şekil 8. Yerli ve İthal Kaynaklı Elektrik Enerjisi Üretiminin Toplam Türkiye Üretimi İçindeki Payı (2000-2019).....	21
Şekil 9. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası.....	24
Şekil 10. Türkiye Fotovoltaik Enerji Potansiyeli.....	25
Şekil 11. Türkiye Global Radyasyon Değerleri ve Güneşlenme Süreleri.....	25
Şekil 12. YEKDEM Güneş Enerjisi Kurulu Güç (MW).....	28
Şekil 13. Güneş Enerjisi Öngörülen Kapasiteler/Gerçekleşme (MW).....	28
Şekil 14. Türkiye'nin Enerji Bağımlılığı (%) .....	29
Şekil 15. Enerji Kaynaklarının Dünya Ortalama Fiyatları: 2010-2019 .....	30
Şekil 16. GES Yatırımlarının Enerji Yatırımlarına Oranı.....	31
Şekil 17. Türkiye Fotovoltaik Enerji Pazarı.....	32
Şekil 18. Güneş Enerjisi Yatırımlarını İlgilendiren Yasal Çerçeve.....	34
Şekil 19. Yenilenebilir Enerji Destek Mekanizmalarını Uygulayan Ülke Sayıları ...	40
Şekil 20. Özsermaye Finansman Modeli .....	45
Şekil 21. Kredi Komiteleri Proje Değerlendirme Süreci .....	49
Şekil 22. EPC Şirketi Finansman Modeli .....	50
Şekil 23. Proje Finansman Modeli .....	50
Şekil 24. Yeşil Tahvil ile Finanse Edilen Enerji Yatırımlarının Kaynaklara Göre Dağılımı.....	53
Şekil 25. İndirgenmiş Nakit Akımlarının Hesaplanma Aşamaları.....	59
Şekil 26. NBD ve Reel Opsiyon Kullanımının Sınırları .....	62
Şekil 27. Dayanak Varlık Değerinin Binom Ağacı.....	70
Şekil 28. Araştırmanın Modeli.....	76
Şekil 29. Konya İli Güneşlenme Haritası.....	77
Şekil 30. GES Santral Lokasyonu.....	78
Şekil 31. Fotovoltaik Santralin Ekonomik Ömrünün Aşamaları .....	78

Şekil 32. Modüllerde Meydana Gelecek Aşınma Oranları .....	82
Şekil 33. Fotovoltaik Enerji Yatırımında OPEX .....	84
Şekil 34. Santral Ekipmanının Yeniden Satış Değeri .....	87
Şekil 35. GES Yatırımının Desteklenmesi Durumunda Duyarlılık Analizi Sonuçları .....	93
Şekil 36. GES Yatırımında Destek Olmaması Durumunda Duyarlılık Analizi Sonuçları .....	93
Şekil 37. Yatırımın Desteklendiği Durumda Terk Etme Opsiyonu (Dayanak Varlık Ağacı).....	95
Şekil 38. Yatırımın Desteklendiği Durumda Terk Etme Opsiyonu (Değerleme Ağacı) .....	96
Şekil 39. Yatırımın Desteksiz Yapıldığı Durumda Terk Etme Opsiyonu (Dayanak Varlık Ağacı).....	98
Şekil 40. Yatırımın Desteksiz Yapıldığı Durumda Terk Etme Opsiyonu (Değerleme Ağacı).....	99

## KISALTMALAR LİSTESİ

<b>BD</b>	: Nakit Girişlerinin Bugünkü Değeri
<b>BSKO</b>	: Borç Servisi Karşılama Oranı
<b>CAPEX</b>	: Sermaye Harcamaları
<b>DNI</b>	: Direkt Normal Işınım
<b>EBRD</b>	: Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası
<b>EIB</b>	: Avrupa Yatırım Bankası
<b>EPC</b>	: Mühendislik, Tedarik, Kurulum
<b>EPDK</b>	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
<b>EPIA</b>	: Avrupa Fotovoltaik Sanayi Birliği
<b>EPIAŞ</b>	: Enerji Piyasaları İşletme A.Ş.
<b>ETKB</b>	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
<b>GEPA</b>	: Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
<b>GES</b>	: Güneş Enerjisi Santrali
<b>GHI</b>	: Global Yatay Işınım
<b>GİB</b>	: Gelir İdaresi Başkanlığı
<b>GNBD</b>	: Genişletilmiş Net Bugünkü Değer
<b>GÖS</b>	: Geri Ödeme Süresi
<b>GÜNDER</b>	: Güneş Enerjisi Derneği
<b>GW</b>	: Giga Watt
<b>GWh</b>	: Giga Watt Saat
<b>IEA</b>	: Uluslararası Enerji Kurumu
<b>IET</b>	: Uluslararası Enerji Geçişi
<b>IFC</b>	: Uluslararası Finans Kurumu
<b>IRENA</b>	: Uluslararası Yenilenebilir Enerji Kurumu
<b>İGÖS</b>	: İndirgenmiş Geri Ödeme Süresi
<b>İKO</b>	: İç Kârlılık Oranı
<b>KDV</b>	: Katma Değer Vergisi
<b>kWh</b>	: KiloWatt saat
<b>LCOE/LCE</b>	: Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti
<b>MARR</b>	: Kabul Edilebilir Minimum Kâr Oranı
<b>MCS</b>	: Monte Carlo Simülasyonu
<b>MidSEFF</b>	: Orta Büyüklükte Sürdürülebilir Enerji Finansmanı Kurumu



<b>MW</b>	: Megawatt
<b>NBD</b>	: Net Bugünkü Değer
<b>NREL</b>	: Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı
<b>OECD</b>	: Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü
<b>OPEX</b>	: Operasyonel Harcamalar
<b>RECAI</b>	: Yenilenebilir Enerji Ülke Çekiciliği Endeksi
<b>REN21</b>	: XXI. Yüzyıl İçin Yenilenir Enerji Politikası Açı
<b>RENAC</b>	: Yenilenebilir Akademi
<b>RES4MED</b>	: Akdeniz İçin Yenilenebilir Enerji Çözümleri
<b>ROI</b>	: Yatırımın Getiri Oranı
<b>TEİAŞ</b>	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
<b>TEP</b>	: Ton Eşdeğer Petrol
<b>TMMOB</b>	: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
<b>TSKB</b>	: Türkiye Sınai Kalkınma Bankası
<b>TurSEFF</b>	: Türkiye Sürdürülebilir Enerji Finansman Programı
<b>TÜBA</b>	: Türkiye Bilimler Akademisi
<b>TWh</b>	: Terawatt saat
<b>UNDP</b>	: Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı
<b>W</b>	: Watt
<b>WEC</b>	: Dünya Enerji Konseyi
<b>YEGM</b>	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
<b>YEKDEM</b>	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması

# 1. GİRİŞ

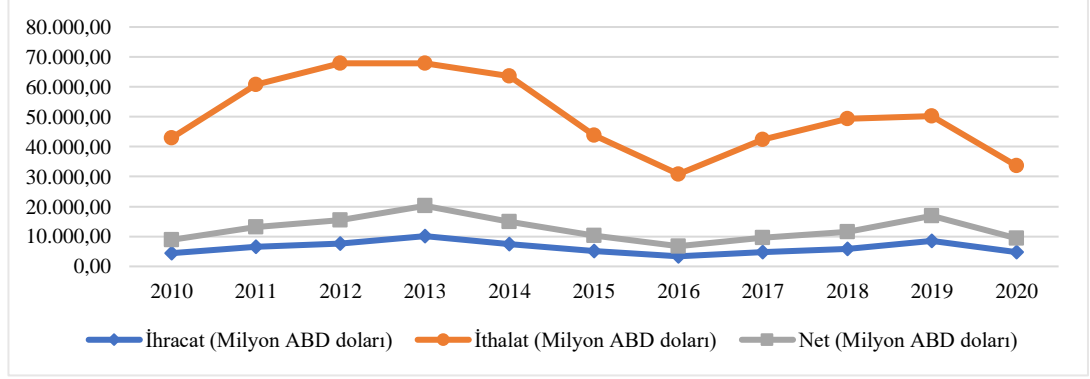
Sürdürülebilir kalkınma, 1987 yılında hazırlanan Brundtland Raporu'nda bugünün ihtiyaçlarını, gelecek kuşakların ihtiyaçlarını karşılama olanaklarını tehlikeye atmaksızın karşılama olarak tanımlanmaktadır. Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP)'nin 2016 yılında belirlediği 2030 yılı küresel sürdürülebilir kalkınma hedeflerinden biri erişilebilir ve temiz enerjidir. Bu hedef kapsamında herkes için erişilebilir, güvenli ve sürdürülebilir enerjinin sağlanması amaçlanmaktadır. Temiz ve sürdürülebilir enerjinin sağlanmasında ise yenilenebilir enerji kaynakları büyük önem taşımaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilir kalkınmadaki önemine ek olarak yenilenebilir enerji üretim santrallerinin kurulum maliyetlerindeki düşüş, yenilenebilir enerjiyi destekleyici politikalar ve yenilenemeyen enerji kaynaklarının neden olduğu sera gazı emisyonlarına dair endişeler yenilenebilir enerji kapasitesinde önemli bir artış yaşanmasına neden olmuştur (Gowrisankaran, Reynolds ve Samano, 2011, s.1).

Türkiye'de nüfusta meydana gelen artışın ve sanayileşmenin elektrik tüketimini artırması ve elektrik üretiminin artan elektrik tüketimini karşılamada yetersiz oluşu, Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığı, enerji ithalatından kaynaklı cari açığının yüksek olması ve yenilenemeyen enerji kaynaklarının yarattığı çevre problemleri ülkede yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimine geçişi zorunlu kılmaktadır.

Şekil 1'de görüldüğü üzere Türkiye'de enerji ithalatının, enerji ihracatından yüksek düzeylerde seyretmesi Türkiye'nin enerji dış ticaretinde ciddi bir açık meydana getirmektedir. Enerji ithalatından kaynaklanan yüksek cari açığın kapanması Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığının azaltılmasıyla, enerjide dışa bağımlılığın azaltılabilmesi ise Türkiye'nin yenilenebilir enerji yatırımlarına gereken önemi

vermesi ve yenilenebilir enerji yatırımlarını cazip hale getirebilmesiyle mümkün olabilecektir.



Şekil 1. Cari İşlemler Hesabı, Enerji Dış Ticareti (2010-2020)

Kaynak: Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası Elektronik Veri Dağıtım Sistemi (Erişim Tarihi: 25.04.2021)

Şebeke ölçeğinde güneş enerjisi (elektrik üretmek için güneş panellerinin büyük ölçekli kullanımı) hızla büyüyen pazarlarda en uygun maliyetli enerji kaynaklarından biri haline gelmiştir. Bazı pazarlarda, güneş enerjisi uygulamalarının ortalama seviyelendirilmiş maliyetleri (LCOE) yatırımlarda destekleyici politikaların olmaması durumunda dahi yenilenemeyen enerji kaynakları ile rekabet edebilecek kadar düşüktür. Maliyetlerde süregelen düşüş güneş enerjisinin yeni bir yatırım dönemine girdiğini ve yatırımcıların destekleyici politikalara ihtiyaç duymak yerine güneş enerjisini bağımsız ve tamamen ticari olarak değerlendirmesi gerektiğini ifade etmektedir ([http-1](#)).

Bu bölümde çalışmanın problemi, amacı, önemi, varsayımları, sınırlılıkları ve konuyla ilgili bazı tanımlara yer verilmiştir.

### 1.1. Problem

Türkiye’de güneşli gün sayısı ve güneşlenme süresi güneş enerjisi sektöründe ön planda olan birçok ülkeden daha yüksektir. Buna rağmen Türkiye enerji üretiminde yönünü güneşe çevirmekte bir hayli gecikmiştir. Bundan dolayı Türkiye’de güneş

enerjisi santrali (GES) yatırımlarının ekonomik analizinin yapılması oldukça önemlidir. Bu çalışmanın problemleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

- Türkiye’de yapılacağı düşünülen bir GES yatırım projesi sermaye bütçelemesi yöntemleri arasında yer alan net bugünkü değer ve iç kârlılık oranı yöntemlerine göre yapılabilir mi?
- Türkiye’de kurulacağı varsayılan bir GES yatırım projesinin geri ödeme süreleri statik ve dinamik (indirgenmiş) geri ödeme süresi yöntemlerine göre kaç yıldır?
- Güneş enerjisi üretimini destekleyen teşviklerin olmaması durumunda santral yatırımları ilk iki problemde bahsi geçen yöntemlere göre yapılabilir mi?
- GES ekipmanlarının üretiminde yaşanan hızlı teknolojik değişimden dolayı kurulu GES’lerin gelecekte verimsiz olması sonucunda santralin faaliyetine devam etmemesi durumunun diğer bir ifadeyle reel opsiyonun sağlayacağı yönetsel yatırımın terk edilmesi karar esnekliğinin yatırımın yapılabilirliğine etkisi nedir?

## **1.2. Amaç**

Bu araştırmanın amacı Türkiye’de GES yatırımlarının proje değerlendirme yöntemlerinden net bugünkü değer, iç kârlılık oranı, geri ödeme süresi ve indirgenmiş geri ödeme süresi yöntemlerine göre yapılabilirliğinin ortaya konulmasıdır. Ayrıca GES yatırımının ekonomik ömrü süresince meydana gelecek reel opsiyonun sağlayacağı yatırımın terk edilmesi gibi yönetsel karar esnekliklerinin yatırımın yapılabilirliğine etkisinin tespit edilmesi de amaçlanmaktadır.

## **1.3. Önem**

Güneş Kuşağında yer alması nedeniyle Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyelinin bir hayli yüksek olması, GES kurulum maliyetlerinin giderek azalması ve güneş enerjisi yatırımlarını destekleyici politikaların varlığı ülkede güneş enerjisi yatırımlarına olan talebi artırmıştır. Bu bağlamda GES yatırımlarının ekonomik

analizinin ele alındığı bu çalışma Türkiye güneş enerjisi sektörü ve yatırımcıları açısından büyük önem taşımaktadır.

#### 1.4. Varsayımlar

GES yatırımlarının analizi için kurulan finansal modelde kullanılan üretim, maliyet ve finansal parametrelere ilişkin alınan verilerin doğru olduğu varsayılmıştır.

#### 1.5. Sınırlılıklar

Bu çalışma kapsamında Türkiye’de Konya ili, Ereğli ilçesi, Zengen Köyü’nde şebeke ölçeğinde bir GES yatırımının ekonomik analizine yer verilmiştir. Bu nedenle bu tezde elde edilen sonuçlar yalnızca ülkede eşit güneş ışınımına sahip bölgeler için örnek olarak kabul edilebilir. GES yatırımlarının sermaye harcamalarında her yıl değişiklik meydana gelmesi nedeniyle elde edilen sonuçlar sonraki yıllar için geçerli değildir. Ayrıca COVID-19 nedeniyle GES saha ziyaretleri yapılamamıştır.

#### 1.6. Tanımlar

**Güneş enerjisi:** Güneşin gücünü elektrik gibi başka bir enerji formuna aktarma ve onu daha verimli ve pratik bir kaynak haline getirme sürecidir.

**Net bugünkü değer:** Bir projenin net bugünkü değeri projenin yaşam döngüsü boyunca meydana gelecek nakit giriş ve çıkışlarının bugünkü değerlerinin toplamıdır.

**İç kârlılık oranı:** İç kârlılık oranı projenin nakit giriş ve çıkışlarının bugünkü değerini birbirine eşitleyen iskonto oranıdır.

**Geri ödeme süresi:** Geri ödeme süresi bir projenin nakit girişlerinin nakit çıkışlarına eşit olması için gereken süredir.

**İndirgenmiş geri ödeme süresi:** İndirgenmiş Geri Ödeme Süresi bir projenin NBD'sinin sıfır olması için gereken süre olarak tanımlanabilir.

**Reel opsiyon:** Reel opsiyon, stratejik yatırım kararlarının alınmasında yönetimsel karar esnekliklerinin değerini net bugünkü değer ile birleştirerek yatırımın değerlemesi noktasında daha doğru sonuçlara ulaşılmasını sağlayan bir araçtır.



## 2. İLGİLİ ALANYAZIN

### 2.1. Kuramsal Çerçeve

Çalışmanın kuramsal çerçevesi kapsamında enerji kaynakları, dünyada ve Türkiye’de enerji görünümü, Türkiye’de güneş enerjisinde yasal çerçeve, güneş enerjisinde gelişmeyi destekleyen politika araçları, GES yatırımlarının finansman kaynakları, GES projelerinin maliyet yapısı ve GES projelerinin finansal modellemesinde kullanılan yöntemlerin teorik çerçevesine yer verilmiştir.

#### 2.1.1. Enerji Kaynakları

Enerji insanların yaşam kalitesini iyileştirmek için gerekli olan temel bir kaynaktır. Bir toplumun sosyal ve ekonomik açıdan kalkınması için enerjinin varlığı ve kullanımı esastır (Adaramola, 2015, s.123).

Maddelerin yapısında potansiyel enerji bulunmasına rağmen her maddeden ekonomik anlamda kinetik enerji elde etmek mümkün değildir. Petrol, kömür, akarsular, rüzgâr ve güneş gibi enerji kaynaklarından ekonomik olacak şekilde enerji üretilebilmektedir. Değişik yöntem ve teknikler kullanılarak, ekonomik amaçlarla enerji elde edilen kaynaklara enerji kaynakları denir (Doğanay ve Coşkun, 2017, s.2). Enerjiye ihtiyacın sınırsız olduğu insan yaşamında enerji kaynakları oldukça büyük bir öneme sahiptir.

İhtiyaçların karşılanabilmesi için tüketilen enerji kaynaklarının bir kısmı yenilenemeyen enerji kaynakları iken, diğer bir kısmı yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Çalışmanın bu bölümünde yenilenemeyen ve yenilenebilir enerji kaynakları ele alınmıştır.

### **2.1.1.1.Yenilenemeyen Enerji Kaynakları**

Yenilenemeyen enerji kaynakları bir kez kullanılabilen ve tükenen enerji kaynaklarıdır. Yeni rezervlerin bulunması yoluyla çoğaltılabilseler de gelecekte mutlaka tükeneceklerdir. Yenilenemeyen enerji kaynakları arasında kömür, petrol, doğalgaz ve uranyum, toryum gibi nükleer kaynaklar yer almaktadır (Doğanay ve Coşkun, 2017, s.3). Yenilenemeyen enerji kaynaklarının çevre üzerinde ciddi olumsuz etkileri bulunmaktadır. Karbondioksit salınımının artmasıyla birlikte meydana gelen küresel ısınma, iklim değişikliği ve asit yağmurları bu olumsuz etkilerdendir (Kumbur vd., 2005; Özcan ve Ersöz, 2019, s.1). Üretimin büyük oranda yenilenemeyen kaynaklardan elde edilen enerjiye bağımlı olması ve yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanılması sonucunda açığa çıkan sera gazlarının çevreye verdiği zarar ülkelerin sürdürülebilir ekonomik kalkınma hedeflerine ulaşmalarını zorlaştırmakta ve gelecek nesilleri büyük bir tehlike ile karşı karşıya bırakmaktadır (Batı, 2014, s.28).

### **2.1.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları**

Uluslararası Enerji Ajansı yenilenebilir enerjiyi; “düzenli olarak yenilenen doğal işlemlerden türetilen enerji” olarak tanımlamıştır (IEA, 2005). Yenilenebilir enerji kaynakları arasında hidrolik, rüzgâr, jeotermal, biyokütle, güneş, dalga, akıntı enerjisi ve gel-git gibi enerji kaynakları yer almaktadır.

Sanayi devrimiyle birlikte hızla gelişen teknoloji, artan dünya nüfusu ve küreselleşme ile birlikte enerji talebi her geçen gün artmaktadır. Günümüzde artan bu enerji talebinin karşılanmasında yoğun olarak yenilenemeyen kaynaklar kullanılmaktadır. Mevcut yenilenemeyen enerji kaynaklarının sınırlı miktarına bağlı olarak gelecekte enerji ikilemine yol açabilecek enerji krizlerinin yaşanacağı öngörülmektedir (Şen, 2008, s.8). Yaşanması muhtemel enerji krizlerinin önlenilmesi noktasında yenilenebilir enerji kaynakları büyük bir öneme sahiptir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynakları küresel ısınma ve enerji güvenliği sorunlarını azaltma, enerji kaynağı çeşitliliğini artırma ve yeni iş fırsatları yaratma gibi faydalar sağlamaları nedeniyle dünya çapında önem taşımaktadır (Yamamoto, 2018, s.1).



Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi, diğer enerji kaynaklarına kıyasla daha az kirliliğe neden olması ve erişilebilirliğinin yüksek olması gibi nedenlerle enerji üretiminde ön plana çıkmaktadır. Bu bağlamda bu bölümde yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan ve tüm enerjilerin asıl kaynağı olan güneş enerjisi incelenmektedir.

Güneşin yaklaşık  $10^{24}$  tonluk bir kütlesi, 865.000 mile yakın bir çapı vardır ve yaklaşık  $3.8 \times 10^{20}$  MW enerji yaymaktadır. Mevcut teoriler bu enerjinin birkaç milyar yıl boyunca değişmeden devam edeceğini öngörmektedir (Neville, 1995, s.39). Sürekli bir füzyon reaktörü olan güneşin enerji kaynağı, hidrojenin helyuma dönüşmesi esnasında, saniyede 4 milyon ton kütle enerjiye dönüşerek, enerjinin ışınım şeklinde uzaya yayılmasıdır. Samanyolu galaksisinde hayatın devamı için gerekli olan enerji güneşten sağlanır. Bir saat içinde, dünya güneşten yaklaşık bir yıllık enerjisini karşılayacak kadar enerji alır. Bir başka ifadeyle, güneşten sağlanan bu enerji diğer enerji kaynakları ile dünyamıza giren enerjinin yaklaşık 5.000 katı kadardır (Şenpınar, 2005, s.1).

Dünya, güneş radyasyonunun yaklaşık 174 petawattını alır ve gelen güneş ışınımının yaklaşık %70'i kara yüzeyi, okyanuslar ve atmosfer tarafından emilir. Bu büyük miktardaki enerji kullanılmalıdır. Güneşin gücünü elektrik gibi başka bir enerji formuna aktarma ve onu daha verimli ve pratik bir kaynak haline getirme süreci güneş enerjisi olarak adlandırılır (Smil, 1991).

Güneşin yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynaklarının büyük bir bölümünün ana kaynağı olduğu söylenebilmektedir. Hatta yenilenemeyen kaynak olarak bilinen kömür, petrol ve doğalgaz gibi enerji kaynakları da güneş enerjisinin şekil değiştirmiş halleridir. Bu nedenlerden dolayı güneşi dünyanın en önemli enerji kaynağı olarak tanımlamak mümkündür (Karagöl ve Kavaz, 2017, s.8). Güneş enerjisinin en önemli özelliği, çevreye zarar vermeyen temiz bir enerji kaynağı olmasıdır. Güneş enerjisi kullanımı, küresel ısınmaya neden olan son derece zararlı sera gazlarından hiçbirini yaymamaktadır. Sadece güneş panellerinin üretilme aşamasında düşük miktarda kirlilik oluşmakta ancak bu kirlilik yenilenemeyen kaynakların kullanımıyla ortaya çıkan kirliliğe kıyasla çok düşük kalmaktadır. Güneş aynı zamanda ücretsiz bir enerji kaynağıdır. Teknolojiyle birlikte GES ekipmanlarının fiyatının düşmesi de güneş enerjisini daha ekonomik hale getirmektedir (Gevorkian, 2012, s.7). Güneş enerjisi en fazla miktarda bulunan enerji kaynağı olması sebebiyle

büyük ölçekli küresel elektrik üretimi için en umut verici yenilenebilir enerji seçeneğidir (Darling vd., 2011, s.3133). Ayrıca sermaye yoğun fosil yakıtlı teknolojilere kıyasla, güneş enerjisi teknolojileri daha fazla emek yoğundur. Bu bağlamda güneş enerji teknolojileri iş fırsatlarını geliştirerek piyasaya katkı sağlamaktadır (TÜBA, 2018, s.16).

Güneş enerjisinin riskleri arasında teknolojik gelişmeler, yasal düzenlemeler ve bölgesel çıkar çatışmaları yer almaktadır. Teknolojik gelişmeler güneş modüllerinin fiyatının düşmesini sağlamaktadır fakat fiyatlardaki hızlı düşüş, yatırımcıların eski ve yeni santral yatırımlarının arasında zaman farkının kısa olması durumunda eski sistemin sökülerek yenisinin kurulması eğiliminde olmasına neden olabilmektedir. Bu durum gerçekleştirilmiş olan projenin yatırımcıları açısından büyük bir risk oluşturmaktadır. GES kurulum maliyetinin modül fiyatlarına bağlı olarak düşmesi yasal düzenlemelerde teşviklerin kaldırılması gibi hızlı değişimler meydana getirmektedir. Bu durum da güneş enerjisi yatırımcıları açısından önemli bir risk unsurudur. Çin'in güneş modülü üretimi konusunda sektörde lider olması diğer ülkelerle arasında bir ticari anlaşmazlık ve ciddi bir rekabet oluşturmaktadır (WEC Solar, 2016, s.33). Ayrıca güneş enerjisi ile ilgili temel kaygılardan bir diğeri de talep edilen enerjinin ihtiyaç duyulduğu anda üretilmemesi ve sadece gün içinde ve çok güneşli havalarda enerji üretilmesidir. Bu sorunun üstesinden gelmenin tek yolu, pillerdeki enerjinin bir kısmının saklanabileceği depolama tesislerinin kurulmasıdır. Bu tesislerin kurulumu ise güneş enerjisinin maliyetini artırmaktadır (Gevorkian, 2012, s.7).

Güneş enerjisi teknolojileri iki gruba ayrılmaktadır. Birinci grupta güneş radyasyonunu doğrudan kullanabilecek ya da elektriğe dönüşecek termal enerjiye dönüştüren güneş termal uygulamaları (güneş sıcak su sistemleri vb.), ikinci grupta ise fotovoltaik etkisini kullanarak güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştüren uygulamalar yer almaktadır (Timilsina ve Kurdgelashvili, 2017, s.363).

Fotovoltaik modüller ile kaplı alanların bakımı için alandaki bitkilerin tamamen veya kısmen kaldırılması gerekmektedir. Modüllerin periyodik bakım kapsamında yıkanması işlemi suyun kirlenmesine neden olmaktadır. Modüllerin üretimi de büyük miktarda enerji gerektirmektedir. Modüllerin üretimi için gerekli enerjiyi üreten santrallerin etkileri de fotovoltaik santrallerin olumsuz bir etkisi olarak görülebilmektedir. Fotovoltaik santrallerin olumlu etkileri ise negatif etkilerinden çok

daha önemlidir. Fotovoltaik elektrik üretiminde, CO<sub>2</sub> ve sera gazı emisyonu yoktur. Santral işletimi sırasında, insanlarda ve hayvanlarda solunum problemlerine neden olan partikül emisyonu veya kurşun gibi ağır metal emisyonu bulunmadığı gibi fotovoltaik santrallerin gürültüsü de yoktur (Vezmar vd, 2014, s.16). Fotovoltaik enerjinin faydaları ulaşılabilir bir kaynak olan güneşten elde edilmesi, fotovoltaik teknolojinin diğer elektrik üretim teknolojilerine kıyasla daha uygulanabilir olması, geleneksel enerji kaynakları ile faaliyet gösteren santrallere kıyasla daha düşük bakım ve onarım maliyetlerinin olması ve fosil yakıtlardaki dalgalı fiyat değişimlerine karşı hedge imkânı tanınması şeklinde sıralanabilmektedir. Ayrıca fotovoltaik teknoloji ile üretilen enerji miktarı değişken olmasına rağmen sıcak ülkelerde soğutma ihtiyacından kaynaklı enerji talebinin arttığı dönemde en yüksek düzeye ulaşması ülkeler açısından önemli bir faydadır (IRENA, 2012, s.4). Fotovoltaik teknolojiler yerli ve sınırsız enerji arzı sağlayarak artan enerji talebini karşılamada önemli bir katkı sunmaktadır. Fotovoltaik teknolojiler diğer yenilenebilen ve yenilenemeyen enerji teknolojileriyle de kombine edilebilmektedir. Yüksek ışımaya sayesinde fotovoltaik enerji diğer enerji kaynakları ile rekabet edebilmekte ve fotovoltaik enerjiye yönlendirilen yatırım düşük operasyonel maliyetli uzun vadeli enerji kaynağı sağlamaktadır. Fotovoltaik enerji teknolojilerinin diğer faydaları da düşük karbon teknolojisi olması, faaliyet göstermeleri için suya ihtiyaç duymaması ve hava kalitesi üzerinde ters bir etki oluşturmamasıdır (EPIA, 2010, s.9).

### **2.1.2. Dünyada Enerji Görünümü**

Bu başlık altında dünyada enerji üretim ve tüketimi, güneş enerjisinin durumu ve güneş enerjisi yatırımları incelenmiştir.

#### **2.1.2.1. Dünyada Enerji Üretim ve Tüketimi**

Çizelge 1'de görüldüğü üzere 2017 yılından 2040 yılına kadar dünya enerji talebinde %20'lik bir artışın meydana geleceği tahmin edilmektedir. 2017 yılının enerji talebi referans alındığında OECD üyesi olan ülkelerin enerji talebinde 2040

yılına kadar %6 oranında bir azalma olacağı, OECD üyesi olmayan ülkelerin enerji talebinde ise %37'lik bir artış olacağı tahmin edilmektedir. Çin'in 2017 yılında olduğu gibi 2040 yılında da enerji talebi en yüksek ülke olacağı da öngörüler arasındadır.

**Çizelge 1. Bölgesel Bazda Enerji Tüketiminin Geçmişi ve Geleceği (katrilyon BTU)**

Bölgeler	2000	2010	2017	2020	2025	2030	2035	2040	Ortalama yıllık değişim 2017-2040	% değişim 2017-2040	Toplam içindeki payı	
											2017	2040
Dünya	405	513	562	581	609	636	658	675	0,8%	20%	100%	100%
OECD	219	224	220	222	218	216	213	208	-0,2%	-6%	39%	31%
OECD üyesi olmayan ülkeler	186	289	342	359	391	420	445	467	1,4%	37%	61%	69%
Afrika	22	29	35	37	42	47	52	58	2,2%	67%	6%	9%
Asya Pasifik	122	199	237	249	271	288	304	316	1,2%	33%	42%	47%
Çin	46	99	123	128	137	142	147	148	0,8%	21%	22%	22%
Hindistan	18	27	35	39	46	53	60	66	2,8%	90%	6%	10%
Avrupa	77	80	78	77	75	73	71	69	-0,5%	-11%	14%	10%
Avrupa Birliği	71	72	68	67	64	62	60	57	-0,7%	-16%	12%	9%
Latin Amerika	19	25	28	28	31	33	36	38	1,4%	37%	5%	6%
Orta Doğu	17	28	36	37	40	43	45	48	1,2%	32%	6%	7%
Kuzey Amerika	111	109	108	110	110	111	110	108	0,0%	0%	19%	16%
Amerika	94	91	88	91	90	90	89	87	-0,1%	-2%	16%	13%
Rusya	37	42	42	42	42	41	40	40	-0,2%	-5%	7%	6%

**Kaynak: ExxonMobil Outlook for Energy: A Perspective to 2040 (2019).**

Çizelge 2'de dünyadaki elektrik tüketimine ait bilgiler yer almaktadır. Çizelge 2'de yer alan bilgiler değerlendirildiğinde 2017-2040 yılları arasında dünya elektrik talebinde %59 oranında bir artış olacağı beklenmektedir. Bu artışın OECD üyesi ülkelerde %19 oranında olması beklenirken, OECD üyesi olmayan ülkelerde %91 oranında olacağı beklenmektedir.

**Çizelge 2. Elektrik Tüketimi (terawatt saat)**

Yıllar	Dünya	OECD	OECD üyesi olmayan ülkeler
2000	13.195	8.581	4.614
2010	18.602	9.721	8.881
2017	22.168	9.853	12.315
2020	23.995	10.115	13.880
2025	26.615	10.442	16.173
2030	29.463	10.923	18.540
2035	32.320	11.329	20.991
2040	35.277	11.766	23.511
<b>Ortalama yıllık değişim (2017-2040)</b>	2,00%	0,80%	2,90%
<b>% değişim (2017-2040)</b>	59%	19%	91%
<b>Toplam içindeki payı</b>			
	<b>2017</b>	100%	44%
	<b>2040</b>	100%	33%

**Kaynak: ExxonMobil Outlook for Energy: A Perspective to 2040 (2019).**

Çizelge 3'te dünyada birincil enerji tüketiminin enerji kaynağı bazında dağılımının geçmiş verisi ile gelecek senaryosu sunulmuştur. 2017 yılından 2040 yılına kadar güneş, rüzgâr ve jeotermal enerji tüketiminin %257 oranında artarak toplam birincil enerji tüketimine oranının %2'den %5'e yükseleceği öngörülmektedir.

**Çizelge 3. Dünyada Kaynak Bazında Birincil Enerji Tüketimi (katrilyon BTU)**

Kaynak	2000	2010	2017	2020	2025	2030	2035	2040	Ortalama yıllık değişim 2017-2040	% değişim 2017-2040	Toplam içindeki payı	
											2017	2040
Petrol	147	164	180	187	195	201	204	205	0,6%	14%	32%	30%
Doğalgaz	89	116	130	139	151	162	169	177	1,3%	36%	23%	26%
Kömür	91	140	147	142	140	138	137	133	-0,4%	-9%	26%	20%
Nükleer	27	29	27	31	32	36	41	45	2,2%	66%	5%	7%
Biyomass/Atık	40	46	51	52	53	55	55	56	0,4%	9%	9%	8%
Hidroelektrik	9	12	14	15	16	17	18	18	1,2%	30%	2%	3%
Diğer Yenilenebilir	3	7	13	17	23	28	34	41	5,1%	213%	2%	6%
Jeotermal/Güneş/Rüzgâr	2	4	10	13	18	23	29	36	5,7%	257%	2%	5%
Biyoyakıt	0	2	3	4	4	5	5	6	2,5%	77%	1%	1%
Toplam	405	513	562	581	609	636	658	675	0,8%	20%	100%	100%

**Kaynak: ExxonMobil Outlook for Energy: A Perspective to 2040 (2019).**

Çizelge 4'te dünyada toplam enerji üretiminin 2017 yılından 2040 yılına nasıl bir değişim izleyeceği görülmektedir. Çizelge 4'te 2040 yılına kadar petrol ve kömür gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarından enerji üretimi azalırken yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretiminin ise yüksek oranda artacağı görülmektedir.

**Çizelge 4. Dünya Toplam Enerji Üretimi (katrilyon BTU)**

Kaynak	2000	2010	2017	2020	2025	2030	2035	2040	Ortalama yıllık değişim 2017-2040	% değişim 2017-2040	Toplam içindeki payı	
											2017	2040
Petrol	14	11	10	9	8	8	7	6	-1,8%	-34%	5%	2%
Doğalgaz	31	46	52	56	63	68	72	76	1,6%	46%	25%	28%
Kömür	61	84	91	91	90	89	89	88	-0,2%	-4%	43%	32%
Nükleer	27	29	27	31	32	36	41	45	2,2%	66%	13%	16%
Hidroelektrik	9	12	14	15	16	17	18	18	1,2%	30%	7%	7%
Rüzgâr	0	1	4	5	8	11	14	17	6,6%	339%	2%	6%
Diğer Yenilenebilir	4	7	13	14	17	20	23	26	3,3%	109%	6%	10%
Toplam	146	190	211	220	233	248	263	277	1,2%	31%	100%	100%

**Kaynak: ExxonMobil Outlook for Energy: A Perspective to 2040 (2019).**

Çizelge 5'te yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin enerji üretimindeki payı yer almaktadır. 2010 yılında enerji üretiminde kullanılmaya başlanan güneş enerjisinin 2040 yılında enerji üretiminin %11,9'luk bir kısmını karşılayacağı tahmin edilmektedir.

**Çizelge 5. Enerji Üretiminde Yenilenebilir Enerjinin Payı**

Enerji Kaynağı Türü	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Rüzgâr	0,1%	0,2%	0,5%	1,6%	3,4%	5,9%	8,4%	10,3%	12,2%	13,7%
Güneş	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	1,1%	3,0%	5,2%	7,4%	9,6%	11,9%
Jeotermal ve biyoyakıt	1,0%	1,1%	1,3%	1,7%	2,2%	2,5%	2,8%	3,1%	3,3%	3,4%

**Kaynak: BP Energy Outlook-2019 Edition & BP Energy Outlook-2019-data-pack (2019).**

Çizelge 6'da bölgelere göre enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin payı yer almaktadır. Enerji üretiminde yenilenebilir kaynakların payının Avrupa Birliği'nde oldukça yüksek olacağı ve dünya genelinde ise yıllar itibariyle yükseleceği öngörülmektedir.

**Çizelge 6. Enerji Üretiminde Yenilenebilir Kaynakların Payı (Bölgesel)**

Bölge	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2020	2025	2030	2035	2040
AB	1,0%	2,1%	4,6%	9,5%	19,2%	19,5%	21,7%	25,4%	33,7%	38,9%	45,9%	53,4%
Amerika	1,8%	1,8%	2,2%	4,2%	7,9%	9,2%	10,4%	10,9%	17,0%	22,1%	29,0%	34,3%
Dünya	1,1%	1,3%	1,9%	3,4%	6,7%	7,4%	8,5%	11,4%	16,4%	20,8%	25,1%	29,0%
Çin	0,3%	0,2%	0,2%	1,5%	4,8%	5,8%	7,3%	11,8%	16,8%	22,1%	26,4%	29,9%
Hindistan	0,2%	0,5%	1,2%	3,0%	4,4%	5,2%	5,9%	10,4%	16,1%	20,6%	24,6%	27,8%

**Kaynak: BP Energy Outlook-2019 Edition & BP Energy Outlook-2019-data-pack (2019).**

Birçok ülke gelecekte enerji üretiminin tamamını yenilenebilir kaynaklardan sağlamayı planlamaktadır. Örneğin İsveç, Fukushima/Japonya 2040, Danimarka 2050 ve Kosta Rika ve Rhineland-Palatinate/Almanya 2030, Kaliforniya ve Havai/ABD bölgelerinde ise 2045 yılında %100 yenilenebilir enerjiye geçiş planlanmaktadır. El Hierro adasında %100 yenilenebilir enerji tüketilirken Cook Adaları %100 yenilenebilir enerjiye geçiş için 2020 yılını hedef koymuştur (IRENA, 2019, s.13).

Çizelge 7'de dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik üretim miktarı (GWh) ve elektrik kapasitesinin (MW) 2010-2020 yılları arasındaki değişimi görülmektedir. Elektrik kapasitesi 2010-2020 yılları arasında %129 artarken elektrik üretimi 2010 yılından 2018 yılına kadar %57 oranında artmıştır.

**Çizelge 7. Dünya Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Göre Elektrik Kapasitesi (MW) ve Elektrik Üretim (GWh)**

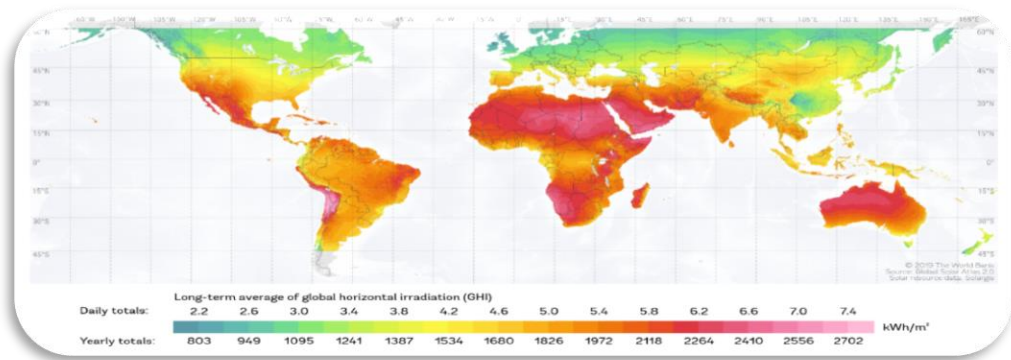
Gösterge	Elektrik kapasitesi (MW)	Elektrik üretimi (GWh)
2010	1.224.020	4.202.026
2011	1.329.886	4.406.015
2012	1.442.763	4.757.602
2013	1.564.390	5.039.353
2014	1.694.061	5.328.080
2015	1.847.258	5.526.983
2016	2.010.005	5.898.277
2017	2.180.389	6.209.836
2018	2.358.749	6.586.124
2019	2.538.441	-
2020	2.799.094	-

Kaynak: IRENA (2021), Renewable Capacity Statistics 2021; & IRENA (2020), Renewable Energy Statistics 2020, The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

### 2.1.2.2. Dünyada Güneş Enerjisinin Durumu

Güneşten atmosfere gelen toplam ışınımın (radyasyonun) yoğunluğu m<sup>2</sup> başına 1.360W kadardır. Atmosferdeki gazlar, bulutlar, aerosollar, toz ve benzeri parçacıklar toplam ışınımı süzer veya dağıtırlar ve bunun en fazla 1.000-1.100 W/m<sup>2</sup> kadarı yere ulaşır. Yataydaki toplam ışınım (GHI) direkt, dağınık ve yerden yansımış güneş ışınımının toplamıdır; fakat genel olarak yerden yansıyan ışınım direkt ve dağınık ışınım yanında ihmal edilebilecek kadar azdır. Direkt normal ışınım (DNI) ise doğrudan güneşten gelip birim alana dik olarak düşen ışın demetlerinin toplamıdır (Livatyalı ve Yıldırım, 2012, s.16).

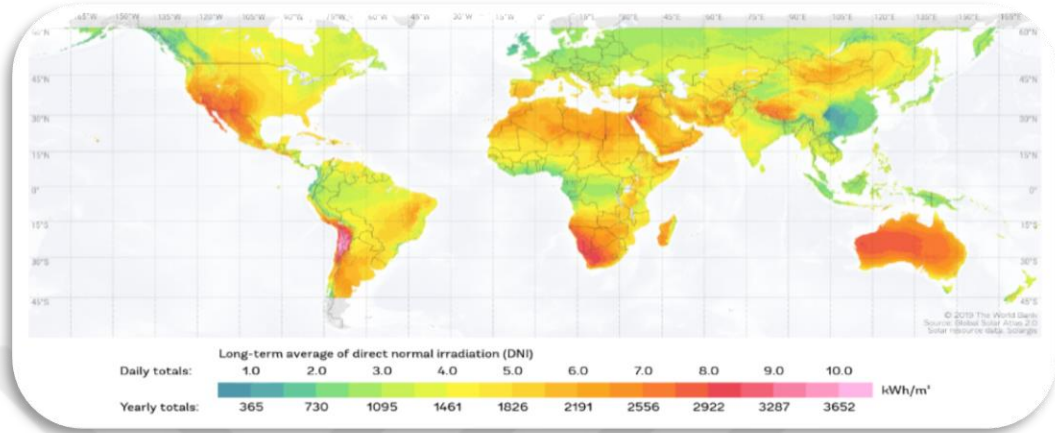
Dünya'nın yataydaki toplam ışınım haritası Şekil 2'de gösterilmektedir.



**Şekil 2. Dünya Yataydaki Toplam Işınım (Global Horizontal Irradiation)**

Kaynak: <http-2>

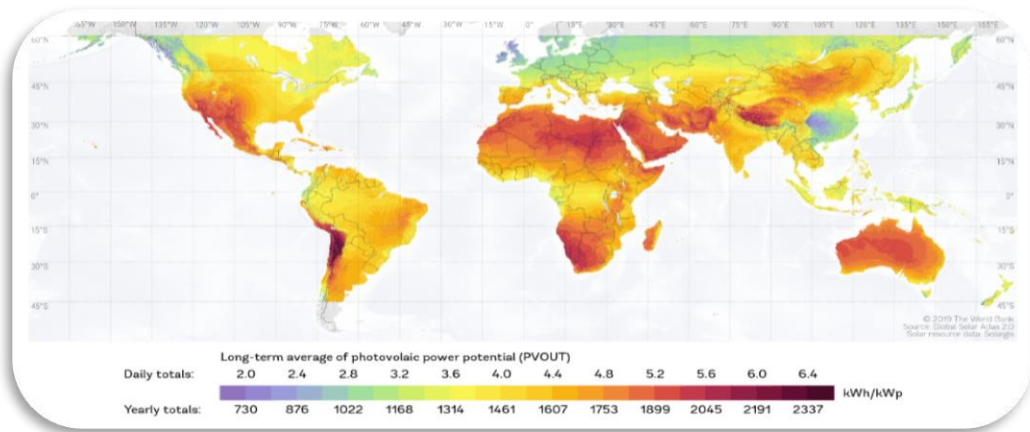
Dünya'nın direkt normal ışınım haritası ise Şekil 3'te gösterilmektedir. Yataydaki toplam ışınım ve direkt normal ışınım haritaları dünyanın enerji tüketiminin karşılanmasında güneş enerjisinin yüksek potansiyele sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 3. Dünya Direkt Normal Işınım (Direct Normal Irradiation)

Kaynak: <http-2>

Şekil 4'te ise ışınım değerlerine göre dünyanın bölgesel fotovoltaik enerji potansiyeli görülmektedir. Şekil 4'te dünyada fotovoltaik enerji potansiyelinin bir hayli yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 4. Dünya Fotovoltaik Enerji Potansiyeli

Kaynak: <http-2>



Küresel enerji üretimi artışı, enerji üretimindeki toplam büyümenin neredeyse yarısını oluşturan rüzgâr ve güneş enerjisi liderliğinde yaşanan yenilenebilir enerjideki güçlü genişlemeden kaynaklanmaktadır (BP Statistical Review of World Energy 2018).

Çizelge 8’de dünyada güneş enerjisinden elektrik üretimi ve kapasitesinin 2000-2020 yılları arasındaki gelişimi gösterilmektedir. Güneş enerjisinde elektrik kapasitesi 2000 yılında 1.227 MW iken 2020 yılında bu rakam 713.970 MW’a ulaşmıştır. Güneş enerjisinden üretilen elektrik miktarı ise 2000’den 2018’e 1.331 GWh’den 562.033 GWh’a ulaşmıştır. Ayrıca fotovoltaik teknolojilerin güneş enerjisinden elektrik üretiminde daha önemli bir paya sahip olduğu ve fotovoltaik enerji üretiminde kurulu elektrik kapasitesinin ve elektrik üretiminin 2000’den 2020’ye önemli bir oranda arttığı görülmektedir.

**Çizelge 8. Dünyada Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim ve Kapasitesi**

	Elektrik Kapasitesi (MW)			Elektrik Üretimi (GWh)		
	Güneş	PV	CSP	Güneş	PV	CSP
2000	1.227	808	419	1.331	805	526
2001	1.339	1.093	246	1.700	1.135	565
2002	1.640	1.438	202	1.976	1.407	569
2003	2.354	1.966	388	2.398	1.850	549
2004	3.441	3.053	388	3.079	2.492	588
2005	4.935	4.547	388	4.398	3.801	597
2006	6.497	6.085	412	6.014	5.463	551
2007	8.973	8.494	479	8.108	7.424	685
2008	15.247	14.712	535	12.806	11.896	910
2009	23.579	22.814	765	21.013	20.079	934
2010	41.553	40.288	1.266	33.813	32.148	1.665
2011	73.745	72.040	1.705	65.641	62.432	3.208
2012	104.015	101.449	2.567	101.788	96.307	5.481
2013	139.523	135.681	3.842	137.649	131.462	6.187
2014	176.089	171.590	4.499	192.792	183.653	9.140
2015	222.213	217.463	4.750	252.358	242.162	10.196
2016	296.155	291.295	4.860	325.680	314.523	11.157
2017	389.411	384.452	4.959	438.034	426.024	12.010
2018	488.739	482.916	5.823	562.033	549.833	12.200
2019	587.134	580.760	6.374	-	-	-
2020	713.970	707.495	6.475	-	-	-

**Kaynak: IRENA (2021), Renewable Capacity Statistics 2021; & IRENA (2020), Renewable Energy Statistics 2020, The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.**

Çizelge 9’da dünyada fotovoltaik enerji sektöründe kurulu güce göre ilk 10 ülkenin yıllar itibariyle sıralaması verilmiştir. Türkiye yüksek fotovoltaik enerji potansiyeline rağmen ancak 2016 yılında ilk 10 ülke arasına girmiştir. 2017 ve 2018

yıllarında da ilk 10 ülke arasında kalmayı başarırken, 2019 yılında fotovoltaik piyasasındaki konumunu koruyamamıştır.

**Çizelge 9. İlk 10 Fotovoltaik Enerji Piyasasının Yıllar İtibariyle Gelişimi**

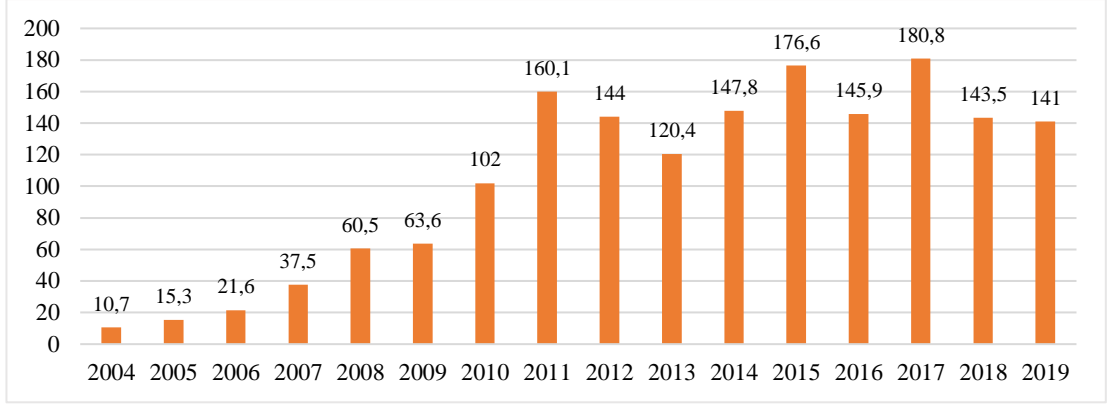
Sıralama	2015	2016	2017	2018	2019
1	Çin	Çin	Çin	Çin	Çin
2	Japonya	ABD	Hindistan	Hindistan	ABD
3	ABD	Japonya	ABD	ABD	Hindistan
4	İngiltere	Hindistan	Japonya	Japonya	Japonya
5	Hindistan	İngiltere	Türkiye	Avustralya	Vietnam
6	Almanya	Almanya	Almanya	Türkiye	Avustralya
7	Kore	Tayland	Kore	Almanya	İspanya
8	Avustralya	Kore	Avustralya	Meksika	Almanya
9	Fransa	Avustralya	Brezilya	Kore	Ukrayna
10	Kanada	Türkiye	İngiltere	Hollanda	Kore
<b>AB Sıralaması</b>	<b>3.</b>	<b>4.</b>	<b>5.</b>	<b>4.</b>	<b>2.</b>
	675	818	944	1.621	3.130

**Kaynak: IEA (2020). Trends in Photovoltaic Applications Report IEA PVPS T1-38:2020.**

### 2.1.2.3. Dünyada Güneş Enerjisi Yatırımları

Güneş enerjisine yatırım yapma nedenleri operasyonel, ölçeklenebilirlik ve finansal nedenler olmak üzere üç başlık altında sınıflandırılabilir. Güneş enerjisi yatırımlarının düşük kaynak ve düşük teknoloji riski, düşük işletme ve bakım maliyetleri ve kısa sürede kurulum gibi operasyonel özellikleri yatırımcılar açısından risk oluşturduğu kadar maliyet avantajı da sağlamaktadır. Güneş enerjisi yer veya çatı üzerine, hane halkı, şebeke ölçeğinde ya da ticari ölçekte kurulabilmektedir. Enerjinin ihtiyaç duyulduğu yerlerde kurulabilmesine imkân tanıyan bu ölçeklenebilirlik özelliği güneş enerjisinin iletim ve dağıtım altyapı bakım maliyetlerini azaltmaktadır ve böylece yatırımcılar için bir avantaj sağlamaktadır. Yapılan son araştırmalarda güneş enerjisine yapılan yatırımların gelecek 35 yıl içerisinde %6,6 ile %10,1 arasında getiri sağlayacağı öngörülmektedir (<http-1>).

Güneş enerjisine yapılan yeni yatırımlardaki global trend Şekil 5'te gösterilmektedir. Güneş enerjisi yatırımlarında 2012, 2013, 2016, 2018 ve 2019 yıllarında önceki yıla göre sırasıyla %10, %16, %17, %21 ve %2 oranlarında düşüş meydana gelmiştir. 2004'ten itibaren 15 yıllık bir süreçte güneş enerjisine yapılan yatırımlarda ise yüksek bir oranda artış olmuştur.

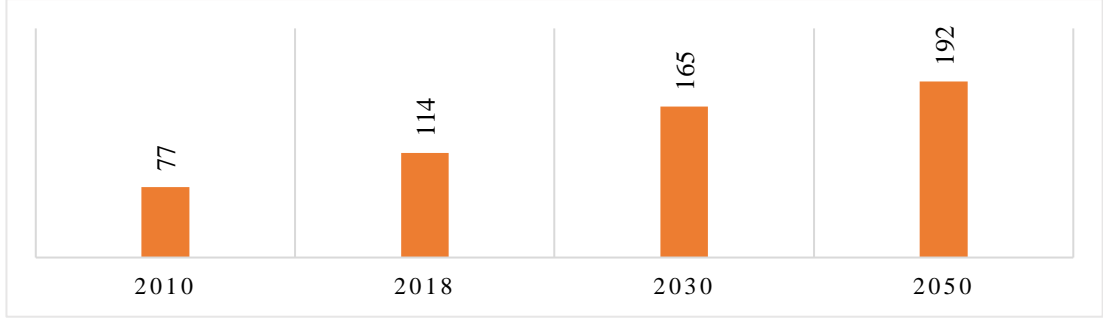


**Şekil 5. Güneş Enerjisi Yeni Yatırımlarında Global Trend (milyar dolar)**

**Kaynak: Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF. (2020). Global Trends in Renewable Energy Investment 2020.**

Şekil 5’te 2018 yılında güneş enerjisi kapasitesine yapılan yatırımın %22 oranında düşerek 143,5 milyar dolara gerilediği görülmektedir. Bu düşüşün nedenleri arasında fotovoltaik santral kurulumlarının sermaye maliyetlerinde meydana gelen sürekli azalma, sermaye maliyetlerinde meydana gelen bu düşüşten dolayı en rekabetçi piyasalarda dahi büyük fotovoltaik projelerine olan yatırımların bir milyon doları geçmemesi ve dünyanın en büyük güneş enerjisi piyasası olan Çin’in güneş enerjisi yatırımlarında teşvik sınırlamasına gitmesi yer almaktadır. Çin’de 2017’nin ikinci altı aylık döneminde 35,3 milyar dolar gerçekleşen güneş enerjisi yatırımları 2018’in ilk yarısında 22,4 milyar dolar, ikinci yarısında da 15,4 milyar dolar gerçekleşmiştir (Frankfurt School-UNEP Centre, 2019, s.21-22). 2019 yılındaki fotovoltaik santral yatırımları da %2 oranında bir düşüşle devam etmiştir.

Şekil 6’da dünyadaki ortalama yıllık fotovoltaik enerji yatırımları yer almaktadır. Şekilden de görülebileceği gibi fotovoltaik enerjiye olan yatırım 2010 yılında 77 milyar dolar, 2018 yılında 114 milyar dolar seviyesinde gerçekleşmiştir. Güneş enerjisi kurulu gücünde gerçekleşen büyümeyle birlikte 2050 yılına kadar yıllık fotovoltaik enerji yatırımlarında %68 artış olacağı öngörülmektedir (IRENA, 2019a, s.8).



**Şekil 6. Ortalama Yıllık Fotovoltaik Güneş Enerjisi Yatırımı (milyar USD/yıl)**

**Kaynak: IRENA (2019a), Future of Solar Photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation: paper), International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.**

2050 yılına kadar öngörülen 8.000 GW'dan daha fazla güneş enerjisi kurulu kapasitesinin yaklaşık 6,4 trilyon dolar tutarında kümülatif yatırım gerektireceği düşünülmektedir. Bölgesel düzeyde, küresel yatırımın en büyük payının 2050'ye kadar yılda 113 milyar dolar ile Asya'ya kayacağı ve Çin ile Hindistan'ın sırasıyla yıllık toplam yatırımın yaklaşık %57'sini ve %18'ini oluşturacağı öngörülmektedir. Öngörülere göre Asya'yı yılda 37 milyar dolar ile Kuzey Amerika ve ardından yılda 19 milyar dolar ile Avrupa takip edecektir (IRENA, 2019a, s.31-32).

### 2.1.3. Türkiye'de Enerji Görünümü

#### 2.1.3.1. Türkiye'de Enerji Üretim ve Tüketimi

Genç ve artan nüfusu, kişi başına düşen düşük elektrik kullanımı ve hızlı kentleşme süreci ile Türkiye dünyanın hızlı büyüyen enerji piyasalarından biridir (Yılancı, 2017, s.117).

Çizelge 10'da yer alan 2019 yılı ulusal enerji denge tablosuna göre Türkiye'nin yıllık birincil enerji arzı toplamı 144,4 milyon TEP, kişi başına enerji tüketimi 1,736 TEP, kişi başına net elektrik tüketimi 3,094 kWh'dir. 2019 yılı ulusal enerji denge tablosunda Türkiye'nin enerjide düşük yerli üretim ve yüksek enerji ithalatı ikilemi ile karşı karşıya kaldığı ve enerji tüketiminde yenilenebilir kaynakların payının çok düşük olduğu görülmektedir. Enerji ürünleri arzında güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji

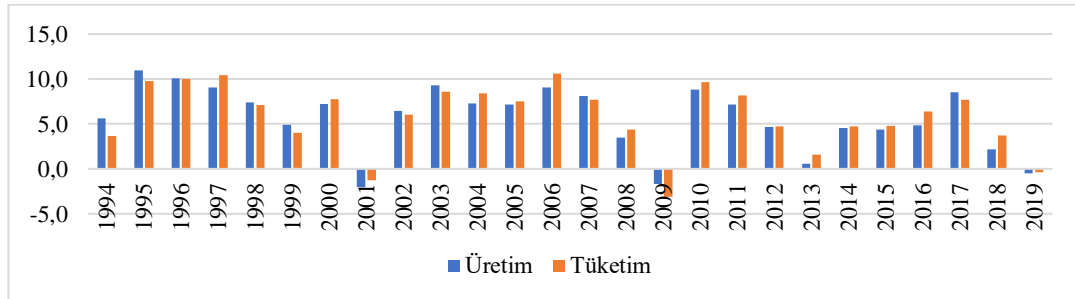
kaynaklarının yer alması ve bu kaynaklara yıllar itibariyle yapılan yatırımın artmasının Türkiye'nin enerji ithalatına bir çözüm olabileceği düşünülmektedir.

**Çizelge 10. 2019 Yılı Türkiye Genel Enerji Denge Tablosu (bin TEP)**

	Yerli Üretim	İthalat	İhracat	Enerji Ürünleri Arzı	Toplam Nihai Enerji Tüketimi
Taş Kömürü	718	23.838	34	25.120	7.196
Linyit	15.609		0	15.453	2.918
Asfaltit	1.022			1.022	388
Kok		421	1	420	3.180
Türetilmiş Gazlar				0	412
Kömür Katranı		12	125	-96	32
Ham Petrol	3.135	32.629		35.448	0
Petrol Ürünleri		21.064	8.711	6.006	41.173
Doğal Gaz	398	37.299	629	37.128	25.772
Biyoenerji ve Atıklar	3.157			3.157	2.546
Hidrolik	7.639			7.639	0
Rüzgâr	1.869			1.869	0
Elektrik		190	240	-50	21.925
Diğer Isı				0	2.513
Jeotermal	9.651			9.651	1.954
Güneş	1.622			1.622	826
<b>TOPLAM</b>	<b>44.821</b>	<b>115.453</b>	<b>9.740</b>	<b>144.390</b>	<b>110.834</b>

Kaynak: [http-3](http://3)

Şekil 7'de Türkiye'de elektrik üretim ve tüketiminin kriz dönemleri hariç her yıl bir önceki yıla göre arttığı görülmektedir. 2019 yılında da kriz dönemleriyle benzer olarak elektrik üretim ve tüketiminde azalma meydana gelmiştir.

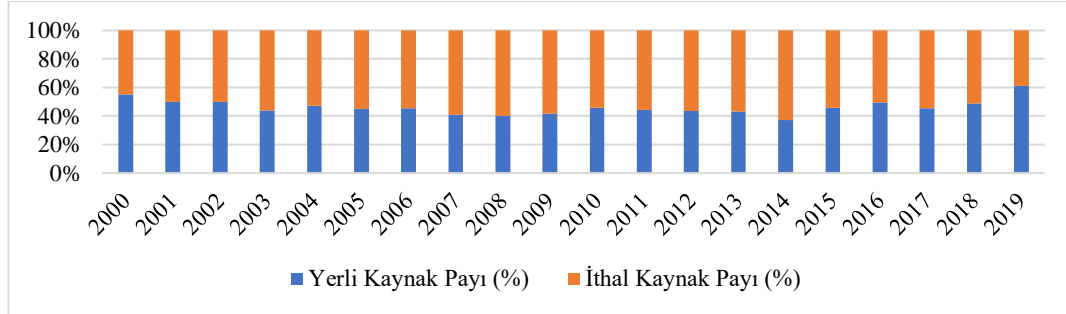


**Şekil 7. Elektrik Üretim ve Tüketiminin Yıllar İtibariyle Değişimi (%)**

Kaynak: TEİAŞ (2020). Türkiye Elektrik Üretim-İletim İstatistikleri.

<https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri> (Erişim Tarihi: 25.12.2020).

Şekil 8’de Türkiye’de yerli ve ithal kaynaklı elektrik enerjisi üretim oranları gösterilmektedir. 2003 yılından itibaren Türkiye’nin ithal kaynaklı elektrik enerjisi üretiminin yerli kaynaklı üretimden yüksek olduğu görülmektedir. Yerli kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi Türkiye ekonomisinin enerji ithalatına bağımlılığının çözümünde büyük önem taşımaktadır.



Şekil 8. Yerli ve İthal Kaynaklı Elektrik Enerjisi Üretiminin Toplam Türkiye Üretimi İçindeki Payı (2000-2019)

Kaynak: TEİAŞ (2020). Türkiye Elektrik Üretim-İletim İstatistikleri. <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri> (Erişim Tarihi: 25.12.2020).

Çizelge 11’de 2019 yılı elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı yer almaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde en yüksek paya ithal kömürün sahip olduğu ve yenilenebilir kaynakların elektrik enerjisi üretimine olan katkısının oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Çizelge 11. 2019 Yılı Türkiye Elektrik Enerjisi Üretiminin Kaynaklara Göre Dağılımı

Kaynak	Üretim (GWh)	Katkısı (%)
İthal Kömür	60.394,70	19,87
Taşkömürü + Asfaltit	5.627,20	1,85
Linyit	46.872,20	15,42
Doğal Gaz	57.288,20	18,85
Sıvı Yakıtlar	336	0,11
Barajlı	65.926,20	21,69
D.Göl ve Akarsu	22.896,60	7,53
Rüzgâr	21.730,70	7,15
Yenilenebilir Atık+Atık Isı	4.624,20	1,52
Jeotermal	8.951,70	2,95
Güneş	9.249,80	3,04
<b>TOPLAM</b>	<b>303.897,60</b>	<b>100</b>

Kaynak: TEİAŞ (2020). Türkiye Elektrik Üretim-İletim İstatistikleri. <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri> (Erişim Tarihi: 25.12.2020).

2019-2039 yıllarına ait Türkiye elektrik enerjisi talep projeksiyonu Çizelge 12’de gösterilmektedir. 2019 yılında elektrik enerjisi talebinin en düşük 313,8 TWh en yüksek 316,5 TWh olması beklenmektedir. 2039 yılında ise sırasıyla 556,3 TWh ve 679,9 TWh olacağı öngörülmektedir.

**Çizelge 12. 2019-2039 Yılları Arasında Türkiye Elektrik Enerjisi Talep Projeksiyonu**

Yıllar	Senaryo 1* (TWh)	Senaryo 2* (TWh)	Senaryo 3* (TWh)	Senaryo 1 Değişim	Senaryo 2 Değişim	Senaryo 3 Değişim
2019	313,8	315,2	316,5	-	-	-
2020	327,3	329,6	332,1	4,3%	4,6%	4,9%
2021	340,5	344,4	348,7	4,0%	4,5%	5,0%
2022	353,2	359,6	366,4	3,7%	4,4%	5,1%
2023	366,8	375,8	385,2	3,8%	4,5%	5,1%
2024	380,4	392,1	404,3	3,7%	4,3%	5,0%
2025	392,6	406,9	422,3	3,2%	3,8%	4,5%
2026	404,6	421,8	440,7	3,1%	3,6%	4,3%
2027	416,6	436,6	458,9	3,0%	3,5%	4,1%
2028	428,8	451,7	477,6	2,9%	3,5%	4,1%
2029	441	466,8	496,6	2,9%	3,3%	4,0%
2030	453	481,7	515,4	2,7%	3,2%	3,8%
2031	464,6	496,7	534	2,6%	3,1%	3,6%
2032	476,3	511,6	552,9	2,5%	3,0%	3,5%
2033	487,8	526,4	571,6	2,4%	2,9%	3,4%
2034	499,3	541	590,2	2,3%	2,8%	3,3%
2035	510,8	555,7	608,5	2,3%	2,7%	3,1%
2036	522,7	570,8	627	2,3%	2,7%	3,1%
2037	534	585,3	644,9	2,2%	2,5%	2,9%
2038	545,1	599,4	662,5	2,1%	2,4%	2,7%
2039	556,3	613,4	679,9	2,1%	2,3%	2,6%

\*Senaryo 1, düşük talep senaryosu; Senaryo 2, referans talep senaryosu; Senaryo 3, yüksek talep senaryosunu göstermektedir.

**Kaynak: http-4**

Onbirinci Kalkınma Planı’nda 2023 yılında birincil enerji talebinin 174.279 bin TEP, elektrik enerjisi talebinin 375,8 TWh, kişi başı birincil enerji tüketiminin 2,01 TEP, kişi başı elektrik enerjisi tüketiminin 4.324 kWh, doğal gazın elektrik üretimindeki payının %20,7, yenilenebilir kaynakların elektrik üretimindeki payının %38,8, yerli kaynaklardan üretilen elektrik enerjisi miktarının 219,5 TWh ve elektrik kurulu gücünün ise 109.474 MW olacağı hedeflenmektedir (On Birinci Kalkınma Planı, s.122).

Artan enerji talebine karşın yenilenebilir kaynakların elektrik enerjisi üretimine olan katkısının oldukça düşük olması enerjide dünyanın gelecek hedeflerine

yaklaşmak adına Türkiye’de yenilenebilir enerji yatırımlarının daha fazla desteklenmesini önemli kılmaktadır.

### 2.1.3.2. Türkiye’de Güneş Enerjisinin Durumu

Türkiye Toplumunun Enerji Tercihleri Araştırması’nın 2017 yılı sonuçlarında araştırmanın örneklemini oluşturan kitlenin %34’ünün, 2018 yılında %30’unun, 2019 yılında ise %29’unun, Türkiye’nin gelecekteki en önemli enerji kaynağının güneş enerjisi olacağını düşündüğü tespit edilmiştir. İlgili raporda “Yaşadığınız il sınırları içinde hangi santralin kurulmasını desteklersiniz?” sorusuna 2016 ve 2017 yıllarında ‘doğalgaz’, ‘jeotermal’ ve ‘kömür’ ilk üç sırada yer alırken, 2018 ve 2019’daki sıralama ‘güneş’, ‘rüzgâr’ ve ‘doğalgaz’ olarak değişmiştir. Türkiye’nin güneş enerjisi sektöründe ilerleme hızı açısından ülkenin güneş enerjisi potansiyelinin yüksekliği kadar kamuoyunda artan yenilenebilir enerji farkındalığı da oldukça önemlidir (Ediger vd., 2016; 2017; 2018; 2019).

Güneş Kuşağında<sup>1</sup> yer alan ülkelerin güneş enerjisi potansiyeli enerji talebinin karşılanması ve dünyanın fosil yakıtlara bağımlılığının azaltılmasına büyük oranda katkı sunabilecek ölçüdedir (EPIA, 2010, s.6). Ülkelerin güneş enerjisi potansiyeli ise yüzölçümlerine ve konumlarına göre değişmektedir. EPIA (2010) tarafından hazırlanmış olan raporda Türkiye de 36° – 42° Kuzey paralelleri ile 26° – 45° Doğu meridyenleri arasındaki coğrafi konumu ile Güneş Kuşağı ülkeleri arasında yer almaktadır. Bu bağlamda Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan ülkeler arasında yerini alması Türkiye’de güneş enerjisi yatırımlarının değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır.

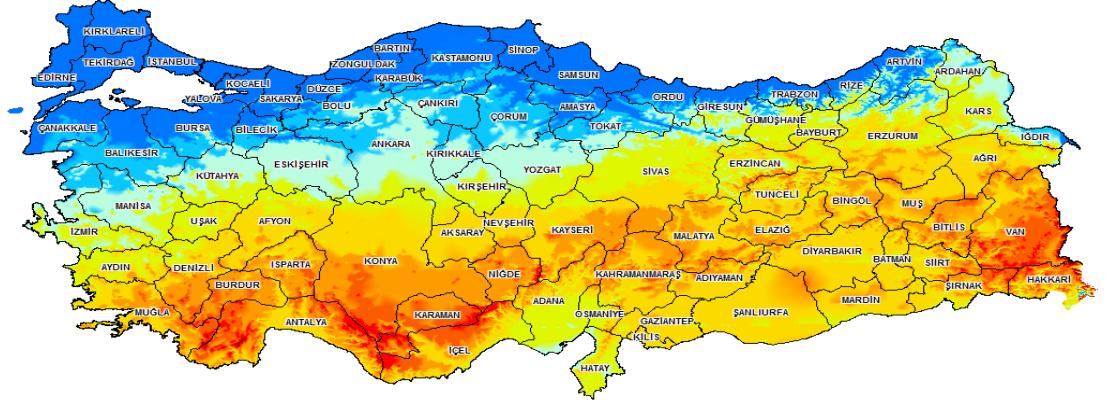
Şekil 9’da görülen Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat (günlük ortalama 7,5 saat), yıllık toplam

---

<sup>1</sup> Ekvatorun 35° Kuzey ve Güney enlemleri arasında kalan bölge “Dünya Güneş Kuşağı” olarak ifade edilmektedir.



gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m<sup>2</sup> (günlük ortalama 4,18 kWh/m<sup>2</sup>) olduğu tespit edilmiştir (http-5).



Şekil 9. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası

Kaynak: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü,  
<http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>. (Erişim Tarihi: 18.12.2018)

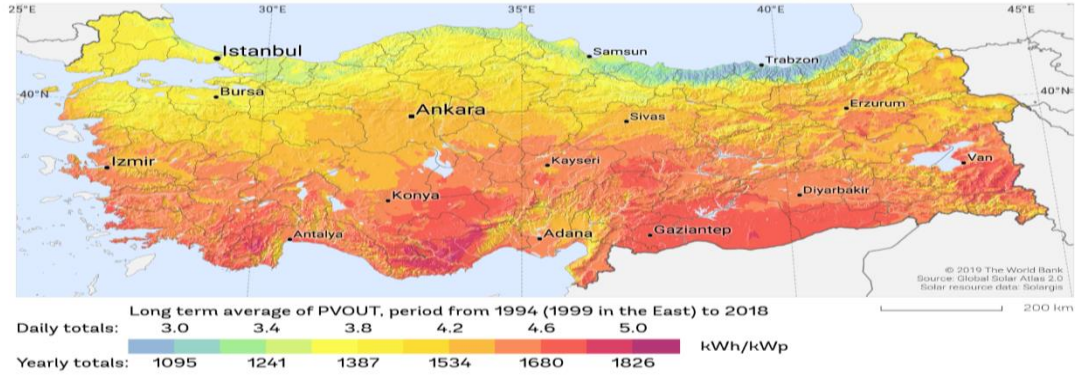
Şekil 9'da yer alan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası'na göre, İç Anadolu, Doğu Anadolu, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu yüksek değerde ışınım alırken, Marmara ve Ege orta değerde, Karadeniz ise en az ışınımı almaktadır. Bu nedenle İç Anadolu, Doğu Anadolu, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri güneş enerjisi yatırımları noktasında daha avantajlı konumdadır. Dolayısıyla bu bölgelerde yapılan GES yatırımlarının kârlılık analizlerinde daha yüksek sonuçlara ulaşılmaktadır. Çizelge 13'te de Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı ve bölgelerin güneşlenme süreleri görülmektedir.

Çizelge 13. Güneş Enerjisi Potansiyelinin Bölgelere Göre Dağılımı

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m <sup>2</sup> -Yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/Yıl)
Güneydoğu Anadolu	1.460	2.993
Akdeniz	1.390	2.956
Doğu Anadolu	1.365	2.664
İç Anadolu	1.314	2.628
Ege	1.304	2.738
Marmara	1.168	2.409
Karadeniz	1.120	1.971

Kaynak: Kılıç, F. Ç. (2015). "Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri," Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 671, s. 28-40.

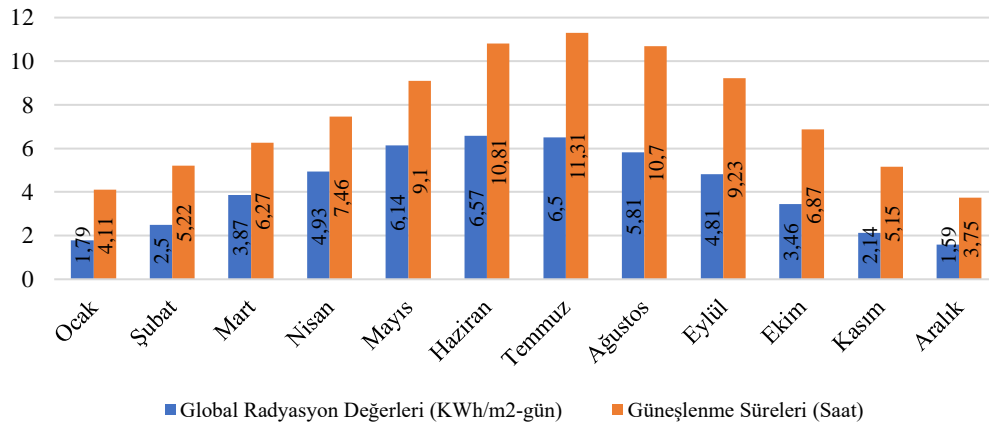
Şekil 10'da Türkiye fotovoltaik enerji potansiyeli haritası yer almaktadır. Harita incelendiğinde İç Anadolu, Doğu Anadolu, Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinin fotovoltaik enerji potansiyellerinin yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 10. Türkiye Fotovoltaik Enerji Potansiyeli

Kaynak: <http-6>

Şekil 11'de Türkiye'nin aylara göre bir günlük toplam güneş ışıını ve toplam güneşlenme süresine yer verilmiştir. Buna göre en düşük günlük güneş ışıını ve güneşlenme süresi Aralık ayında gerçekleşirken, en uzun günlük güneş ışıını Haziran ayında, en uzun güneşlenme süresi ise Temmuz ayında gerçekleşmektedir.



Şekil 11. Türkiye Global Radyasyon Değerleri ve Güneşlenme Süreleri

Kaynak: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/> (Erişim Tarihi:08.04.2020).

Türkiye yıllık 110 gün gibi yüksek bir güneşlenme potansiyeline sahip ve güneşlenme süresinin uzun olmasına rağmen güneş enerjisi potansiyelini değerlendirmekte bir hayli gecikmiştir. Çizelge 14’te Türkiye’nin güneş enerjisinde kurulu gücünün 2015 yılına kadar çok düşük olduğu, sonrasında ise yükselişe geçtiği görülmektedir. Tabloda ayrıca Türkiye’de fotovoltaik enerjide kurulu gücün arttığı, yoğunlaştırılmış güneş enerjisindeki kurulu güçte ise çok fazla ilerleme kaydedilmediği de görülmektedir. Güneş enerjisi sektörüne yapılan yatırımların artması sonucunda Çizelge 9’da görüldüğü gibi Türkiye fotovoltaik enerjide dünyada 2016, 2017 ve 2018 yıllarında ilk 10 ülke arasında yerini almıştır.

**Çizelge 14. Güneş Enerjisinde Kurulu Kapasite ve Elektrik Üretimi**

	Elektrik kapasitesi (MW)			Elektrik üretimi (GWh)		
	Güneş enerjisi	Fotovoltaik enerji	Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi	Güneş enerjisi	Fotovoltaik enerji	Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi
2002	1	1	0	1	1	0
2003	1	1	0	1	1	0
2004	2	2	0	2	2	0
2005	2	2	0	3	3	0
2006	3	3	0	4	4	0
2007	3	3	0	4	4	0
2008	4	4	0	5	5	0
2009	5	5	0	7	7	0
2010	6	6	0	8	8	0
2011	7	7	0	10	10	0
2012	12	12	0	17	17	0
2013	19	18	1	29	26	3
2014	41	40	1	20	17	3
2015	250	249	1	197	194	3
2016	834	833	1	1.046	1.043	3
2017	3.422	3.421	1	2.892	2.889	3
2018	5.064	5.063	1	7.803	7.800	3
2019	5.996	5.995	1	-	-	-
2020	6.668	6.667	1	-	-	-

**Kaynak: IRENA (2021), Renewable Capacity Statistics 2021; & IRENA (2020), Renewable Energy Statistics 2020, The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.**

Çizelge 14’te yer alan verilere göre Türkiye’de güneş üretim teknolojilerinden fotovoltaik enerji, yoğunlaştırılmış güneş enerjisine göre daha fazla yatırım çekmektedir ve sonuç olarak fotovoltaik enerjinin kurulu gücü ve elektrik üretimi yoğunlaştırılmış güneş enerjisine ile kıyaslanamaz biçimde daha yüksektir. Türkiye’de fotovoltaik enerjinin daha fazla talep görmesinin nedenleri arasında, yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistem maliyetlerinin daha yüksek olması ve santrallerinin kurulumu

için GES'in kurulduğu yerdeki DNI değerinin 1.800 kWh/m<sup>2</sup>'nin üzerinde olması gerekliliği sayılabilmektedir. Türkiye'de bu DNI değerinin üzerinde olan alan ise çok azdır (Cebeci, 2017, s. 96).

Çizelge 15'te Türkiye'de güneş enerjisinde kuruluşlara göre kurulu güç (MW) ve santral adetleri gösterilmiştir. Güneş enerjisi sektöründe 37 adet serbest üretim şirketi santrali ve 7.800 adet lisanssız santral olmak üzere toplam 7.837 santral kuruludur. Buna göre Türkiye'de güneş enerjisinde lisanssız santrallerin ağırlıkta olduğu görülmektedir.

**Çizelge 15. Güneş Enerjisinde Kuruluşlara Göre Kurulu Güç (MW) ve Santral Adetleri**

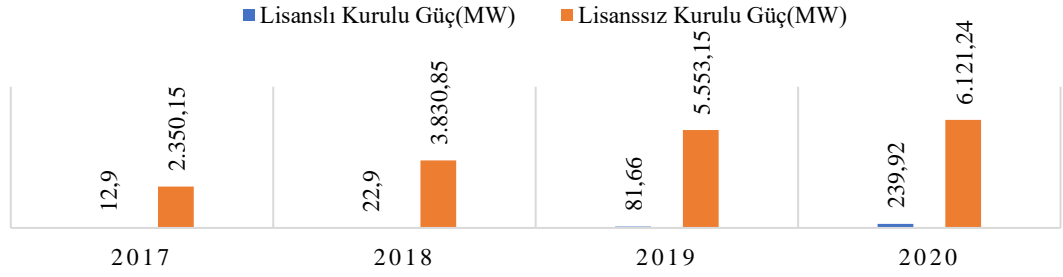
<b>EÜAŞ Santralleri</b>	Kurulu Güç (MW)	0,0
	Santral Adedi	0
<b>İşletme Hakkı Devredilen Santraller</b>	Kurulu Güç (MW)	0
	Santral Adedi	0
<b>Yap İşlet Devret Santralleri</b>	Kurulu Güç (MW)	0
	Santral Adedi	0
<b>Serbest Üretim Şirketi Santralleri</b>	Kurulu Güç (MW)	571,5
	Santral Adedi	37
<b>Lisanssız Santraller</b>	Kurulu Güç (MW)	6.493,9
	Santral Adedi	7.800
<b>Toplam</b>	Kurulu Güç (MW)	7.065,4
	Santral Adedi	7.837

**Kaynak: TEİAŞ (2021). Nisan Ayı Kurulu Güç Raporu, <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari> (Erişim Tarihi: 17.05.2021).**

Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM)<sup>2</sup> kapsamındaki güneş enerjisi üretim tesislerinin kurulu güç miktarları Şekil 12'de gösterilmektedir. 2017 yılında YEKDEM kapsamında lisanslı kurulu güç 12,9 MW iken 2020 yılında 239,92 MW büyüklüğe ulaşmıştır. Lisanssız kurulu güç ise 2350,15 MW'dan 6.121,24 MW'a ulaşmıştır.

---

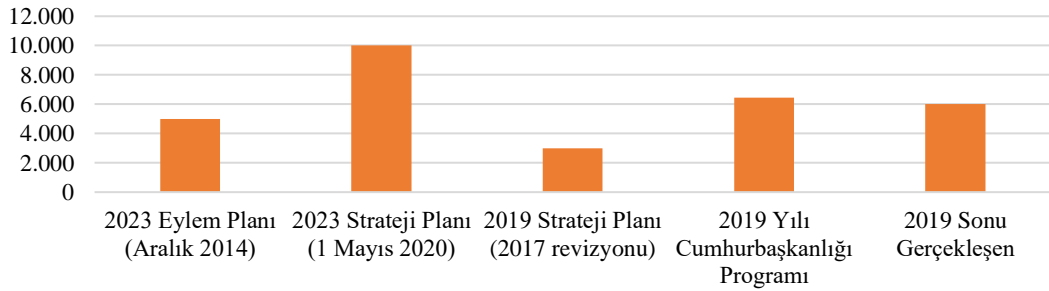
<sup>2</sup> Kanun kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim faaliyeti gösterenlerin faydalanabileceği fiyat, süreler ve bunlara yapılacak ödemelere ilişkin usul ve esasları içeren destekleme mekanizmasını ifade etmektedir.



Şekil 12. YEKDEM Güneş Enerjisi Kurulu Güç (MW)

**Kaynak: EPIAŞ Şeffaflık Platformu,**  
<https://seffaflik.epias.com.tr/transparency/uretim/yekdem/kurulu-guc.shtml> (Erişim Tarihi: 27.04.2021).

Şekil 13’te 2023 Ulusal Yenilenebilir Eylem Planı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) 2019-2023 Stratejik Planı, ETKB 2015-2019 Stratejik Planı ve 2019 Yılı Cumhurbaşkanlığı Programı’nda güneş enerjisine yönelik öngörülen kapasiteler (MW) gösterilmiştir. 2019 yılı sonunda gerçekleşen kapasite 5.995 MW’dır ve 2023 Eylem Planı’nda 5.000 MW, ETKB 2019-2023 Stratejik Planı’nda 10.000 MW, ETKB 2015-2019 Stratejik Planı’nda 3.000 MW, 2019 Yılı Cumhurbaşkanlığı Programı’nda ise 6.433 MW kapasite öngörülmektedir (TMMOB Makine Mühendisleri Odası, 2020).



Şekil 13. Güneş Enerjisi Öngörülen Kapasiteler/Gerçekleşme (MW)

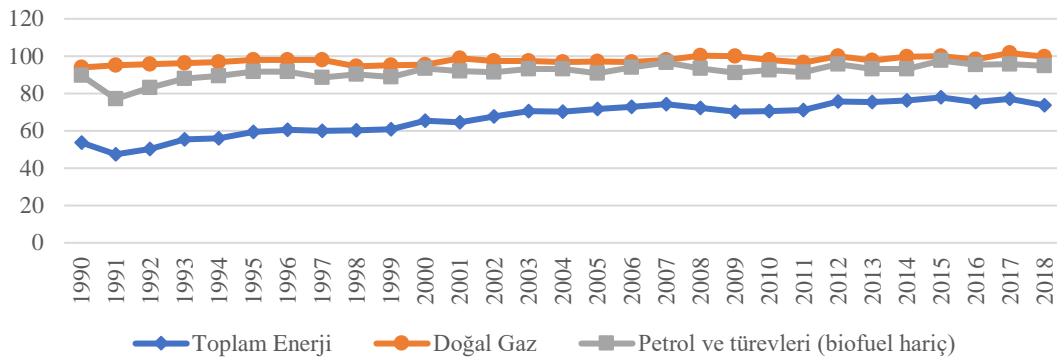
**Kaynak: TMMOB Makine Mühendisleri Odası (2020). Türkiye’nin Enerji Görünümü, 2020 Sunumu, Mayıs 2020.**

### 2.1.3.3. Türkiye’de Güneş Enerjisi Yatırımları

Türkiye Toplumunun Enerji Tercihleri Araştırması’nın 2016 yılı sonuçlarında Türkiye enerji sisteminin en önemli sorununun “ithal enerjiye bağımlılık” 2017, 2018

ve 2019 yılı sonuçlarında ise “enerjinin pahalı olması” olduğu tespit edilmiştir (Ediger vd., 2016; 2017; 2018; 2019).

Türkiye'nin enerji bağımlılığının 2018 yılında %75 civarında olduğu Şekil 14'te görülmektedir. Enerji kaynakları bazında bakıldığında ise doğalgaza bağımlılığın %99, petrol ürünlerine bağımlılığın ise %95 civarında olduğu görülmektedir.

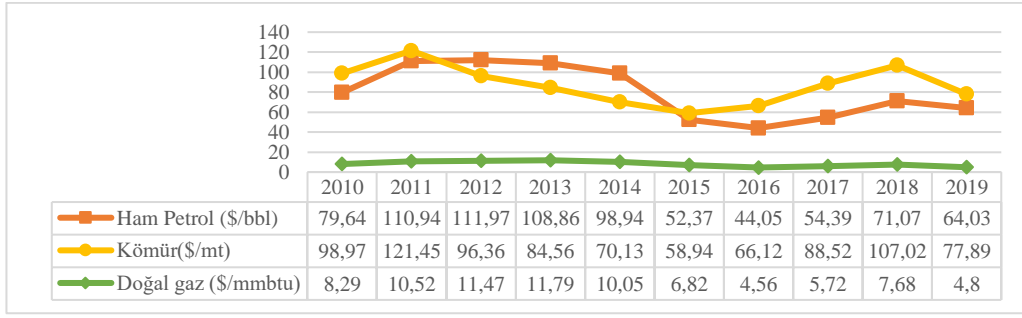


Şekil 14. Türkiye'nin Enerji Bağımlılığı (%)

**Kaynak: Eurostat,**  
[https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=t2020\\_rd320&language=en](https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=t2020_rd320&language=en) (Erişim Tarihi: 03.12.2020).

Türkiye'nin %99 oranında bağımlı olduğu doğal gazın ithal edildiği başlıca ülkeler; Rusya, İran, Azerbaycan, Cezayir ve Nijerya'dır. En fazla doğal gaz ithal edilen ülke %33,61 gibi büyük bir oranla Rusya'dır (EPDK, 2020). Doğal gazın %33,61 gibi yüksek bir oranda Rusya'dan ithal edilmesi Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığı ve enerji güvenliği açısından büyük bir risk oluşturmaktadır. Türkiye'nin doğal gazda önemli ölçüde ithalata bağımlı olması ve artan petrol ve doğal gaz ithalatı Türkiye ekonomisini petrol ve doğal gaz fiyatlarındaki oynaklığa daha fazla maruz bırakmaktadır (http-7).

Yenilenebilir enerji kaynakları büyük oranda yerli enerji kaynaklarından oluşmaktadır. Yenilenebilir enerji üretimi; ülkelerin ulusal enerji güvenliğinin artmasına, enerji ithalatının azalmasına, enerji ithal eden ülkelerin gayri safi yurt içi hasılasında artış ve ticaret açığında azalış yaşanmasına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca yenilenebilir enerji kullanımının büyük oranda artması dolaylı olarak petrol ve doğal gaz fiyatlarında aşağı yönlü bir baskı oluşturup fiyat volatilitelerini azaltma potansiyeline sahiptir (Öztürk, 2014, s.2).



**Şekil 15. Enerji Kaynaklarının Dünya Ortalama Fiyatları: 2010-2019**

**Kaynak:** World Bank Commodity Price Data (The Pink Sheet). <https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets> (Erişim Tarihi: 03.12.2020).

Şekil 15’te fosil enerji kaynaklarının dünya ortalama fiyatları gösterilmektedir. Fiyatların dalgalı olması Türkiye’nin enerjide dışa bağımlılığını azaltacak enerji politikalarının uygulanmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Türkiye’nin enerjide dışa bağımlılığının azaltılabilmesi için yenilenebilir enerji yatırımlarını artıracak politika ve stratejiler oluşturulmalıdır.

Türkiye yerli ve yabancı yatırımcılar için rüzgâr ve güneş enerjisi alanlarında cazip yatırım fırsatları sunmaktadır. İhalelere gelen yüksek miktarda talep Türkiye’de yenilenebilir enerji alanında yatırım ve uygulamalar için güçlü bir iştah olduğunu göstermektedir. Yatırım ortamının iyileşmesini sağlayan gelişmelerin ve enerji reformlarının Türkiye’yi yatırımcılar için daha cazip bir pazar haline getireceği öngörülmektedir (Baykuş, 2019).

Uluslararası danışmanlık ve denetim şirketi Ernst&Young’ın hazırlamış olduğu 40 ülkenin yenilenebilir enerji yatırımları bakımından sıralandığı Yenilenebilir Enerji Ülke Çekiciliği Endeksi’nde Türkiye’nin sıralaması, elde ettiği toplam skor ve güneş enerjisi teknolojileri özelindeki skorları Çizelge 16’da gösterilmektedir.

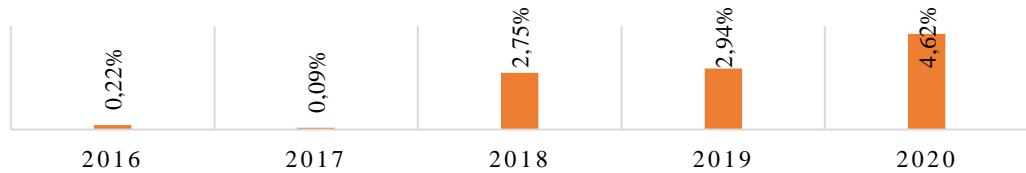
**Çizelge 16. Yenilenebilir Enerji Ülke Çekiciliği Endeksi (RECAI)**

Yıl	Ay	Sıra	RECAI Skoru	Fotovoltaik Enerji Skoru	Yoğunlaştırılmış Güneş Enerjisi Skoru
2013	Ağustos	24	47,3	37,4	
2014	Haziran	20	50,6	26	12
2014	Eylül	19	50,7	26	12
2015	Mart	18	51,5	28	14
2015	Haziran	17	52,0	26	14
2018	Mayıs	17	51,2	16	17
2018	Kasım	18	54,6	48	24
2019	Mayıs	22	53,2	46	24
2019	Kasım	25	53,0	16	16
2020	Mayıs	34	45,8	40,1	19,3
2020	Kasım	30	52,6	48,3	27,9

**Kaynak: Ernst&Young Renewable Energy Country Attractiveness Index Reports (2013, August; 2014, June; 2014, September; 2015, March; 2015, June; 2018, May; 2018, November; 2019, May; 2019, November; 2020, May; 2020, November)**

Çizelge 16’da Türkiye’nin 2013 yılında 37,4 olan fotovoltaik enerji ülke çekiciliği endeks skorunun 2020 yılında 48,3 puana yükseldiği görülmektedir. Bu yükseliş Türkiye’nin güneş enerjisi yatırımlarında ön plana çıktığını yansıtmakta ve Çizelge 9’da yer alan Türkiye’nin fotovoltaik enerjide ilk on ülke arasında yer alması sonucunu destekler niteliktedir.

Şekil 16’da Türkiye’de GES yatırımlarının enerji yatırımlarına oranının 2016-2020 yılları arasındaki gelişimi görülmektedir. Beş yıllık dönemde enerji yatırımlarının içerisinde GES yatırımlarının payı %0,22’den %4,62’ye ulaşmıştır. GES yatırımlarının hızlı gelişimine rağmen yine de %4,62’lik pay Türkiye’nin enerji bağımlılığı, enerji arz güvenliği ve yenilenemeyen enerji kaynaklı yakıt tüketiminin çevresel etkileri gibi sorunlarına çözüm olabilecek bir seviyede değildir.

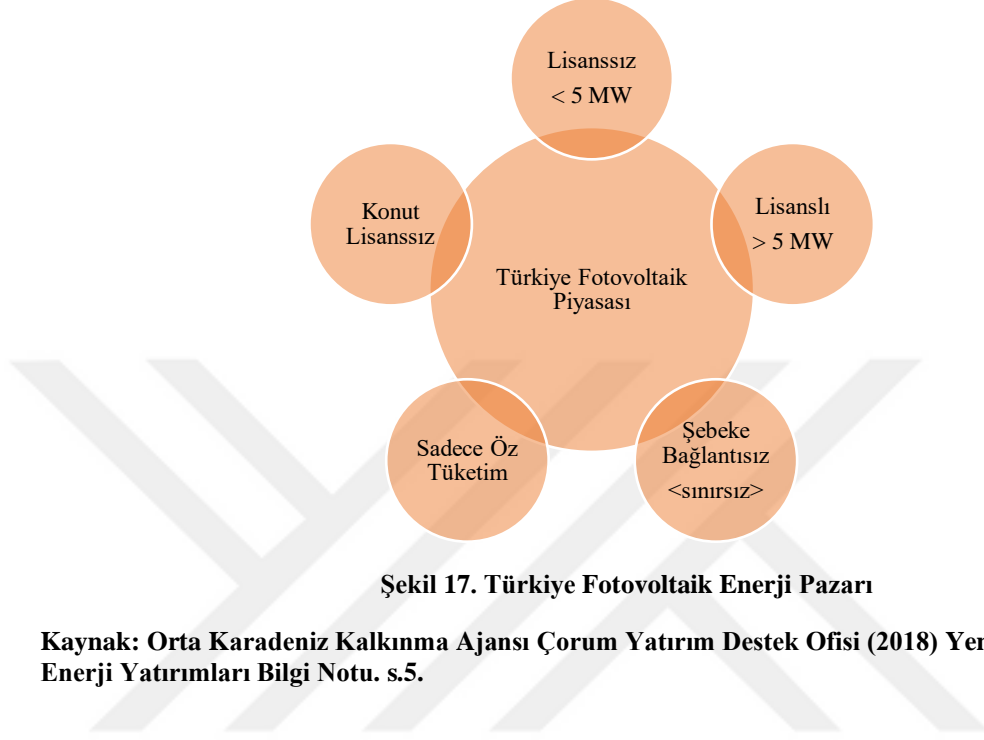


**Şekil 16. GES Yatırımlarının Enerji Yatırımlarına Oranı**

**Kaynak: <http-8>**



Şekil 17’de Türkiye fotovoltaik enerji piyasasında yapılan yatırım alanları görülmektedir. Buna göre ülkemizde lisanslı, lisanssız, konut lisanssız, şebeke bağlantısız ve sadece öz tüketim amacıyla güneş enerjisi sektöründe yatırımlar yapılmaktadır.



Çizelge 17’de Türkiye’de YEKDEM kapsamında yer alan ve diğer lisanslı güneş enerjisi santrallerine ait bilgiler gösterilmektedir.

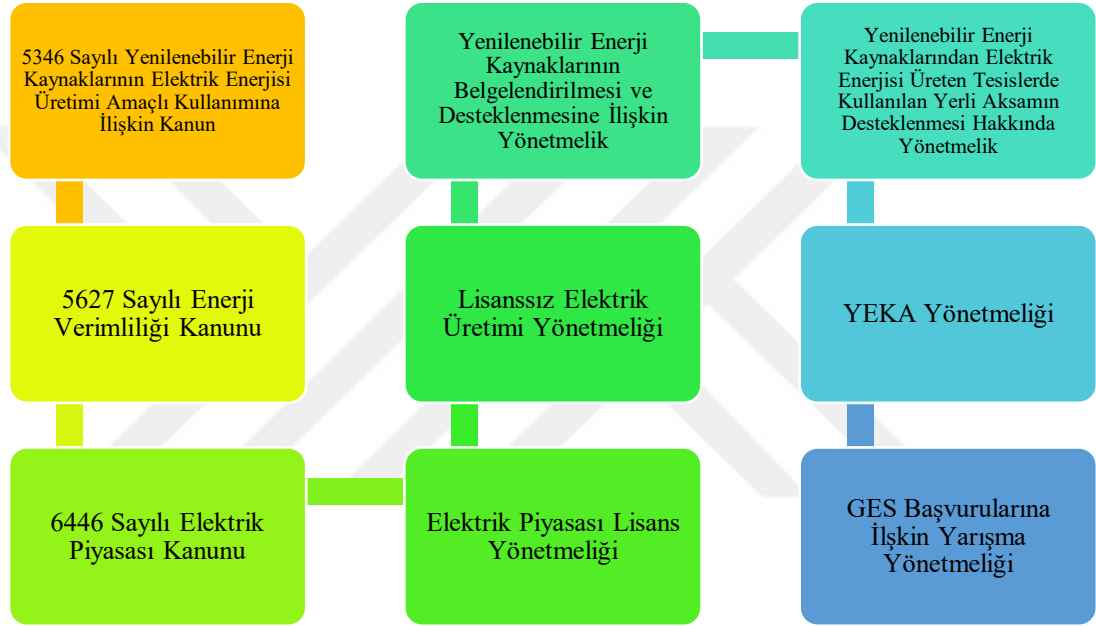
**Çizelge 17. Lisanslı Fotovoltaik Enerji Santralleri**

	Şirket Adı	Tesis Adı	İl	Kurulu Güç (MWe)	İşletmedeki Ünite Sayısı	Lisansa Derç Edilen Yıllık Üretim Miktarı (MWh)	İşletmeye Giriş Tarihi	Son Yararlanma Dönemi (Yıl)	Yararlanma Dönemi	Yek Fiyatı
YEKDEM Kapsamındaki Lisanslı Fotovoltaik Santraller	Afta Enerji Üretim Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi	Afta GES	Konya	9,8	1	19.600.000,00	20.09.2019	2029	1	13,3
	Dalsan Enerji Üretim ve İşletmecilik. Anonim Şirketi	Denizli Tavas GES	Denizli	1,68	1	10.000.000,00	11.10.2019	2029	1	13,3
	Halk Enerji Yatırımları Üretim ve İnşaat Anonim Şirketi	Halk Enerji Erzurum GES	Erzurum	4,9	1	8.085.000,00	30.10.2016	2026	4	13,3
	Le Güneş Elektrik Üretim Anonim Şirketi	Apa GES	Konya	13,1	1	26.200.000,00	13.09.2019	2029	1	13,3
	Me-Se Enerji Elektrik Üretim Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi	Me-Se GES	Konya	9,9	3	19.800.000,00	27.09.2018	2028	2	13,3
	Mt Doğal Enerji Üretim Anonim Şirketi	Mt GES	Konya	9,98	1	19.960.000,00	27.09.2018	2028	2	13,3
	Omicron Güneş Enerjisi Elektrik Üretim ve Ticaret Anonim Şirketi	Omicron Engil208 GES	Van	9,95	1	19.900.000,00	20.09.2018	2028	2	13,3
	Omicron Güneş Enerjisi Elektrik Üretim ve Ticaret Anonim Şirketi	Omicron Erciş GES	Van	9,95	1	19.900.000,00	21.09.2018	2028	2	13,3
	Psi Güneş Enerjisi Elektrik Üretim ve Ticaret Anonim Şirketi	Psi Engil207 GES	Van	9,95	1	19.900.000,00	25.07.2019	2029	1	13,3
	Ra Güneş Enerjisi Üretim Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi	Ra Güneş Mardin GES	Mardin	0,315	1	17.975.520,00	18.10.2019	2029	1	13,3
	Reno Enerji Yatırım Bilişim Teknolojileri Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi	Reno Acıpayam GES	Denizli	10	1	20.000.000,00	13.10.2017	2027	3	13,3
	Solana Enerji Üretim Anonim Şirketi	Solana Konya GES	Konya	2,24	1	3.763.000,00	19.09.2019	2029	1	13,3
	Solentegre Enerji Yatırımları Ticaret Anonim Şirketi	Solentegre GES	Elazığ	8	1	15.752.000,00	14.10.2016	2026	4	13,3
	Yaysun Elektrik Üretim Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi	Yaysun GES	Konya	9,98	1	19.960.000,00	27.09.2018	2028	2	13,3
	Ybt Enerji Elektronik İnşaat Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi	Hamal GES	Sivas	9	1	17.896.000,00	1.08.2018	2028	2	13,3
Çumra Güneş Enerjisi ve Üretim Anonim Şirketi	Alibeyhöyüğü GES	Konya	18	1	36.000.000,00	26.09.2019	2029	1	13,3	
Şua Elektrik Üretim Anonim Şirketi	Cıngılı GES	Niğde	26	1	51.045.350,00	28.09.2019	2029	1	13,3	
Diğer Santraller	Dalsan Enerji Üretim ve İşletmecilik Anonim Şirketi	Denizli Tavas GES	Denizli	3,32			12.12.2019			
	Ra Güneş Enerjisi Üretim Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi	Ra Güneş Mardin GES	Mardin	3,632			28.12.2019			
	Ra Güneş Enerjisi Üretim Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi	Ra Güneş Mardin GES	Mardin	5,026			17.01.2020			
	Sbd Enerji Üretim Ticaret Anonim Şirketi	Alibey GES	Konya	5			24.03.2020			

Kaynak: EPIAŞ Şeffaflık Platformu, <https://seffalik.epias.com.tr/transparency/uretim/lisansli-santral-yatirimlari.xhtml> (Erişim Tarihi: 31.12.2020)

#### 2.1.4. Türkiye’de Güneş Enerjisinde Yasal Çerçeve

Türkiye’de güneş enerjisi yatırımlarının gelişimine paralel olarak yasal mevzuatta da zaman içinde gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Bu bağlamda halihazırda Türkiye’de güneş enerjisi yatırımlarını ilgilendiren ve mevzuatta yer alan ilgili kanun ve yönetmelikler Şekil 18’de yer almaktadır.



Şekil 18. Güneş Enerjisi Yatırımlarını İlgilendiren Yasal Çerçeve

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi ile ilgili ilk yasal düzenleme 18.05.2005 tarih ve 25819 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun (YEK Kanunu) ile olmuştur. 5346 sayılı YEK Kanununun amacı; “Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanımının yaygınlaştırılması, bu kaynakların güvenilir, ekonomik ve kaliteli biçimde ekonomiye kazandırılması, kaynak çeşitliliğinin artırılması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, atıkların değerlendirilmesi, çevrenin korunması ve bu amaçların gerçekleştirilmesinde ihtiyaç duyulan imalat sektörünün geliştirilmesi” olarak belirtilmiştir. Bu kanun kapsamında yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik

üretimi için bir teşvik politikası olan tarife garantisi sağlanmıştır. Bu teşvik kapsamında 2011 yılı sonuna kadar EPDK'nın belirlediği bir önceki yıla ait Türkiye ortalama elektrik toptan satış fiyatından elektrik alım garantisi sağlanmıştır. Bu kanun kapsamında sağlanan tarife garantisi yenilenebilir enerji teknolojilerine göre farklılık göstermemektedir.

02.05.2007 tarihli ve 26510 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ile YEK Kanunu’nda yer alan tarife garantisi değiştirilmiş ve tarife garantisi (feed-in tariff) oranlarının 5 Euro Cent/kWh karşılığı Türk lirasından az, 5,5 Euro Cent/kWh karşılığı Türk Lirasından fazla olamayacağı ancak 5,5 Euro Cent/kWh sınırının üzerinde serbest piyasada satış imkânı bulan yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı lisans sahibi tüzel kişilerin bu imkândan yararlanabileceği hususuna yer verilmiştir. Ayrıca YEK Kanununda 7 yıl olarak belirlenen sabit fiyat garantisi 10 yıla çıkarılmıştır.

08.01.2011 tarih ve 27809 sayılı Resmî Gazetede yayımlanan 6094 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun ile Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması (YEKDEM)<sup>3</sup> oluşturulmuş ve YEK Kanununda yer alan tarifeler yenilenebilir enerji kaynağına göre değiştirilmiştir. Ayrıca bu Kanun ile enerji üretiminde yerli aksam kullanımına ek teşvikler sağlanmıştır. Kanunda tarife garantisi için belirlenen fiyat güneş enerjisine dayalı üretim tesisleri için 13,3 cent/kWh olarak belirlenmiştir. Yerli aksam kullanımı için belirlenen teşvik tutarı ise fotovoltaik güneş enerjisine dayalı üretim tesislerinde 6,7 cent/kWh iken yoğunlaştırılmış güneş enerjisine dayalı üretim tesislerinde 9,2 cent/kWh’dir. Ünitelerin tamamen yerli teknoloji ile üretilmiş olması durumunda fotovoltaik güneş enerjisine dayalı üretim tesislerinde toplam teşvik 20 cent/kWh’e, yoğunlaştırılmış güneş enerjisine dayalı üretim tesislerinde de 22,5 cent/kWh’e yükselmektedir. İlgili kanunda 18.05.2005 tarihinden 31.12.2015 tarihine kadar işletmeye girmiş veya girecek YEKDEM’e tabi üretim lisansı sahipleri için sabit fiyat garantisinden yararlanılabilecek süre 10 yıl olarak belirlenmiştir. Yerli katkı ilavesinin ise üretim

---

<sup>3</sup> Kanun kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim faaliyeti gösterenlerin faydalanabileceği fiyat, süreler ve bunlara yapılacak ödemelere ilişkin usul ve esasları içeren destekleme mekanizmasını ifade etmektedir.

tesisinin işletmeye giriş tarihinden itibaren beş yıl süreyle verileceği belirlenmiştir. 05.12.2013 tarihli Resmî Gazete’de sabit fiyat garantisi ve yerli katkı ilavesinin 31.12.2020 tarihine kadar işletmeye girecek olan YEKDEM’e tabi YEK Belgeli üretim lisansı sahipleri için geçerli olacağı karara bağlanmıştır. 18.09.2020 tarihli Resmî Gazete’de yer alan Cumhurbaşkanı Kararı ile 01.01.2021 tarihinden 30.06.2021 tarihine kadar işletmeye girecek YEKDEM’e tabi üretim lisansı sahipleri için sabit fiyat garantisinden yararlanabilecekleri belirtilmiştir. 30.01.2021 tarihli Resmî Gazete’de yer alan Cumhurbaşkanı Kararı ile YEKDEM fiyatı (tarife garantisi) ile yerli katkı fiyatı güncellenmiştir. İlgili kararda 01.07.2021 tarihinden 31.12.2025 tarihine kadar işletmeye girecek YEK Belgeli güneş enerjisine dayalı elektrik üretim tesisleri için tarife garantisi 10 yıl süreyle 32 Türk Lirası kuruş/kWh, yerli katkı fiyatı ise 5 yıl süreyle 8 Türk Lirası kuruş/kWh olduğu ve uygulanacak fiyatların üçer aylık dönemler halinde güncelleneceği belirtilmiştir. Güneş enerjisine dayalı üretim tesislerinde YEKDEM fiyatlarının güncellenmesinde 5,10 ABD Doları-cent/KWh üst sınır uygulanacağı belirlenmiştir.

09.10.2016 tarihli Resmî Gazete’de Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanı (YEKA)<sup>4</sup> Yönetmeliği yayımlanmıştır. Bu Yönetmeliğin amacı; kamu ve hazine taşınmazları ile özel mülkiyete konu taşınmazlarda büyük ölçekli YEKA oluşturularak yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin ve verimli kullanılması, bu alanların yatırımcılara tahsisıyla yatırımların hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı elektrik enerjisi üretim tesislerinde kullanılan ileri teknoloji içeren aksamın yurt içinde üretilmesi ya da yurt içinden temin edilmesinin sağlanması, teknoloji transferinin teminine katkı sağlanmasıdır. Lisanslı GES kurulumları günümüzde YEKA kapsamında yapılmaktadır. YEKA’larda üretilen elektrik enerjisi, şartnamede belirtilen süre boyunca ve YEKA Kullanım Hakkı Sözleşmesinde yer alan fiyat üzerinden, YEKDEM kapsamında değerlendirilir. Alım süresi YEKA Kullanım Hakkı Sözleşmesinin imzalanmasıyla birlikte başlar.

---

<sup>4</sup> YEKA kamuya ait büyük arazilerin, enerji santralleri ile değerlendirilmek üzere tahsisidir (PWC, <https://www.pwc.com.tr/tr/sectorler/enerji-altyapi-madencilik/enerji-spotlights/yeka-uzerine-bir-degerlendirme.html> Erişim Tarihi: 10.09.2020).

### 2.1.5. Güneş Enerjisinde Gelişmeyi Destekleyen Enerji Politikaları

Düşük yakıt ve işletme giderleri yenilenebilir enerji kaynaklarına yaşam döngüsü temelinde maliyet rekabeti sağlarken, yüksek kurulum maliyeti yenilenebilir enerji kaynaklarının yatırılan dolar başına kurulu kapasitesinin yenilenemeyen kaynaklardan düşük olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle yenilenebilir enerji yatırımlarında yenilenemeyen enerji ile aynı kapasitede üretim için daha yüksek finansmana ihtiyaç duyulmaktadır (Beck ve Martinot, 2004, s.4). Yüksek finansman ihtiyacı olmasına rağmen yenilenebilir enerji yatırımcıları krediye erişim noktasında teminat eksikliği, kısa vade ve düşük kredi oranları gibi nedenlerle sıkıntı yaşamaktadır (Mendonça, 2007, s.6). Yenilenemeyen enerji kaynaklarına sağlanan yüksek sübvansiyonlar nihai enerji fiyatlarını önemli ölçüde düşürme gücüne sahip iken yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde eşit miktarda sübvansiyondan yararlanılamaması durumunda bir dezavantaj oluşturmaktadır (Beck ve Martinot, 2004, s.4).

Güneş enerjisi kullanımının önündeki engellerin araştırıldığı bir çalışmada (Margolis ve Zuboy, 2006) en sık karşılaşılan engeller arasında devlet destek politikalarının eksikliği, yenilenebilir enerji teknolojilerinin yenilenemeyen kaynaklara kıyasla maliyetinin yüksek olması ve yetersiz finansman alternatifleri yer almaktadır.

Büyük ölçekli güneş enerjisi teknolojileri de diğer yenilenemeyen enerji kaynaklarıyla karşılaştırıldığında maliyet avantajı sağlayamamaktadır. Bu nedenle Timilsina vd. (2011, s.23).’ne göre mevcut teknoloji ve enerji fiyatları koşullarında güçlü politika teşvikleri olmadıkça güneş enerjisi piyasasında önemli yatırımların olması mümkün görünmemektedir. Sargsyan vd. (2011, s.12) de güneş enerjisinin sübvansiyon ve tarife garantileri olmadan finansal açıdan uygulanabilir olmadığını savunmaktadır.

Altyapı malzemelerinin yüksek maliyetleri ve güneş hücrelerinin düşük verimliliği güneş enerjisinin yüksek maliyetli olmasına neden olmaktadır. Yüksek maliyetine rağmen, endüstrinin yüksek yerel istihdam potansiyeli ve bol miktarda doğal güneş ışığı kaynağının olması güneş enerjisini yenilenebilir enerjiyi destekleyen

ve yerel işsizlikle mücadele eden politika yapıcılar nezdinde cazip kılmaktadır (Haley ve Schuler, 2011, s. 18).

Yenilenebilir enerji üretimini teşvik etmek amacıyla uygulanan politikalar için literatürde çeşitli sınıflandırmalar yapılmıştır. Yenilenebilir enerji üretimini destekleyen politikalar **fiyat veya miktar belirleyen politikalar** (düzenleyici kanun, tarife garantisi, ihale, yenilenebilir enerji kota sistemi, yenilenebilir enerji sertifikaları); **yatırım maliyetlerini düşürecek politikalar** (sübvansiyon, vergi indirimi, hibe ve kredi) ve **kamusal yatırım ve pazarın geliştirilmesini sağlayacak teşvikler** (kamu yararına kurulan fonlar, inşaat ve tasarım, alan tespiti ve izinleri, ekipman standartları, müteahhit sertifikasyonu ve ekipman satışı) olarak gruplandırılabilir (Beck ve Martinot, 2004, s.7). Yenilenebilir enerji destek politikaları düzenleyici araçlar ve mali teşvik ve kamu finansman araçları olarak da sınıflandırılabilir (REN21, 2020, s.76). Diğer bir sınıflandırma da Çizelge 18’de görüldüğü üzere yatırım ve üretim odaklı destekleme mekanizmalarıdır (Jacobs ve Sovacool, 2012, s. 76).

**Çizelge 18. Yenilenebilir Enerjiden Elektrik Üretimini Destekleme Politikaları**

<b>Destek Mekanizması</b>	<b>Fiyat Tabanlı Destek</b>	<b>Miktar Tabanlı Destek</b>
<b>Yatırım odaklı</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>· AR-GE</li><li>· Yatırım sübvansiyonları</li><li>· Vergi teşvikleri</li><li>· Kredi</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>· İhale usulü</li></ul>
<b>Üretim odaklı</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>· Tarife garantisi</li><li>· Net ölçüm</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>· İhale usulü</li><li>· Yenilenebilir enerji kota sistemi</li><li>· Pazarlanabilir yenilenebilir enerji sertifikaları</li></ul>

**Kaynak: Jacobs, D. and Sovacool, B. K. (2012). Feed-In Tariffs and Other Support Mechanisms for Solar PV Promotion. In: Comprehensive Renewable Energy. Elsevier Science, pp. 73-109.**

Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimini destekleme politika araçları arasında tarife garantisi/prim ödemesi, yenilenebilir enerji kota sistemi (renewable portfolio standards), ihale yöntemi, net ölçüm (net metering), pazarlanabilir yenilenebilir enerji sertifikaları gibi düzenleyici politika araçları ve vergi teşvikleri, yatırım veya üretim vergisi indirimleri, satış, enerji, CO<sub>2</sub>, KDV veya diğer vergilerde indirimler, enerji üretimi ödemesi, kamu yatırımı, krediler veya hibeler gibi mali teşvik ve kamu finansman araçları (REN21, 2020, s. 76),

hızlandırılmış amortisman gibi finansal teşvikler ve Ar-Ge faaliyetlerine sağlanan fonlar ve lisans ücretlerinin düşürülmesi gibi diğer bazı uygulamalar yer almaktadır (Azuela ve Barroso, 2012, s.13). Yerli ekipman ve hizmet kullanımı için yapılan prim ödemeleri de yenilenebilir enerji üretimi teşvik aracı olarak kullanılmaktadır (Azuela ve Barroso, 2012, s.57). IRENA, IEA, REN21 (2018) tarafından hazırlanan raporda ise yenilenebilir enerji yatırımlarını destekleyen politika araçlarını düzenleyici ve fiyatlama politikaları ve düzenleyici olmayan politikalar olarak Çizelge 19’da görüldüğü gibi gruplandırmıştır.

**Çizelge 19. Enerji Sektörü Politikalarının Sınıflandırılması**

Düzenleyici ve fiyatlama politikaları								Düzenleyici olmayan politikalar	
Bütün taraflar	Büyük ölçekli kuruluşlar		Dağıtık üretim (small-scale)		Elektriğe erişim için merkezi olmayan yenilenebilir kaynaklar (small-scale)			Bütün projeler	
Kota ve sertifikalar	İdare fiyat ayarlama araçları (Tarife garantisi/Prim ödemesi)	Rekabet ortamında fiyat ayarlama (İhale)	İdare fiyat ayarlama araçları (Tarife garantisi/Prim ödemesi)	Net ölçüm	Yasal karşılıklar	Fiyatlama politikaları	Şebekeye erişim politikaları	Finansal ve mali teşvikler (Vergi teşvikleri, sübvansiyon, kredi, risk önleme)	Gönüllü programlar (Kurumsal kaynak)

**Kaynak: IRENA, IEA, REN21 (2018) Renewable Energy Policies in a Time of Transition.**

Karbon vergileri ve emisyon ticaret sistemleri de iklim değişikliğini azaltma hedeflerine ulaşmak için dolaylı olarak düşük karbonlu, yenilenebilir enerji teknolojilerine ilgiyi teşvik edebilecek politika mekanizmaları arasındadır (REN21, 2019, s.63; Azuela ve Barroso, 2012, s.57).

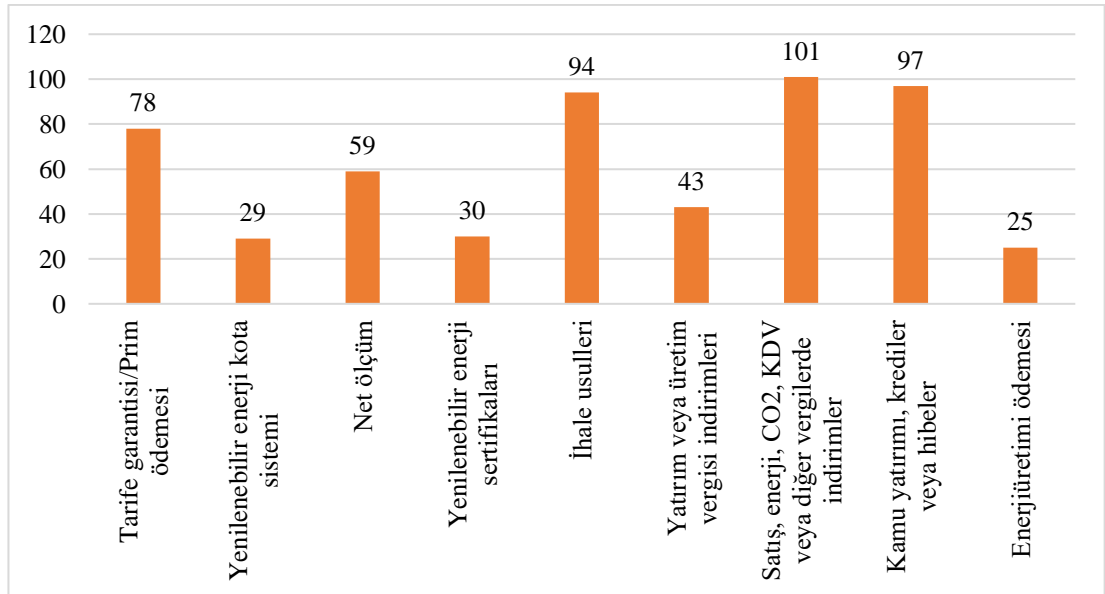
Gelişmiş ülkelerde, 1970'lerin sonlarından itibaren yenilenebilir enerji gelişimini desteklemek için fiyat ve miktar tabanlı mekanizmalar uygulanmaktadır. Miktar tabanlı mekanizmalar gelişmekte olan ülkelerde gelişmiş ülkelerde olduğu kadar popüler olmamıştır (Azuela ve Barroso, 2012, s.4).

Türkiye’de yenilenebilir enerji tabanlı kapasitenin geliştirilmesine yönelik politika paketi, teknolojiye özgü sabit tarife garantisi, yeşil fonlar, azaltılmış veya muaf tutulan lisanslar ve arazi kullanım ücretleri ile AR-GE faaliyetlerini destekleyecek fon sağlanması gibi politikaları kapsamaktadır (Azuela ve Barroso, 2012, s.35). Türkiye’de güneş enerjisi projeleri için devlet çeşitli destek



mekanizmaları sunabilmektedir. Öncelikle YEKDEM'e dayalı elektrik üreticileri için uygulanmış olan sabit fiyatlı 10 yıllık alım garantisi ve 5 yıl garantili yerel ürün desteğinin yanı sıra KDV avantajı ve nakil hatları izin ve kira bedellerinde ilk 10 yıl boyunca sağlanan indirim ve destekler, GES projelerine sunulan önemli teşviklerdendir (GÜNDER, 2016).

Yenilenebilir enerji teknolojileri geliştikçe, politika yapıcılar farklı zorluklarla da karşılaşmaktadır. Değişken yenilenebilir enerjideki hızlı artış daha esnek enerji sistemlerini zorunlu kılmaktadır. Yenilenebilir enerjideki bu gelişmeler, politika yapıcılarını daha bütüncül ve komplike bir yaklaşımla politika yapmaya zorlamaktadır. Enerji sektöründe, toplumda ve ekonomide enerji dönüşümünü kolaylaştırmak için bütüncül yaklaşım önem kazanmaktadır. Politika tercihleri ülkeye, enerji piyasalarına, teknolojiye ve hedeflere göre değişmektedir (IRENA, IEA ve REN21 (2018)). Şekil 19'da yenilenebilir enerji destek mekanizmalarını uygulayan ülke sayılarına yer verilmiştir. Buna göre enerji destek mekanizmalarından vergi indirimleri, kamu yatırımı, kredi ve hibeleri, ihale usulleri ve tarife garantisi/prim ödemesi uygulamalarının ülkeler tarafından en çok başvurulan destekleme mekanizmaları olduğu görülmektedir.



Şekil 19. Yenilenebilir Enerji Destek Mekanizmalarını Uygulayan Ülke Sayıları

Kaynak: REN21 (2020). Renewables 2020 Global Status Report baz alınarak hazırlanmıştır.

Güneş enerjisi sektörünün büyüme ve kalkınması için hükümetler üretim ve tüketimi içeren politikalar uygulamaktadır. Politika performansı açısından, yüksek düzeyde politika etkinliğinin aynı anda var olan üç faktörle bağlantılı olduğu tespit edilmiştir. Bu faktörler; bir ülkenin politikaya bağlılığı, iyi tasarlanmış bir teşvik planının varlığı ve sistemin, piyasanın düzgün işlemlerini engelleyebilecek idari engeller ve şebeke erişimi önündeki engeller gibi ekonomik olmayan engellerin üstesinden gelme kapasitesidir (Azuela ve Barroso, 2012, s.6).

Sarzynski, Larrieu ve Shrimali (2012) inceledikleri 2009 yılında nakit teşvik, hibe ve yenilenebilir enerji kota sistemini fotovoltaik enerji sektöründe uygulayan bölgelerde uygulamayan bölgelere göre hızlı ve yoğun bir gelişmeye destek olduğunu tespit etmişlerdir.

Büyük ölçekli santral yatırımlarının desteklenmesinde kullanılan tarife garantisi politikaları ile ihale yöntemi ve gelişmiş ülkelerde uygulanarak yenilenebilir enerji üretimini teşvik eden fakat Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde uygulama alanı yeterince bulamamış yenilenebilir enerji kota sisteminin incelenmesi enerji sektörü yatırımcıları için oldukça önemlidir. İlgili teşvik politikaları aşağıdaki başlıklar altında ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

#### **2.1.5.1. Tarife Garantisi ve Prim Ödemesi**

Tarife garantisi yenilenebilir enerjiden üretilen elektriğin satışı için uzun vadeli alım anlaşmalarının sağlanmasına zemin hazırlayan, yenilenebilir enerji projelerinin desteklenmesi amacı güden bir politikadır (Couture vd., 2010, s.6). Tarife garantisi ilk olarak 1978 yılında Amerika'da uygulanmış ve özellikle Kaliforniya'daki bazı eyaletlerde rüzgâr enerjisi sektörünü önemli ölçüde canlandırmıştır. 1979'dan beri Almanya, bir tarife sistemi kullanarak yenilenebilir enerji talebini teşvik etmektedir (Mendonça, 2007, s.26-27).

Tarife garantisi politikasının iki farklı modeli söz konusudur. Bunlar sabit fiyat modeli ve primli fiyat modelidir. Piyasa fiyatından bağımsız modele sabit fiyat modeli, piyasa fiyatına bağımlı modele primli fiyat modeli denilmektedir. İlk durumda, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen ve şebekeye sunulan elektrik için sabit bir fiyattan alım garantisi sağlanırken ikinci durumda yenilenebilir enerjinin çevresel ve

sosyal nitelikleri ya da farklı yenilenebilir enerji teknolojilerinin üretim maliyetleri dikkate alınarak piyasa fiyatına bir prim ilavesi yapılmaktadır (Çelikkaya, 2017, s.60).

Tarife garantisi politikalarının avantajları arasında yatırımcılar için uzun dönemli getiri sağlaması ve uygulanmasının basit ve esnek olması (farklı teknolojilere farklı tarife ve anlaşma süresi sağlanması gibi), uzun dönemli bir hedef gerektirmemesi (Kulichenko ve Wirth, 2011, s.9), yatırımcı riskini düşürmede miktar tabanlı politika araçlarına göre daha etkin olması (Azuela ve Barroso, 2012, s.6), yatırımcı ve katılımcıların piyasaya erişimini kolaylaştırması (Couture vd., 2010, s.11), yeşil işlerde istihdam sağlaması, ekonomik kalkınmayı sağlaması, konvansiyonel enerji fiyatlarındaki volatiliteye karşı hedge imkanı sağlaması, yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektriğin üretim maliyetini düşürmesi (Mendonça, Jacobs ve Sovacool, 2010, s.xxvii) sayılabilmektedir.

Tarife garantisi politikalarının temel zorluğu ise tarife veya prim seviyesinin doğru belirlenememesidir. Örneğin, etkin olmayan bir tarife politikasında belirlenen fiyat yatırımcı çekmek için çok düşük kalabilir ya da beklenmedik derecede kâr sağlayacak kadar yüksek olabilir. Bu da tüketiciler üzerinde yüksek tarifeye ve kamu bütçesi üzerinde baskıya neden olmaktadır (IRENA, IEA ve REN21, 2018, s.62).

First Solar şirketinin yöneticisi Ahearn'a göre tarife garantisi politikaları güneş enerjisi şirketlerinin fotovoltaik enerji üretimini büyük ölçüde hızlandırmıştır. Satın alma yükümlülüğü özellikle rüzgâr ve fotovoltaik enerji gibi daha değişken yenilenebilir enerji teknolojileri için oldukça önemlidir. Çünkü bu enerji kaynaklarında üretici elektriğin ne zaman üretileceğini kontrol edememektedir (Mendonça, Jacobs ve Sovacool, 2010, s.30).

Cárdenas Rodríguez v.d. (2015) yenilenebilir enerji yatırımlarında politikaların etkilerini incelemiş ve tarife seviyesinin yatırımlar üzerinde olumlu bir etkisinin olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca Cárdenas Rodríguez v.d. (2015) fotovoltaik enerji sektörüne sağlanan yüksek alım garantilerinin yatırımcıların böyle bir rejimin sürdürülebilirliği konusunda endişe duymaları nedeniyle yatırımları azaltıcı bir etkisi olabileceğini de belirtmiştir.

### **2.1.5.2. İhale Usulü**

Yenilenebilir enerji kaynaklarının özellikle fotovoltaik ve rüzgâr enerjisinin artan maliyet-rekabet gücü ve daha sofistike politika ihtiyacı ülkeleri büyük ölçekli santral yatırımlarında ihale usulüne yöneltmiştir (IRENA, IEA ve REN21, 2018, s.63).

İhale, kamu sektörü tarafından yönetilen, hükümet tarafından başlatılan projeyi geliştirmek için lisans verilecek ve farklı finansman yöntemleriyle desteklenecek şirketin belirlendiği rekabetçi ve şeffaf bir tekliftir (RES4MED, 2018, s.15).

Bazı ülkelerde üreticilerin devlete belirli bir miktar yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik satma ayrıcalığı elde etmesine olanak sağlayan ihaleler de gerçekleştirilebilmektedir (Uluatam, 2010, s. 36). Maliyet etkinliği noktasında son derece etkili olan bu yöntemde, en düşük teklifi veren ihaleyi kazanacağı için yatırımın topluma olan maliyeti teorik olarak minimum olmaktadır (Çelikkaya, 2017, s. 69).

Bu sistem temelde yenilenebilir enerji portföy standardı ile aynı olup aralarındaki fark yenilenebilir enerji fiyatının rekabetçi ihale ile belirlenmesidir. Böylelikle ihaleyi alan kişi, belli bir süre ve fiyatı garantilemiş olmaktadır (Çakmak, 2018, s.150).

### **2.1.5.3.Yenilenebilir Enerji Kota Sistemi (Yenilenebilir Enerji Portföy Standardı)**

Yenilenebilir portföy standardı olarak da bilinen kota sistemi; üretilen elektrik enerjisinin belirli bir kısmının yenilenebilir kaynaklardan karşılanmasını zorunlu kılan bir sistemdir (Ulusoy ve Daştan, 2018, s.134).

Yenilenebilir enerji kota sisteminde toplam tedarik portföyünde sınırlı yenilenebilir elektrik içeriğine sahip tesisler kota zorunluluğunu daha yüksek miktarda yenilenebilir enerji kaynağından elektrik üreterek kotayı tutturarak tesislerden yenilenebilir enerji sertifikaları aracılığıyla karşılayabilmektedir (Timilsina, Kurdgelashvili ve Narbel, 2011, s.29).

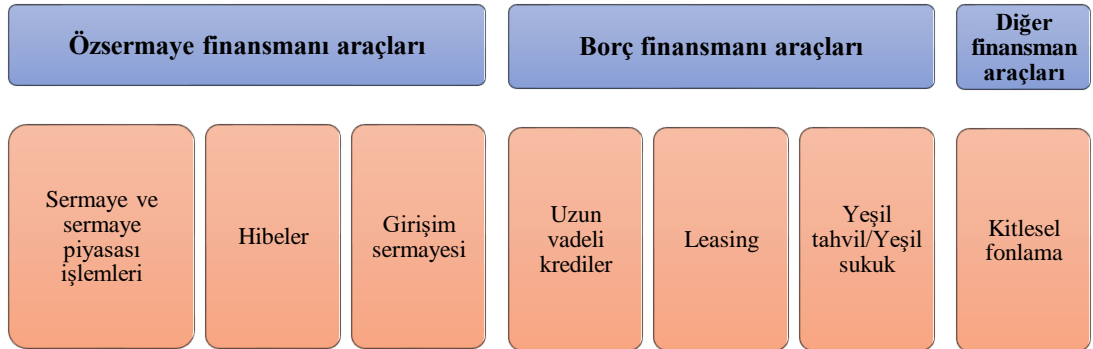
Yenilenebilir enerji kota sistemi politikasının en iyi uygulama örnekleri; uzun vadede şeffaf ve planlı kotaların belirlenmesi, tüm paydaşların mevcut piyasa verilerine erişebilmesi, anlaşmalara karşı gelme ve uymama durumlarında gerekli ve yeteri kadar cezanın uygulanması gibi uygulamaları içermektedir (European Commission, 2013, s. 11).

### 2.1.6. GES Yatırımları Finansman Kaynakları

Margolis ve Zuboy (2006) çalışmalarında güneş enerjisi yatırımlarını engelleyen önemli unsurlardan birinin yetersiz finansman alternatifinin olduğunu belirtmiştir. Güneş enerjisi yatırımlarının finansman probleminin çözülmesi noktasında alternatif finansman kaynaklarının çeşitlendirilerek kullanılması yenilenebilir enerji piyasasının gelişimi açısından oldukça önemlidir.

Çizelge 20’de güneş enerjisinin de içerisinde yer aldığı yenilenebilir enerji kaynaklarının yatırımlarında kullanılan özsermaye, borç ve diğer finansman araçları gösterilmektedir. Bu alternatif finansman araçları aşağıdaki başlıklar altında ayrıntılı olarak ele alınmaktadır.

Çizelge 20. Yenilenebilir Enerji Yatırımlarında Kullanılan Finansal Araçlar



**Kaynak: SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi (2019) “Türkiye’de Enerji Dönüşümünün Finansmanı” raporundan yararlanılarak hazırlanmıştır.**

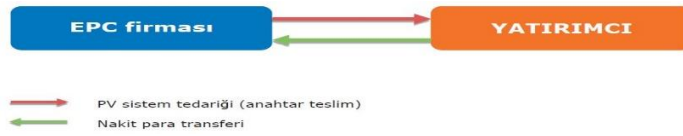
### 2.1.6.1. Özsermaye Finansmanı

Proje geliştiricileri, risk sermayedarları, sermaye fonu yatırımcıları, ekipman tedarikçileri, çok taraflı kalkınma bankaları, sigorta şirketleri, kooperatifler ve şahıslar da dahil olmak üzere özsermaye finansmanı elde etmek için farklı kanallar mevcuttur (Ayodele, 2016, s.35).

Özsermaye finansmanı araçları arasında şirketlerin kendi sermayeleri, girişim sermayesi ve melek yatırım gibi risk sermayesi araçları, halka arz, yeni hisse ihracı ve hisse satışı gibi sermaye piyasası işlemleri ve kamu kuruluşları ile uluslararası kuruluşlar tarafından sağlanan hibeler yer almaktadır (SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi, 2019, s.39).

#### 2.1.6.1.1. Sermaye ve Sermaye Piyasası İşlemleri

Özsermaye finansmanı modelinde yatırımcı şirket, güneş enerjisi santrali projesi için hiçbir dış finansman kullanmadan tamamen kendi özsermayesini kullanarak yatırım yapmaktadır. Özsermaye finansman modeli Şekil 20'de yer almaktadır.



Şekil 20. Özsermaye Finansman Modeli

Kaynak: GÜNDER (2016). Güneş Enerjisi İçin Finansman Modelleri.

Özsermaye finansmanında sermaye piyasalarında hisse senedi ihracı yoluyla da finansman sağlanabilmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde sermaye piyasaları belli bir derinliğe sahip olmadığından uluslararası sermaye piyasalarından projeler için finansman sağlanabilir (Fight, 2006, s. 33).

Türkiye’de 2021 yılında yenilenebilir enerji sektöründe faaliyet gösteren Esenboğa Elektrik Üretim A.Ş., Aydem Yenilenebilir Enerji ve Galata Wind halka arz olarak özsermaye finansmanı modeli çerçevesinde finansman sağlamıştır.

#### **2.1.6.1.2. Hibeler**

Hibelerin güneş enerjisi yatırımlarının finansmanında kullanılması tercih edilmektedir. Fakat Türkiye’de güneş enerjisi santrali projelerine yönelik hibe programları, sektörün gelişmiş olduğu ülkelerdeki kadar yaygın ve etkin değildir. Yerel kalkınma ajanslarının ve Tarım ve Kırsal Kalkınmayı Destekleme Kurumu’nun desteklediği hibe programları mevcut olmakla birlikte sektörün bu konudaki taleplerini karşılayamamaktadır (GÜNDER, 2016, s.10).

#### **2.1.6.1.3. Girişim Sermayesi Yatırım Fonu**

Girişim sermayesi yatırımları, girişim şirketlerine doğrudan ve dolaylı olarak ortak olunması ve girişim şirketlerinin borçlanma araçlarının satın alınması diğer bir ifadeyle girişim şirketlerine kreditor olunması şeklinde gerçekleşmektedir. Girişim şirketlerinin fonlanması için girişim sermayesi ortaklığı veya fonu kurulabilmektedir. Girişim Sermayesi Yatırım Ortaklıkları kayıtlı sermayeli olarak kurulan ve çıkarılmış sermayelerini esas olarak girişim sermayesi yatırımlarına yönelten ortaklıklardır (http-9). SPK’nın tanımına göre; “Girişim Sermayesi Yatırım Fonu, nitelikli yatırımcılardan katılma payları karşılığında toplanan paralarla, pay sahipleri hesabına inançlı mülkiyet esaslarına göre Sermaye Piyasası Kurulu (Kurul) tarafından belirlenmiş varlık ve işlemlerden oluşan portföyü işletmek amacıyla portföy yönetim şirketleri ve girişim sermayesi portföy yönetim şirketleri tarafından süreli olarak kurulan ve tüzel kişiliği bulunmayan malvarlığıdır.” (SPK Girişim Sermayesi Yatırım Fonlarına İlişkin Esaslar Tebliği (III-52.4) md. 4).

Girişim sermayesi yatırım fonu ile yatırımcılar sermaye piyasalarındaki ürünlere alternatif olarak halka açık olmayan şirketlerin sermayelerine yatırım yapma fırsatı bulurken, şirketler de halka açılmadan sermayeye ulaşabilmektedir (http-10).

Girişim sermayesi yatırımları yüksek teknolojik alanlarda yatırım yapma yönünde bir alışkanlık içindedir (Bayazıtlı, Özdemir ve Çolak, 2015, s.98). Bu nedenle güneş enerjisi yatırımlarının finansmanı için de uygun bir araç olduğu düşünülmektedir. Türkiye’de yenilenebilir enerji sektörüne finansman sağlamak için kurulan yatırım fonları aşağıda listelenmiştir.

- Ak Portföy Yönetimi A.Ş. JEC Yenilenebilir Enerji Özel Girişim Sermayesi Yatırım Fonu
- Actus Portföy Yönetimi A.Ş. Greenone Yenilenebilir Enerji Girişim Sermayesi Yatırım Fonu
- İş Portföy Yönetimi A.Ş. Yenilenebilir Enerji Girişim Sermayesi Yatırım Fonu
- Maxis Girişim Sermayesi Portföy Yönetimi A.Ş. Yenilenebilir Enerji Girişim Sermayesi Yatırım Fonu
- Mükafat Portföy Yönetimi A.Ş. Yaprak Yenilenebilir Enerji Girişim Sermayesi Yatırım Fonu

Türkiye’nin ilk girişim sermayesi yatırım fonu olan Ak Portföy Birinci Girişim Sermayesi Yatırım Fonu’nun Erikoğlu Sunsystem ile %50-50 ortaklıkla kurmuş oldukları Günışığı Temiz Enerji A.Ş. ile Türkiye’de ilk kez emeklilik yatırımcısının güneş enerjisinden elektrik üreten bir tesisin gelirine ortak olmaları sağlanmıştır (Işıkpınar, 2018, s.29).

Yaprak Yenilenebilir Enerji Girişim Sermayesi Yatırım Fonu Ankara’da 2.051 kWp kurulu güce sahip bir güneş enerjisi santralının finansmanında rol almıştır (http-11).

Türkiye’de kurulu yenilenebilir enerji yatırım ortaklıkları aşağıda listelenmiştir.

- Egeli&Co Tarım Girişim Sermayesi Yatırım Ortaklığı A.Ş.
- Gözde Girişim Sermayesi Yatırım Ortaklığı A.Ş.
- Hedef Girişim Sermayesi Yatırım Ortaklığı A.Ş.
- Hub Girişim Sermayesi Yatırım Ortaklığı A.Ş.
- İş Girişim Sermayesi Yatırım Ortaklığı A.Ş.
- Rhea Girişim Sermayesi Yatırım Ortaklığı A.Ş.
- Verusatürk Girişim Sermayesi Yatırım Ortaklığı A.Ş.



Hedef Girişim Sermayesi Yatırım Ortaklığı A.Ş. jeotermal kaynakların işletilmesi sektöründe Afyon Jeotermal Yatırımlar A.Ş.'ye finansman sağlamıştır. Unvanı Hub Girişim Sermayesi Yatırım Ortaklığı A.Ş. olarak değişen Gedik Girişim Sermayesi Yatırım Ortaklığı'nın kurucu ortaklarından olan Zen Enerji A.Ş., 2016'da 8.5 MWe gücündeki Burdur Yarışlı Güneş Enerji Santrali'ne ek olarak, 2017 yılının sonuna kadar, 60 milyon ABD doları yatırım ile, 5 farklı lokasyonda bulunan güneş enerjisi santrali projelerini devreye almıştır (http-12). Verusatürk Girişim Sermayesi Yatırım Ortaklığı A.Ş., Pamukova Elektrik Üretim A.Ş., Enda Enerji Holding A.Ş., ve Tortum Elektrik Üretim A.Ş. gibi jeotermal, hidroelektrik ve rüzgâr enerjisi santrallerine finansman sağlamıştır (http-13 ).

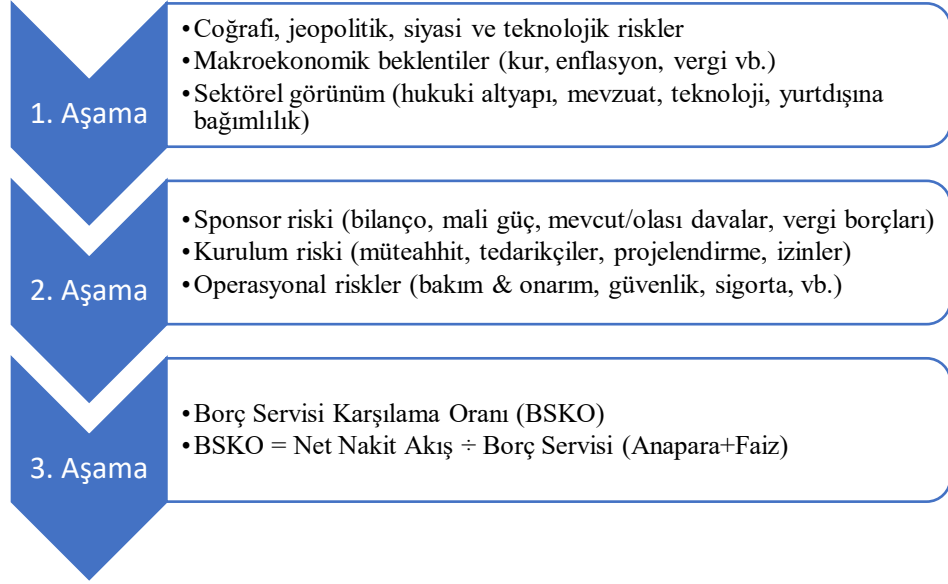
### **2.1.6.2. Borç Finansmanı**

Yenilenebilir enerji yatırımlarında kullanılacak borç finansmanı araçları arasında uzun vadeli krediler, leasing, yeşil tahviller ve yeşil sukuk gibi araçlar yer almaktadır.

#### **2.1.6.2.1. Uzun Vadeli Krediler**

Yenilenebilir enerji yatırımlarında uzun vadeli krediler ağırlıklı olarak bankalar tarafından sağlanmaktadır. Uluslararası finansal kuruluşların sağladığı krediler de bankalar aracılığıyla yenilenebilir enerji şirketleri tarafından kullanılabilir.

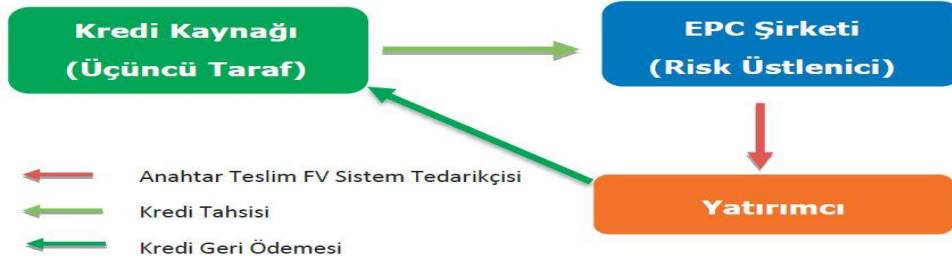
Proje kredileri, özel sektör güneş enerjisi santrali projelerinin gerçekleşmesinde özsermaye kadar önemlidir. Proje kredilerinde proje yatırımının %80'e kadarını banka ve leasing kuruluşları sağlamaktadır. Dünyada ve Türkiye'de banka ve leasing kredi komiteleri projeleri değerlendirme sürecini üç aşamada çeşitli kriterlere göre yapmaktadırlar. Bu üç aşama ve ilgili kriterler Şekil 21'de görüldüğü gibidir.



**Şekil 21. Kredi Komiteleri Proje Değerlendirme Süreci**

Üçüncü aşama olan BSKO devlet denetimindeki enerji sektörü projelerinin finansmanında finans kurumlarının tek odaklandıkları husustur ve Türkiye’deki güneş enerjisi santrali yatırımlarının gerçekleştirilmesinde belirleyici bir role sahiptir. Diğer bir ifadeyle, birinci ve ikinci aşamaları geçen güneş enerjisi santrali projeleri üçüncü aşama olan BSKO aşamasında banka ve leasing kredi komitelerinden onay alamamakta ve dolayısıyla bu yatırımlar gerçekleşmemektedir (http-14).

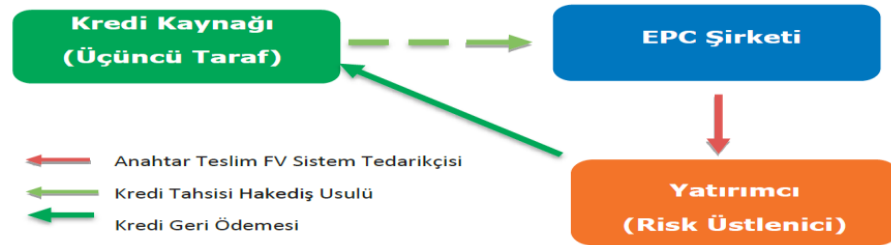
Güneş enerjisi santralleri uzun vadeli kredilerden proje finansmanı ve Mühendislik, Tedarik, Kurulum (EPC) şirketi finansmanı olmak üzere iki şekilde yararlanabilmektedir. Şekil 22’de görülmekte olan EPC şirketi finansman modeli yatırımcıların kredi limitlerini aşması ya da borçluluk durumunu içeren finansal verilerinin yeni kredi kullanımı için uygun olmaması durumunda uygulanmaktadır. Bu modelde yatırımcı öncelikle EPC şirketiyle anlaşır ve EPC şirketi bütün maliyetleri içeren finansman için bankaya başvuru yapar. Kredi kullanımı için gerekli teminat EPC firması tarafından karşılanır. Finansman doğrudan EPC şirketine yapılır ancak sistemin sahibi yatırımcı olduğundan kredi giderleri yatırımcı tarafından üstlenilir (Sevim, 2019, s. 178).



Şekil 22. EPC Şirketi Finansman Modeli

Kaynak: GÜNDER (2016). Güneş Enerjisi İçin Finansman Modelleri.

Geleneksel ticari bankacılığın bir projeyi, o projeyi geliştiren işletmenin toplam resmi içerisinde değerlendirme yaklaşımı ile yatırım bankacılığının proje ve varlıkları işletmelerden bağımsız olarak inceleme disiplininin sentezlenmesiyle doğan proje finansmanı, son yıllarda pek çok özellikli proje yatırımı için tercih edilen bir kredilendirme enstrümanı durumuna gelmiştir (TSKB, 2020). Türkiye’de GES yatırımlarına yönelik olarak proje finansmanı süreci Şekil 23’te gösterilmiştir. Kredi, yatırımcının bankaya başvurusu üzerine doğrudan hakediş usulü EPC firmasına aktarılırken, kredi kaynağının yükümlülükleri yalnızca yatırımcıda kalmaktadır. Krediyi geri ödemekle yükümlü olan sadece yatırımcıdır. EPC şirketlerinin ve yatırımcıların da kredi verilebilir bulunması halinde bankaların daha çok tercih ettiği bu tür bir proje finansmanı Türkiye’de de kullanılmaktadır (GÜNDER, 2016, 9).



Şekil 23. Proje Finansman Modeli

Kaynak: GÜNDER (2016). Güneş Enerjisi İçin Finansman Modelleri.

Uluslararası kurumların destekleri ile oluşan Türkiye Orta Ölçekli Sürdürülebilir Enerji Finansman Programı (MidSEFF) ve Türkiye Sürdürülebilir Enerji Finansman Programı (TurSEFF) yenilenebilir enerji projelerine finansman sunan iki programdır.

Avrupa Yatırım Bankası ile Avrupa Komisyonunun desteğiyle Avrupa İmar ve Kalkınma Bankası (EBRD) yenilenebilir enerji, atıktan enerji ve endüstriyel enerji verimliliği konularında orta ölçekli yatırımların finansmanı için toplam 1 milyar € (EIB tarafından sağlanan 300 milyon € dahil) tutarındaki krediyi özel sektör kredi alıcılarına kredi olarak verilmek üzere yedi adet Türk bankası aracılığıyla (Akbank, Denizbank, Finansbank, Garanti, İş Bankası, Vakıfbank, Yapı kredi) MidSEFF I-II kapsamında sağlamıştır (http-15). 347 MW kurulu güce sahip 21 adet güneş enerjisi santrali projesine MidSEFF kapsamında 292,3 milyon Euro finansman sağlanmıştır (http-16).

TurSEFF, EBRD'nin özel sektörde KOBİ ölçeğindeki şirketlere, uygun bulunan enerji verimliliği ve küçük ölçekli yenilenebilir enerji yatırımlarının finanse edilmesi için katılımcı bankalar aracılığıyla sağladığı kredi paketidir (GÜNDER, 2016, s.13). TurSEFF 1.597 adet yenilenebilir enerji projesine 645 milyon Euro değerinde finansman sağlamıştır.

Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı ve Yeşil Teknoloji Projeleri desteği ile sanayi kuruluşları tarafından yenilenebilir enerji teknolojileri alanlarında gerçekleştirilen uygulama projelerine geri ödemeli finansman desteği sağlamaktadır (http-17).

#### **2.1.6.2.2. Leasing**

Son yıllarda lisanssız güneş enerjisi projelerinde bankalara alternatif olarak leasing kuruluşları ön plana çıkmaktadır. 2018 yılında TurSEFF desteklerinde aracı rol üstlenen finansal kuruluşlar arasında üç leasing firması (AKLease, Garanti BBVA Leasing, QNB FinansLeasing) yer almıştır.

Fotovoltaik enerji sektöründe leasing firmaları sadece güneş enerjisi santralının ekipmanlarını kiralayabilmektedir ve tam anlamıyla sistem kurulumu ile bakım onarım süreçlerini üstlenememektedir (GÜNDER, 2016, s. 17).

Aklease rüzgâr, güneş, biyokütle ve jeotermale dayalı elektrik üretimi projelerinin finansmanına destek vermektedir. Leasinge konu olan rüzgâr türbini, güneş paneli, invertör, trafo ve diğer enerji üretim ve aktarım ekipmanları için %100'e

varan finansman imkânlarından faydalanarak enerji yatırımları kolaylıkla yapılabilmektedir (http-18).

Green for Growth Fonu'nun sağladığı fon ile QNB FinansLeasing yenilenebilir enerji yatırımlarına ait finansal kiralamaalarını, özellikle güneş kaynağından enerji üretmek için çalışan fotovoltaik enerji sektörünü finanse etmeyi planlamaktadır (http-19).

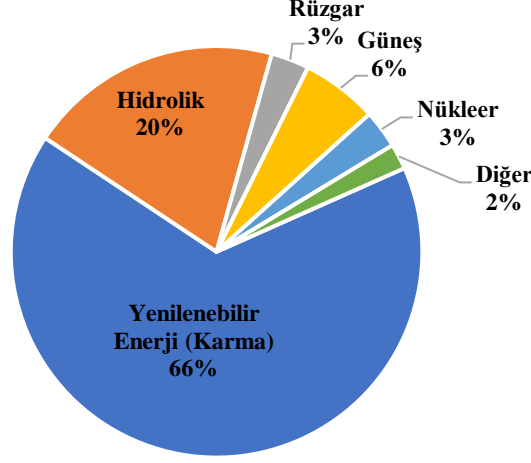
### **2.1.6.2.3. Yeşil Tahvil ve Yeşil Sukuk**

Yeşil tahvil, ihraççıların tahvil ihracı yoluyla elde ettikleri geliri yalnızca çevre dostu projelerde kullanmayı taahhüt ettiği bir borçlanma aracıdır (Kandır ve Yakar, 2017, s.92).

Yeşil tahviller, yatırımcıların sürdürülebilirlik amacına ulaşmalarına ve hükümetlerin iklim hedefinin sağlanması ile ilgili projelere kaynak sağlamalarına destek olarak sermaye sahipleri ile yeşil varlıklar arasında bir köprü kurmaktadır. Yeşil tahviller uzun vadeli sermayeye erişim yoluyla yeni veya mevcut yeşil projeleri destekleyebilmektedir (IRENA, 2020, s.6).

Yeşil tahvil piyasalarını inceleyen Climate Bonds Initiative (CBI) tarafından yapılan araştırmaya göre, 2019 yılında küresel yeşil tahvil ihracı %51 artış göstererek 257,7 milyar dolara ulaşmıştır (Climate Bonds Initiative, 2020). Şekil 24'te görüldüğü üzere yeşil tahvillerin %6'lık kısmı güneş enerjisi yatırımlarının finansmanında kullanılmıştır (Climate Bonds Initiative, 2018, s. 14).

Türkiye gibi enerji ihtiyacı her geçen gün artan ve bu enerji ihtiyacının karşılanmasında dışa bağımlı bir ülke için yeşil tahvil ihracı yeterli düzeyde gerçekleşmemektedir. Yeşil tahvil ihraç tutarın artırılması yenilenebilir enerji yatırımlarının finansman olanaklarının geliştirilmesinde ve yatırımların hayata geçirilmesinde önemli rol oynayacaktır (Kandır ve Yakar, 2017, s.100).



**Şekil 24. Yeşil Tahvil ile Finanse Edilen Enerji Yatırımlarının Kaynaklara Göre Dağılımı**

**Kaynak: Climate Bonds Initiative (2018). Bonds And Climate Change the State of the Market 2018.**

Yeşil tahvil etiketi, özel plasman, menkul kıymetleştirme, teminatlı tahvil ve sukuk dahil herhangi bir borç formatına uygulanabilmektedir (Climate Bonds Initiative, 2019, s.2). Sukuk, şariat kurallarına uyan İslami bir finansal araçtır. İhraççı, yatırımcı gruba sertifikaları satar, yatırımcı grubun kısmi sahibi olduğu bir varlığı satın almak için elde ettiği geliri kullanır ve varlık gelirlerinin bir kısmını yatırımcılara kar olarak dağıtır. Varlıkların, yeşil varlıkları ve projeleri içeren İslami etik değerlere uyması gerekir. İlk yeşil sukuk 2017 yılında özel sektörde Malezya’da güneş enerjisi projelerini finanse etmek için Tadau Enerji ve Quantum Solar Park arasındaki bir sözleşme ile ihraç edilmiştir (Climate Bonds Initiative, 2018, s.23).

Yeşil tahvil ve yeşil sukuk yenilenebilir enerji yatırımlarının finansmanının doğasına en uygun finansal araçlardandır. Buna rağmen Türkiye’de yeşil tahvil ihracı yeterli düzeyde değildir. Türkiye’nin yeşil bir geleceğinin olmasında önemli bir role sahip olan yeşil tahvil ve yeşil sukuk gibi finansman araçlarının kullanımının yaygınlaştırılması için SPK ve BIST yeşil tahvil konusunda bilgilendirme yapmalı, iç ve dış değerlendirme yapılmasına olanak sağlanarak tahvilin yeşil olup olmadığı değerlendirilmeli, yeşil tahvil standartları belirlenmeli, yeşil sukuk çıkarılması için gerekli düzenlemeler yapılmalı, yeşil tahvil endeksi oluşturulmalı, BIST’te yeşil tahvil listeleri veya piyasaları oluşturulmalı, vergi teşvikleri sağlanmalı, maliyet ve risk algısı azaltılmalıdır (Kandır ve Yakar, 2017a, s.167-170).

### 2.1.6.3. Kitlesele Fonlama

2009 finansal krizinde yenilenebilir enerji projelerine devlet desteğinin ve banka yatırımlarının azalması projeler için gerekli olan finansal kaynakların arz ve talebi arasındaki fark oluşmasına neden olmuştur (Vasileiadou, Huijben ve Raven, 2016, s.2). Bu durum yenilenebilir enerji projeleri için ihtiyaç duyulan yüksek finansman talebi ile bu talebi karşılamada yetersiz kalan finansman arzı arasındaki farkın kapatılması noktasında finansal kuruluşlar harici kaynak oluşturulmasını oldukça önemli hale getirmiştir (Aksu, 2019, s.122).

Kitlesele fonlama yenilenebilir enerji projelerinin finansman talebinin karşılanmasında alternatif bir finansman modelidir. Kitlesele fonlama, şirketlerin iş melekleri, risk sermayedarları ve bankalar gibi küçük bir grubu temsil eden uzman yatırımcılar yerine internet aracılığıyla daha geniş bir kitleden küçük meblağlı dış kaynak sağlanabilen bir modeldir (OECD, 2015, s.53; Belleflamme, Lambert and Schwienbacher, 2013, s.4).

UNDP'nin 2016 yılında belirlediği 2030 yılı küresel sürdürülebilir kalkınma hedeflerinden erişilebilir ve temiz enerji, insana yakışır iş ve ekonomik büyüme ve iklim eylemi hedeflerine kitlesele fonlama platformlarının yenilenebilir enerji projelerinin finansmanında kullanılmasıyla birlikte daha kolay ulaşılabilecektir. Bu bağlamda yenilenebilir enerji projelerinde kitlesele fonlama modelinin kullanılması ile enerji projelerine gerekli finansman sağlanarak temiz enerji elde edilecek ve ekonomik büyüme sağlanacaktır. Böylece kitlesele fonlama ülkelerin sürdürülebilir kalkınmalarına da hizmet etmiş olacaktır (Aksu, 2019, s.122).

Mikro ve küçük girişimciler yüksek teknoloji maliyeti ve inovasyon riski içeren iklim ile ilgili girişimlerinde finansmana erişimde sıkıntı yaşamaktadır (Ritter ve Black-Layne, 2013, s.5). Kitlesele fonlama platformları aracılığıyla yenilenebilir enerji yatırımı yapmak isteyen mikro ve küçük girişimciler yeterli finansmana erişim şansı elde edecektir.

Kitlesele fonlama yenilenebilir enerji projelerine şeffaf, doğrudan ve aracısız yatırım yapılmasını sağlayan bir finansman aracı (Candelize, 2016, s.8) olmakla birlikte toplumu yenilenebilir enerji projelerine yatırım yapma konusunda da teşvik etmektedir (Crowdfunders, 2018, s.16). Zheng v.d.'nin (2015) çalışmasında kitlesele

fonlama modelinin yenilenebilir enerji yatırımlarını artırdığı analitik olarak kanıtlanmıştır.

Türkiye’de 2002-2018 yılları arasında yenilenebilir enerji yatırımlarının %98’i, enerji verimliliği yatırımlarının da tamamı bankacılık sektörü tarafından sağlanan kredilerle finanse edilmiştir. 2019-2026 döneminde yenilenebilir enerji finansman ihtiyacının %30’luk bölümünün finans kuruluşlarına ek olarak doğrudan proje fonlaması, tematik tahviller ve kitlesel fonlama gibi alternatif finansman modelleriyle karşılanacağı öngörülmektedir (SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi, 2019, s.97). Aksu (2019)’nun çalışmasında Türkiye’de aktif Crowdfon, Fongogo, Arıkovanı, Fonbulucu, Buluşum, Startupfon ve Ideanest kitlesel fonlama platformları incelenmiş ve bu platformlarda yenilenebilir enerji projelerinin yer almadığı tespit edilmiştir. Ayrıca Türkiye’nin güneş enerjisinde öncü sektör konumunda olan Almanya ile karşılaştırıldığı çalışmada, Almanya’da sadece yenilenebilir enerji yatırımlarının finanse edilmesine odaklanan 13 kitlesel fonlama platformunun mevcut olduğu ve incelenen Ecoligo.investments kitlesel fonlama platformunda 33 güneş enerjisi projesinin kısa sürede borç kitle fonlaması modeli ile finanse edildiği bilgisine yer verilmiş ve Türkiye’de kitlesel fonlama platformlarında borç kitle fonlaması modelinin ivedi bir biçimde yasal mevzuatta düzenlenmesi gerektiği vurgusu yapılmıştır.

### **2.1.7. GES Yatırımlarının Maliyet Yapısı**

Enerji yatırımları diğer yatırımlar ile karşılaştırıldığında bu yatırımların daha sermaye yoğun, daha uzun vadeli finansman gerektiren ve kârın belirsizliği gibi çeşitli riskler içeren yatırımlar olduğu görülmektedir (Lu, Ma ve Feng, 2015, s.1). Bu özellikleri nedeniyle enerji yatırımlarının fizibilite süreci yatırımcılar açısından büyük önem taşımaktadır.

GES yatırım projelerinin temel aşamaları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir (Sevim, 2019, s. 165-166):

1. Uygun yatırım sahasının belirlenmesi,
2. Yatırım sahasına gelen güneş radyasyonunun değerlendirilmesi,



3. Yatırım sahasının güneş enerjisi potansiyeline bağlı olarak kullanılması planlanan GES teknolojisi ve alternatifleri dikkate alınarak üretilebilecek olası enerji miktarının belirlenmesi,

4. İlk yatırım maliyetinin ve faaliyet sırasında ortaya çıkan olası giderlerin belirlenerek kârlılık analizinin yapılması,

5. Teknik ve teknik olmayan risklerin tanımlanması ve analiz edilmesi.

GES yatırımlarında proje aşamalarından olan kârlılık analizinin doğru bir biçimde yapılabilmesi için öncelikle maliyetlerin doğru tespit edilmesi gerekir. GES maliyetlerini ve uygulanabilirliğini doğrudan ve dolaylı olarak etkileyen faktörlerin iyi anlaşılması gerekmektedir. Bu bağlamda GES yatırımlarının maliyetlerini etkileyen temel faktörler Çizelge 21’de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

**Çizelge 21. GES Maliyetlerini ve Uygulanabilirliğini Etkileyen Faktörler**

<b>Faktör</b>	<b>Durum</b>
Şebeke bağlantısı	<ul style="list-style-type: none"><li>• Şebeke bağlantılı sistemlerin bataryaya ihtiyaç duymaması ilk kurulum maliyetini azaltmaktadır.</li></ul>
En yakın şebeke bağlantısına uzaklık	<ul style="list-style-type: none"><li>• Şebeke bağlantısına uzaklık yüksek maliyetlere neden olmaktadır.</li></ul>
Güneş kaynağı	<ul style="list-style-type: none"><li>• Güneş kaynağı sermaye maliyetlerini etkilemez, ancak güneş enerjisinin kullanılabilirliği enerji üretim maliyetini ve dolayısıyla yatırımın geri ödeme süresini etkiler.</li><li>• Lokasyon, GES maliyet performansını etkileyen ikinci önemli faktör olarak kabul edilmektedir. Lokasyonun gölgeleme desenleri, kirlenme, çalışma sıcaklığı ve güneş kaynağı değişimleri üzerinde etkisi olabilir.</li></ul>
Sistem dengeleyicileri (izleme)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sistem dengeleyicilerinin maliyeti bir GES’in toplam maliyetinin % 30-50'sini oluşturduğu tahmin edilmektedir.</li><li>• Yerel güvenlik yasaları veya yönetmelikleri, kurulum için ek maliyet gerektirebilir.</li></ul>
Kurulum şekli, montaj, büyüklük ve alan	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ticari ve endüstriyel müşteriler düz çatı kullanımını en üst düzeye çıkarmak ve montaj giderlerini azaltmak için yatay montajı tercih ederler.</li><li>• Büyük ölçekli sistemler watt başına daha düşük maliyetli olma eğilimindedir.</li><li>• Sermaye maliyeti kısıtlamaları nedeniyle, bağımsız sistemler daha küçük olma eğilimindedir.</li><li>• Şebekeye bağlı sistemler, daha büyük yükler için daha düşük sermaye maliyetleri ve enerji maliyetleri sağladıkları için daha büyük olma eğilimindedir.</li><li>• Genellikle daha büyük sistemler kW başına daha düşük maliyete sahiptir.</li></ul>

#### Çizelge 21-devam

Modül teknolojisi	<ul style="list-style-type: none"><li>• Modüller toplam sistem maliyetinin% 40-50'sini oluşturur. Bunlar, sistemi kurmak için gereken toplam alanı belirler. Çatı veya arazi kullanımını en üst düzeye çıkarmak için watt başına daha az alan istenir.</li></ul>
-------------------	--

**Kaynak: Sumathi, S., Kumar, L. A., Surekha, P. (2015). Solar PV and Wind Energy Conversion Systems, An Introduction to Theory, Modeling with MATLAB/SIMULINK, and the Role of Soft Computing Techniques, s. 65-66.**

GES maliyetleri yatırım harcamaları (CAPEX) ve operasyonel harcamalar (OPEX) olmak üzere iki kategoride değerlendirilmektedir.

GES bileşenlerinden olan modüllerin maliyeti projenin büyüklüğüne ve modül türüne bağlı olmak üzere maliyetlerin üçte biri hatta yarısı kadar olan bir kısmını oluşturmaktadır (IRENA, 2012, s. 15). GES panellerinin maliyetini düşürmenin adımları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Dinçer, 2011);

- Üretim aşamasında gerçekleşen inovasyon,
- Daha ucuz malzemeler kullanmak,
- Daha yüksek bir enerji dönüşüm verimliliğine ulaşmak,
- Seri üretim yoluyla verimliliği artırmak,
- Sistem teknolojisinin optimize edilmesi,
- Kullanılan malzeme tüketim miktarının azaltılması.

Ölçek ekonomileri nedeniyle kurulması planlanan santralin ölçeği büyüdükçe tesis bileşenlerinden modüller, invertörler ile çerçeveleme ve destek yapıları gibi sistem dengeleyicileri için fiyatlar düşmektedir (IFC, 2015, s.175).

GES yatırımları için gerekli operasyonel harcamalar arasında en yüksek maliyet gerektiren maliyet bileşeni işletme ve bakım giderleridir. İşletme ve bakım giderleri genellikle sabit ve değişken olarak iki gruba ayrılmasına rağmen, değişken işletme ve bakım giderleri GES'lerde bulunmamaktadır (U.S. Energy Information Administration, 2020). İşletme ve bakım giderleri OPEX'in %30-%70 gibi yüksek bir kısmını oluşturmaktadır. İşletme ve bakım giderleri; tesis işletiminin sürekli izlenmesi ve periyodik raporlama, koruyucu bakım ve düzeltici bakım giderlerini kapsamaktadır (IEA, 2017, s.23). GES'lerde işletme ve bakım giderleri, basit mühendislik ve nispeten daha az bakım gerektirmesi nedeniyle diğer yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynaklarından önemli ölçüde daha düşüktür (IFC, 2015, s. 177).

GES'lerde işletme ve bakım maliyetlerinin önemsiz görünmesine rağmen bu maliyetlerin analize dahil edilmesi son derece önemlidir, çünkü bu maliyetler santral üretiminin istikrarı ve sürdürülebilirliği için oldukça önemlidir (Bigoni, 2018, s. 57). İşletme ve bakım giderleri GES'lerin ömrü boyunca yüksek düzeyde teknik ve ekonomik performans sağlayabilmesini sağlamaktadır (SolarPower Europe, 2018, s.12). Ayrıca, işletme ve bakım aşaması, tipik olarak 20-35 yıl sürdüğü için bir GES'in yaşam döngüsündeki en uzun aşamadır. Bu nedenle, potansiyel riskleri azaltmak için işletme ve bakım hizmetlerinin kalitesinin sağlanması esastır (IRENA, 2019a, s.48).

GES'lerde invertörlerin 10-15 yılda bir üretim kaybına neden olmaması için yenilenmesi gereklidir (Hernández-Moro and Martínez-Duart, 2013, s.123; The Electric Power Research Institute, 2010, s.8). İntertörlerin bu değişimi GES'lerin OPEX'inde ara dönemlerde bir artışa neden olmaktadır.

GES'lerde modüllerin taşınabilir olması hırsızlık riskine karşı kamera, sensör, uyarı sistemleri, güvenlik personeli, uzaktan komuta merkezi gibi güvenlik çözümlerinin sağlanmasını gerektirmektedir (IFC, 2015, s.87). Sağlanabilecek güvenlik çözümlerinin yanı sıra işletme hataları ve iklim değişikliklerinden kaynaklı ışıma ve sıcaklık gibi nedenlerden kaynaklanabilecek üretim miktarı azalışlarına karşı sigorta giderleri de OPEX'lerin önemli bir kısmını oluşturmaktadır.

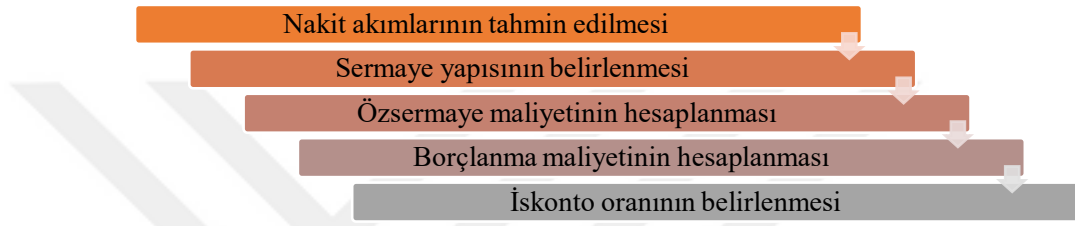
#### **2.1.8. GES Yatırımlarının Finansal Modellemesinde Kullanılan Yöntemler**

Proje değerlemesinde kullanılan geleneksel yöntemler arasında indirgenmiş nakit akımı yöntemi yer alırken reel opsiyon yöntemi modern bir yöntem olarak değerlendirilmektedir (Kodukula ve Papudesu, 2006). Tezin bu bölümünde GES yatırımlarının analizinde kullanılan indirgenmiş nakit akımı yöntemi ve reel opsiyon yöntemi incelenmektedir.

### 2.1.8.1. İndirgenmiş Nakit Akımı Yöntemi

İndirgenmiş nakit akımı yöntemine göre bir projenin değeri, projenin ekonomik ömrü boyunca sağladığı nakit akımı, nakit akımlarının zamanlaması ve nakit akımı ile ilişkili risklerden oluşan üç değişkenin fonksiyonundan oluşmaktadır (Sipahi, Yanık ve Aytürk, 2016, s.102).

Proje değerlemede indirgenmiş nakit akım yönteminin uygulanması için Şekil 25'te yer alan adımlar izlenmektedir.



Şekil 25. İndirgenmiş Nakit Akımlarının Hesaplanma Aşamaları

İndirgenmiş nakit akımları yönteminde projenin değeri gelir hacmi ve büyüme oranları, faaliyet kârı ve FAVÖK oranı, işletme sermayesi ve sabit sermaye yatırım harcamaları, vergi oranları, ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti ve yeni yapılan yatırımların ekonomik kâr sağladığı dönemin uzunluğuna bağlı olarak tahmin edilen nakit akımlarının indirgenmesi/iskonto edilmesi ile belirlenir (Agar, 2005, s.17).

Yöntemin eksik yönleri arasında diğer yöntemlere göre daha çok veriye ve bilgiye ihtiyaç duyulması, uygulanmasının nispeten karmaşık olması, dayandığı varsayımların öznel olması ve geleceğe yönelik belirsizliklerin firma/proje değerini etkilemesi yer almaktadır. Yöntemin üstünlükleri arasında firmanın/projenin gerçek değerini belirlemede kullanılan bilimsel bir yöntem olması, firmanın/projenin gelecekteki performansını firma/proje değerine en iyi şekilde yansıtan yöntem olması, nakit yaratma potansiyeline odaklanması, farklı senaryoların analizine olanak sağlayan esnek bir değerlendirme yöntemi olması, yatırım ve finansman politikası, ekonomideki dalgalanmalar, ticari faaliyet oranları gibi pek çok parametrenin firma/proje değeri üzerinde etkilerini yansıtmaları, birleşme ve satın almalarda sinerjilerin değerlendirilmesine imkân sağlaması gibi özellikleri sayılabilmektedir (Chambers, 2009, ss.210-212).

Literatürde çeşitli indirgenmiş nakit akım yöntemlerinin olmasına rağmen, bütün yöntemler temelde projenin yaşam döngüsünde meydana gelecek yatırım maliyeti ve serbest nakit akımlarının net bugünkü değerinin (NBD) hesaplanmasına dayanmaktadır. Bir projenin net bugünkü değeri projenin yaşam döngüsü boyunca meydana gelecek nakit giriş ve çıkışlarının bugünkü değerlerinin toplamıdır (Kodukula ve Papudesu, 2006, s. 17). Bir projenin NBD'si Denklem 1 aracılığıyla hesaplanmaktadır (Beninga, 2008, s.6)

$$NBD = \sum_{t=1}^n \frac{NNA_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (1)$$

NNA:Nakit Akımı;

$I_0$ : Başlangıçtaki Yatırım Tutarı;

k: iskonto oranı

İndirgenmiş nakit akım değerlendirme tekniklerinden bir diğeri nakit akımlarının net bugünkü değeri üzerine kurulu iç kârlılık oranı yöntemidir (İKO). İç kârlılık oranı projenin nakit giriş ve çıkışlarının bugünkü değerini birbirine eşitleyen iskonto oranıdır. Yatırımın iç kârlılık oranının hesaplanmasında Denklem 2 kullanılmaktadır.

$$\sum_{t=1}^n \frac{NNA_t}{(1+k)^t} - I_0 = 0 \quad (2)$$

NNA:Nakit Akımı

$I_0$ : Başlangıçtaki Yatırım Tutarı

k: iskonto oranı

Teoride pozitif NBD ve ağırlıklı ortalama sermaye maliyetinin üzerindeki İKO değerlerine sahip projeler yöneticiler tarafından kabul edilir (Adjaoud, Charfi ve Chourou, 2011, s. 37).

Diğer taraftan geri ödeme süresi (GÖS); bir projenin nakit girişlerinin nakit çıkışlarına eşit olması için gereken süredir. İndirgenmiş Geri Ödeme Süresi (İGÖS) ise bir projenin NBD'sinin sıfır olması için gereken süre olarak tanımlanabilir. Ayrıca, İGÖS projenin ekonomik ömrüne eşitse, projenin NBD'si sıfırdır ve iskonto oranı İKO'ya eşittir (Arnold ve Nixon, 2011, ss.81-82).

### 2.1.8.2. Reel Opsiyon Yöntemi

Çoğu yatırım kararı üç önemli özelliğe sahiptir. Bu özelliklerden ilki yatırım kararının kısmen ya da tamamen geri döndürülemez olmasıdır. Diğer bir ifadeyle yatırımın ilk kurulum maliyeti kısmen batıktır ve olası karar değişiklikleri batık maliyetin geri kazanılmasını engellemektedir. İkinci özellik ise yatırımın gelecekte sağlayacağı getirinin belirsiz olmasıdır. Yatırım kararının üçüncü özelliği ise yatırım fırsatlarının sürekliliği nedeniyle yatırımın zamanlamasıdır. Yatırımlar geleceğe ilişkin daha fazla bilgiye sahip olana kadar ertelenebilir. Yatırımın geri döndürülemez, belirsizlik ve zamanlama tercihi özellikleri optimal yatırım kararı vermede etkileşim içerisindedir (Dixit ve Pindyck, 1994, s.3). Yatırım kararının bu üç özelliğinin birlikte mevcut olması halinde geleneksel indirgenmiş nakit akımı yöntemleri yatırım değerini doğru belirlemede yetersiz kalmaktadır (Oduntan, 2007, s.21). Geleneksel indirgenmiş nakit akım yönteminde bugünkü kararlar ve gelecekteki kararlar arasındaki etkileşimlerin dikkate alınmadığı ve varlıklara yapılan yatırımların pasif olduğu yani yönetimin yatırımın ekonomik ömrü boyunca projeye müdahale edemediği varsayılmaktadır (Vintilă, 2007, s.47).

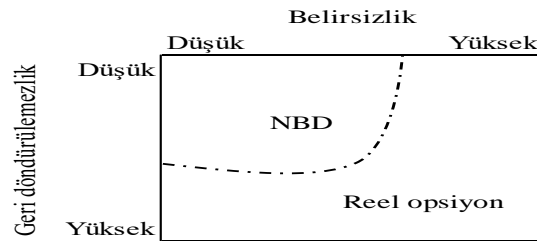
Bu nedenlerle geleneksel indirgenmiş nakit akım yönteminin tek başına kullanılması yönetsel karar esnekliğine duyarlı stratejik projeleri değerlemek için uygun değildir (Mun, 2006, s.87). Bu tür projelerin değerlendirilmesi noktasında reel opsiyon yöntemi geleneksel yöntemlere kıyasla daha doğru sonuç vermektedir.

Reel opsiyon yönteminin temel çıkış noktası finansal opsiyon teorisidir. Finansal opsiyon, belli bir prim karşılığında satın alan kişiye, belirli bir tarihe kadar veya belirli bir tarihte, belirli miktardaki bir varlığı veya ekonomik göstergiyi belirli bir fiyattan satın alma veya satma hakkı diğer bir ifadeyle opsiyonu kullanma hakkı veren sözleşmeler olarak tanımlanmaktadır (Koy, 2020, s.89).

### 2.1.8.2.1. Reel Opsiyon Yönteminin Özellikleri

Reel opsiyon, dinamik ve belirsiz bir yatırım ortamında işletme kararlarının stratejik sermaye yatırım kararlarının alınması kapsamında esnek olduğu bir ortamda finansal varlıkların aksine fiziksel varlıkların değerlendirilmesinde, yatırım fırsatlarının ve proje sermaye harcamalarının değerlendirilmesinde opsiyon teorisini uygularken finansal teori, ekonomik analiz, yönetim bilimi, karar bilimleri, istatistik ve ekonometrik modelleme kullanan sistematik bir yaklaşım ve entegre bir çözüm olarak tanımlanabilmektedir. Reel opsiyonlar stratejik iş ve sermaye tahsis kararlarını belirlemek, anlamak, değerlendirmek, önceliklendirmek, seçmek, zamanlamak, optimize etmek ve yönetmek için kullanışlıdır. Reel opsiyon teorisi, yönetimin servetin maksimize edilmesi ve zarar riskinin en aza indirilmesi yoluyla şirketin ve hissedarlarının çıkarlarına en uygun şekilde hareket ettiğini varsaymaktadır (Mun, 2006, ss.30-31).

Reel opsiyon değerlemesi, stratejik yatırım kararlarının alınmasında önemli bir araçtır. Reel opsiyon yöntemi, yönetsel karar esnekliklerinin değerini net bugünkü değer (NBD) ile birleştirerek yatırımın değerlendirilmesi noktasında daha doğru sonuçlara ulaşır. Reel opsiyon yöntemi ayrıca karmaşık ve belirsiz bir durumda alınacak yönetsel kararların yatırım üzerindeki etkisini basit bir analitik yapıya indirger (Smit ve Trigeorgis, 2004, s.106). Şekil 26'da görüldüğü üzere yüksek belirsizlik ve geri döndürülemezlik durumunda reel opsiyon yöntemi NBD'ye göre yatırımı değerlemede daha doğru sonuç verir (Adner ve Levinthal, 2004, s.76).



Şekil 26. NBD ve Reel Opsiyon Kullanımının Sınırları

**Kaynak: Adner, R. ve Levinthal, D. A. (2004). What is not a real option: Considering boundaries for the application of real options to business strategy. *Academy of management review*, 29(1), 74-85.**

Reel opsiyon yöntemine göre proje değerlendirme matematiksel olarak stokastik dinamik optimizasyona dayanmaktadır. Bir yatırımdan beklenen nakit akımının basit bir statik NBD değerlendirmesi ile karşılaştırıldığında, reel opsiyon yöntemi probleme iki önemli analitik boyut eklemektedir. Birincisi, yatırım kararının zamanlamasının esnek ve dinamik gösterimidir. İkincisi ise önemli belirsiz faktörlerin stokastik süreçler olarak gösterilmesidir (Botterud ve Korpås, 2004, s.6).

Yönetimsel karar esnekliklerine duyarlı stratejik projeler arasında enerji yatırım projeleri de yer almaktadır. Reel opsiyon yöntemi enerji piyasasında karar verme noktasında oldukça kullanışlı bir yöntemdir (Bazilian vd., 2013, s.333). Büyük sermaye yatırımları, belirsiz nakit akımları, belirsiz nakit akımlarına ulaşmak için gereken uzun süreler, potansiyel üretim miktarındaki belirsizlik, proje geliştirmenin tüm aşamalarında çok sayıda teknik alternatif, politik risk ve piyasa maruziyeti (faaliyet gösteren şirketin kontrolü dışındaki dış etkiler) enerji sektöründe reel opsiyon analizinin kullanılmasının ideal olduğunu gösteren nedenler olarak sıralanabilmektedir (Mun, 2006, s.48). Brennan ve Schwartz (1985) doğal kaynak yatırımlarına reel opsiyon yaklaşımını ilk kez uygulamışlardır.

Yenilenebilir enerjide yatırım ortamı, belirsizlik ve yönetimsel esneklikle karakterize stokastik bir senaryoya daha yakındır. Bu nedenle enerji yatırımlarının analizinde indirgenmiş nakit akım yöntemlerinin kullanılması uygun olmayan yatırım kararına yol açabilir veya yatırımı düşük değerleyebilir. Oysa reel opsiyon yönteminin analitik çerçevesi yatırımcıların belirsizliği değerlendirmesine ve belirsizlik çözülene kadar projenin ertelenmesi gibi yönetimsel karar esnekliklerinin doğru bir şekilde belirlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu nedenle optimal yatırım stratejisi oluşturmada kullanılacak bir yöntemdir. Reel opsiyon yönteminin kullanılması ile yatırımcılar optimum yatırım fırsatını yakalama ve maksimum yatırım değerini elde etme fırsatına sahip olabilmektedir (Zhang vd., 2016, s. 215).

Geleneksel indirgenmiş nakit akımı yönteminde, belirsizlik, farklı olası senaryolarda bir olasılık dağılımı benimseyerek veya iskonto oranını ayarlayarak değerlendirilir. İndirgenmiş nakit akımı yönteminde daha yüksek düzeyde bir belirsizlik projenin değerini düşürür. Reel opsiyon yaklaşımında ise eğer yöneticiler opsiyonları olaylara esnek bir şekilde yanıt vermek diğer bir ifadeyle yatırımı ertelemek, terk etmek veya genişletmek için kullanırsa, daha büyük bir belirsizlik



yatırımın değerinin yükselmesine neden olabilir (De Mare, Manganeli ve Nesticò, 2013, s.361).

Reel opsiyon analizinin bir sermaye bütçeleme aracı olarak pratik kullanımı oldukça sınırlıdır. Block (2007) Fortune 1000’de yer alan şirketlerden gelen 279 yanıt dayanarak, yanıt verenlerin %14,3’ünün bir tür reel opsiyon analizi kullandığı sonucuna ulaşmıştır. Anket sonuçları, reel opsiyon analizini en yaygın olarak kullanan endüstrilerin teknoloji, enerji ve kamu hizmetleri olduğunu göstermektedir. Katılımcılar, yeni ürün tanıtımı, Ar-Ge ve Birleşme ve Devralmalar için reel opsiyon analizini kullandığını belirtmiştir. Ankete katılanların %42,7’sinin belirttiği üzere firmaların reel opsiyon analizini kullanmaktan kaçınmasının temel nedeni, yönetim desteğinin olmamasıdır. Yönetim desteğinin olmamasının nedenleri ise indirgenmiş nakit akım yönteminin kanıtlanmış bir yöntem olması (yanıt verenlerin %25,6’sı) ve reel opsiyon analizinin çok fazla karmaşıklık gerektirmesi (yanıt verenlerin %19,5’i) olarak belirtilmiştir.

#### 2.1.8.2.2. Reel Opsiyon Türleri

Projenin ekonomik ömrü boyunca alınacak çeşitli yönetsel kararlar projenin değeri üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Çizelge 22’de yönetsel karar esnekliğine imkân veren reel opsiyon türleri ve ilgili reel opsiyon türüne karşılık gelen finansal opsiyon türleri gösterilmektedir.

**Çizelge 22. Reel Opsiyon Türleri ve Finansal Opsiyonlarda Karşılıkları**

Reel Opsiyon	Finansal Opsiyonlarda Karşılığı
Erteleme opsiyonu	Alım opsiyonu
Terk etme opsiyonu	Satım opsiyonu
Ölçeklendirme (genişleme veya küçülme opsiyonu)	Alım ve satım opsiyonu
Uzatma ve kısaltma opsiyonu	Alım ve satım opsiyonu
Faaliyet konusu ekleme/çıkarma opsiyonu	Alım opsiyonu
Değiştirme opsiyonu	Alım ve satım opsiyonları kombinasyonu
Bileşik opsiyon	Çeşitli opsiyon türlerinden oluşan bir kombinasyon

**Kaynak:** Koller, T., Goedhart, M., and Wessels, D. (2020). *Valuation: measuring and managing the value of companies (Seventh Edition)*. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc. s.769.

**Erteleme opsiyonunda** yönetim doğal kaynak veya arazi alım opsiyonuna sahiptir. Erteleme opsiyonu belirsiz çıktı maliyetleri nedeniyle bir tesisin kurulumu için yatırım yapılmasını erteleme hakkını ifade etmektedir.

**Ölçeklendirme opsiyonu** ile yönetim piyasa talebi doğrultusunda faaliyet ölçeğini genişletip daraltma hakkına sahip olmaktadır (Smit ve Trigeorgis, 2004, s.108).

**Uzatma ve kısaltma opsiyonları** ise tesisin beklenenden daha uzun ya da daha kısa süre kullanılabilceği durumlarda tesisin ömrünün uzatılıp kısaltılması hakkını veren reel opsiyonlardır.

**Faaliyet konusu ekleme/çıkarma opsiyonu** ile yönetim gelecekte faaliyet konusuna yeni faaliyet alanı ekleme veya mevcut faaliyetlerini azaltma hakkına sahip olmaktadır.

**Değiştirme opsiyonunda** ise faaliyetlerin değiştirilmesi (farklı ürün üretimi, bir endüstriye giriş/çıkış) hakkını ifade etmektedir (Koller, Goedhart ve Wessels, 2020, s.769).

**Bileşik opsiyonlar**, birden fazla opsiyonun birlikte kullanılması durumunda ortaya çıkmaktadır. Pek çok proje, opsiyonlardan oluşan bir kombinasyonu temsil eder ve bu kombinasyonun veya portföyün değeri genellikle her bir opsiyonun bağımsız değerlerinin toplamından küçüktür (Kapucugil İkiz ve Deveci Kocakoç, 2009, s.30).

Terk etme opsiyonu, piyasa koşulları kötüleştiğinde, yönetimin mevcut operasyonları kalıcı olarak terk etmesi ve ikincil piyasalarda duran varlıkları satmasını ifade eder (Smit ve Trigeorgis, 2004, s.108). Terk etmenin olumlu tarafı, özellikle büyük ölçekli, geri dönülemez bir yatırımın var olması durumunda, nakit çıkışlarını azaltan kaybın daha da büyümesine engel olmasıdır (Kapucugil İkiz ve Deveci Kocakoç, 2009, s.29). İki üretim teknolojisinin mevcut olduğu ve üretim teknolojilerinden birinin seçilmesi gerektiği bir durumda Teknoloji A, aktif bir ikinci el pazarı olan standart takım tezgahlarını kullanırken Teknoloji B ise özel tasarım, ikinci el pazarı olmayan ekipmanları kullanmaktadır. İki teknoloji de aynı ürünü üretip, aynı miktarda gelir elde etmektedir fakat Teknoloji B daha etkin olup daha düşük işletme maliyetlerine sahiptir. Üretim, makinelerin ekonomik ömrünün sonuna kadar devam etmektedir. İki alternatifin nakit akımları bu varsayımlar altında aynı iskonto oranıyla indirildiğinde B'nin NBD'si A'nın NBD'sinden yüksek çıkacaktır.

Bu hesaplamalar, üretim süresinin bilindiği varsayımına dayalıdır. Ancak üretimin erken (makinelere yıpranmadan önce) durdurulması durumunda, Teknoloji A'nın daha yüksek hurda değeri onu nispeten daha çekici hale getirir. Geleneksel sermaye bütçelemesinde yatırım yapılan varlığın ekonomik ömrü sonunda hurda değeri olabileceği söz konusudur. Bununla birlikte, hurda değer daha erken bir dönemde projenin terk edilmesi durumunda da yatırımı etkileyecektir. Yatırıma devam etmenin değeri hurda değerden düşükse proje terk edilmelidir. Geleneksel sermaye bütçelemesi bu opsiyonu ihmal etmektedir (Myers ve Majd, 1983, s.2). Bir proje, tesisin kapatılması durumunda satılabilecek değerli bir gayrimenkul içeriyorsa, terk etme opsiyonu, yönetimin faaliyetlerine devam etmekten kaynaklanacak sabit maliyetlerine katlanmaktan kaçınmasını sağlamaktadır (Arnold, 2014, s.116). Terk etme opsiyonu ile piyasa koşulları kötüleştiğinde veya sermaye ekipmanları teknolojik değişim sonrası kullanılmaz hale geldiğinde yönetim enerji santralini hurda değerinden elden çıkararak yatırımı terk edebilir (Lee, 2011, s.4447).

### **2.1.8.2.3. Reel Opsiyon Değerleme Yöntemleri**

Finansal opsiyonların değerini, Black ve Scholes yöntemi gibi kapalı form denklemler, Monte Carlo simülasyon yöntemi, karar ağacı yöntemi ve diğer nümerik yöntemler gibi birçok yöntem ile belirlemek mümkündür. Kapalı form denklemlerden Black Scholes ile nümerik yöntemlerden Binom modeli literatürde en yaygın kullanılan yöntemlerdir (Mun, 2006, s.123).

Literatürde reel opsiyonların değerlendirilmesi konusunda finansal opsiyon değerlendirme yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Black ve Scholes ve Binom opsiyon değerlendirme yöntemlerinin literatürde diğer yöntemlere kıyasla daha yoğun bir uygulama alanına sahip olması nedeniyle tezin bu bölümünde bu iki yöntem incelenmiştir.

### 2.1.8.2.3.1. Black ve Scholes Opsiyon Değerleme Yöntemi

Black ve Scholes yöntemi, opsiyon değerlemede kullanılan analitik bir yöntem olup Fisher Black ve Myron Scholes tarafından 1973 yılında ilk kez alım opsiyonları için önerilen kapalı form bir çözümdür.

Black ve Scholes'un opsiyon değerlendirme modeli kısıtlayıcı varsayımlar altında kullanılabilir. Black ve Scholes modelinin temel varsayımları aşağıdaki gibidir (Black ve Scholes, 1973, s.640):

- Hisse senedi fiyat hareketleri lognormal bir dağılım izlemektedir,
- İşlem maliyeti ya da vergi ödemesi söz konusu değildir,
- Opsiyon süresi boyunca, opsiyonun bağlı olduğu hisse senedi temettü dağıtmayacaktır,
- Hisse senedi alım satımı sürekli,dir,
- Risksiz arbitraj fırsatı söz konusu değildir,
- Kısa süreli faiz oranı sabittir,
- Yatırımcılar aynı kısa vadeli faiz oranı üzerinden borç alıp verebilirler,
- Opsiyon Avrupa tipidir.

Alım ve satım opsiyonlarının Black ve Scholes yöntemine göre değeri sırasıyla Denklem 3 ve Denklem 4 kullanılarak hesaplanmaktadır (Higham, 2004, ss.80-81).

$$C = SN(d_1) - Xe^{-rt}N(d_2) \quad (3)$$

$$P = Xe^{-rt}N(-d_2) - SN(-d_1) \quad (4)$$

Denklemlerde yer alan ifadelerin anlamları aşağıda açıklanmıştır.

$$d_1 = \frac{1}{\sigma\sqrt{\tau}} \left[ \ln\left(\frac{S}{X}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)\tau \right]$$

$$d_2 = \frac{1}{\sigma\sqrt{\tau}} \left[ \ln\left(\frac{S}{X}\right) + \left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)\tau \right] = d_1 - \sigma\sqrt{\tau}$$

S : Dayanak varlığın değeri

X : Kullanım fiyatı

r : Yıllık risksiz faiz oranı

- $\sigma$  : Volatilite  
t : Vade  
N(x) : Kümülatif normal dağılım fonksiyonu  
e : Doğal logaritma (2,718)

### 2.1.8.2.3.2. Binom Opsiyon Değerleme Yöntemi

Binom yöntemi, opsiyon değerlemede kullanılan nümerik bir yöntemdir ve 1979 yılında Cox, Ross ve Rubinstein tarafından geliştirilmiştir. Binom ağacı yöntemi kesikli zaman yaklaşımını benimsemektedir. Kesikli zaman yaklaşımında kararın herhangi bir zaman diliminde verilebiliyor olması nedeniyle bu yöntem reel opsiyon analizine oldukça uygundur (Brach, 2003, s.52).

Binom opsiyon değerlendirme yönteminin temel varsayımları aşağıdaki gibidir (Bilir, 2012, ss. 34-35).

- Piyasalar mükemmel şekilde işlemekte ve tam rekabet koşulları sağlanmaktadır,
- Faiz oranı ve fiyatların her dönem ne kadar aşağı ve yukarı hareket edeceği bilinmektedir,
- Tüm arbitraj olanaklarının kullanılmasını sağlayan, yatırımcıların fazla kazancı az kazanca tercih etmeleri esastır,
- Menkul kıymet piyasalarında açığa satış mümkündür,
- İşlem maliyeti yoktur,
- Vergiler ihmal edilmiştir,
- Menkul kıymetler bölünebilirlik özelliğine sahiptir,
- Türev menkul kıymetlerin süresi içinde temettü ödemesi yoktur,
- Menkul kıymet piyasalarında risksiz arbitraj olanağı yoktur,
- Menkul kıymet ticareti süreklidir,
- Tüm vadeler ve borçlanmalar için risksiz faiz oranı sabittir.

Binom ağacı yönteminde reel opsiyonun değerinin hesaplanması için iki yaklaşım bulunmaktadır. Birincisi, taklit portföyü değerlendirme yaklaşımıdır ve burada projenin NBD'sine benzer bir taklit portföyü oluşturulur. İkinci yaklaşım ise opsiyonun değerini belirlemek için bir riskten korunma portföyünün oluşturulduğu risk-nötral değerlendirme yaklaşımıdır (Peters, 2016, s.21). Taklit portföy yöntemi arbitraj fırsatlarının olmaması ve piyasada mevcut projenin nakit akımlarını kopyalamak için elde edilebilecek çok sayıda alınıp satılan varlığın mevcut olması olmak üzere iki temel varsayım üzerine kuruludur. Risk-nötral olasılık yaklaşımında, riskli nakit akımlarının indirgenmiş nakit akımı yöntemlerinde olduğu gibi riske göre uyarlanmış iskonto oranı kullanılarak indirgenmesi yerine, belirli bir zamandaki nakit akımlarının riske uyarlanmış olasılıklar ile belirlenerek, şimdiki zamana risksiz faiz oranından indirgenmesi ile elde edilmektedir. Taklit portföy yaklaşımının uygulaması ve anlaşılması daha zor olmakla birlikte, sonuçları risk-nötral olasılık yaklaşımının sonuçları ile aynıdır (Mun, 2006, ss.127-128).

Dayanak varlığın değeri (S), kullanım fiyatı (X), dayanak varlığın volatilitesi ( $\sigma$ ), vadeye kalan süre (t), risksiz faiz oranı (rf) ve temettü ödemeleri (b) reel opsiyon analizinde kullanılan binom ağacı modelinin girdi parametreleridir (Mun, 2006, s.128).

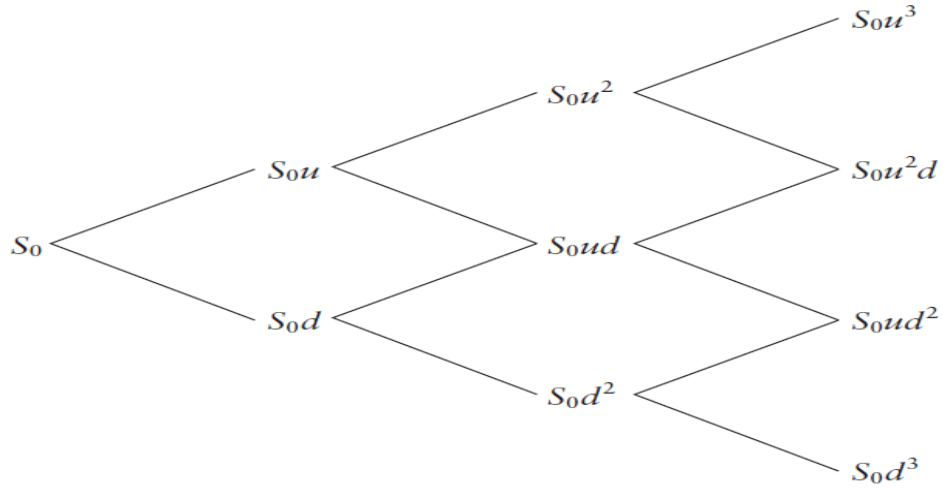
Binom ağacı dayanak varlık fiyatının her zaman belirli bir oranda aşağıya veya yukarıya hareket etmesi olasılığı ile opsiyon ömrünü küçük zaman aralıklarına böler (Arnold, 2014, s.44). Binom ağacı yönteminde Denklem 5, Denklem 6 ve Denklem 7'de belirtilen dayanak varlık değerinin yukarı ve aşağı hareketlerini temsil eden faktörlerin (u ve d) ve risk-nötral olasılık ölçütünün (p) hesaplanması gereklidir (Mun, 2006, s.128). Bu hesaplamalara ilişkin denklemler aşağıdaki gibidir.

$$u = e^{\sigma\sqrt{\delta t}} \quad (5)$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{\delta t}} = \frac{1}{u} \quad (6)$$

$$p = \frac{e^{(rf-b)(\delta t)} - d}{u - d} \quad (7)$$

Binom ağacı modelinin ilk aşamasında dayanak varlığın bugünkü değerinin aşağı ve yukarı faktörleri ile çarpılması sonucu Şekil 27’de görülen ilk binom ağacı elde edilir (Mun, 2006, s. 165).



Şekil 27. Dayanak Varlık Değerinin Binom Ağacı

Binom ağacı modelinin ikinci aşamasında ise opsiyon değerlendirme ağacı elde edilir. Binom ağacının son düğümünde reel opsiyonun vadesinin sonunda reel opsiyon değeri; alım opsiyonu için  $\text{Max} [(S-X), 0]$  ve satım opsiyonu için  $\text{Max} [(X-S), 0]$  dır (Loncar v.d., 2017, s.362). Opsiyon değerlendirme ağacının elde edilmesi aşamasında ağacın son düğümünden başlayarak risk-nötral olasılık ölçütü kullanılarak geriye doğru hesaplama yapılır (Mun, 2006, s. 165). Geriye doğru hesaplamada ağacın her düğümünde Denklem 8 kullanılarak opsiyonun değeri hesaplanır.

$$P = (p * P_u + (1 - p) * P_d) * e^{-rf*\delta t} \quad (8)$$

$P_u$ : Dayanak varlık değerinin yükselmesi durumunda satım opsiyonunun değeri

$P_d$ : Dayanak varlık değerinin düşmesi durumunda satım opsiyonunun değeri

Değerleme ağacı oluşturulduktan sonra yönetim kararlarının esnekliğini içeren NBD'nin toplam stratejik değeri Denklem 9'da gösterildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$GNBD = NBD + \text{Opsiyon Değeri} \quad (9)$$

## 2.2. İlgili Çalışmalar

Literatürde güneş enerjisi yatırımları az sayıda çalışmada incelenmiştir. Bunun nedeni güneş enerjisi teknolojilerinin büyük ölçekli yatırımlarda yerini 2008 ile 2010 yıllarında almaya başlamasıdır (Polzin v.d., 2019, s.1251). Bu başlık altında enerji yatırımları ile ilgili çalışmalar iki grupta incelenmiştir. Birinci grupta güneş enerjisi yatırımlarının indirgenmiş nakit akımı yöntemine göre yapılabirlik analizine odaklanan çalışmalar değerlendirilirken ikinci grupta yenilenebilir enerji yatırımlarına yönetsel karar esnekliklerinin etkisini reel opsiyon analizi aracılığıyla inceleyen çalışmalar değerlendirilmiştir.

### 2.2.1. Güneş Enerjisi Yatırımlarının Analizinde İndirgenmiş Nakit Akımı Yönteminin Kullanıldığı Çalışmalar

Bu grupta incelenen çalışmalar Çizelge 23'te güneş enerjisi kurulu gücüne göre sınıflandırılmış olup, Türkiye'de yapılan çalışmalar ayrıca belirtilmiştir.

Türkiye'de kurulma potansiyeli olan GES'lere yapılacak yatırımların ekonomik analizinin yapıldığı çalışmalar arasında Ertürk (2011), Şen, Tunç ve Özilhan (2013), Cebeci (2017), Yanıktepe, Kara ve Özalp (2017) ve Ertuğrul ve Saldı (2020)'nin çalışmaları yer almaktadır.

Dört çalışma GES yatırımlarının analizinde net bugünkü değer, iç kârlılık oranı ve geri ödeme süresi gibi ortak yöntemler kullanmıştır. Ertürk (2011) bu üç yönteme ek olarak seviyelendirilmiş enerji maliyetine (LCE) göre GES maliyetini hesaplamış olup Monte Carlo ile yatırımların belirsizlik analizini yapmıştır. Şen, Tunç ve Özilhan (2013) ayrıca yatırımın kârlılığı (ROI) ve minimum kabul edilebilir getiri oranı (MARR) yöntemlerine göre de santral yatırımlarını değerlendirmiştir. Cebeci (2017) de Ertürk (2011)'ün çalışmasına paralel olarak LCOE'ye göre GES maliyetini hesaplamış ve İGÖS yöntemini kullanmıştır. Ertuğrul ve Saldı (2020) ise lisanssız güneş enerjisi santrallerinde yatırımın getiri oranı ile dolar/TL döviz kuru ve 250 KW, 500 KW ve 1.000 KW'lik ölçekler arasındaki ilişkiyi incelemiş olup ölçek büyüklüğünün yatırımın getiri oranı üzerinde oldukça etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Hacıbebekoğlu, Yiğitbaşı ve Çetinel (2011) ve Ertürk (2011)



çalışmalarında negatif NBD hesaplarırken diğer çalışmalarda pozitif NBD hesaplanmıştır. Şen, Tunç ve Özilhan (2013) farklı illerin güneşlenme süresine dayalı olarak dokuz farklı panel markasına göre NBD hesapladıkları çalışmalarında tek bir markanın yarattığı NBD'nin negatif olduğu tespit edilmiştir. İller arasında da sadece Trabzon'da diğer panel markaları kullanılarak yapılan yatırımda da negatif NBD hesaplanmıştır. Şen, Tunç ve Özilhan (2013)'ün çalışması GES yatırımlarında lokasyon ve panel verimliliğinin önemli kriterler olduğunu ortaya koymuştur.



Çizelge 23. GES Yatırımlarının Değerlemede İndirgenmiş Nakit Akımı Yöntemini Kullanan Çalışmaların Sınıflandırılması

	Yazar	Yıl	Ülke	Ölçek		Yazar	Yıl	Ülke	Ölçek		Yazar	Yıl	Ülke		Yazar	Yıl	Ülke	Ölçek	Yöntem
	> 5 MW GES Yatırımları Değerleme Çalışmaları					< 5 MW GES Yatırımları Değerleme Çalışmaları					Ölçeği Belirtilmeyen GES Yatırım Değerleme Çalışmaları					Türkiye'de Yapılan GES Yatırım Değerleme Çalışmaları			
	Awerbuch	2000	Hawai	50 MW		Rehman, Bader ve Al-Moallem	2007	Suudi Arabistan	5 MWp		Mondol, Yohanis ve Norton	2009	Avrupa ülkeleri (İngiltere, Almanya, Fransa, İsveç, İspanya)		Şen, Tunç ve Özilhan	2013	Türkiye (Konya)	10 MW	NBD, ROI, MARR
	El-Shimy	2009	Mısır	10 MW		Mondal ve İslam	2010	Bangladeş	500 kW		Audenaert vd.	2010	Flaman Bölgesi (Belçika)		Ertürk	2011	Türkiye	279,075MW 65,925 MW	NBD, İKO, LCE, GÖS, Kapanış fiyatı, Monte Carlo simülasyonu
	Aldali ve Ahwide	2013	Libya	50 MW		Mondal ve İslam	2011	Bangladeş	1 MWp		Talavera, Nofuentes ve Aguilera	2010	Avrupa ülkeleri		Hacıbekoğlu, Yiğitbaşı ve Çetinel	2011	Türkiye (Diyarbakır)	1,0285 MW	NBD
	Al-Soud ve Alsafafeh	2015	Jordan	75 MW		Mahmud	2013	Bangladeş	500 kW		Muneer, Bhattacharya ve Cañizares	2011	Kanada		Cebeci	2017	Türkiye (Konya)	1 MW	NBD, İKO, LCOE, İGÖS
	Aguilar	2015	Ghana	100 MW		Chandel vd.	2014	Hindistan	2,5 MW		Jamil, Kirmani ve Rizwan	2012	-		Yanıktepe, Kara ve Özalp	2017	Türkiye (Osmaniye)	1 MW	NBD, GÖS, İKO
	Bustos vd.	2016	Chile	30 MW		de Jong ve Torres	2014	Brezilya	1 MW 0,408 MW		Kim ve Kim	2013	Kore		Ertuğrul ve Saldı	2020	Türkiye	250KW, 500KW ve 1000KW	ROI, GÖS
	Pan, Tian ve Shan	2016	Çin	10 MW		Guaita-Pradas, Ruiz ve Soucase	2014	İspanya	20 kW		Dale	2013	Amerika, Hindistan, Japonya, Kanada, Singapur, Avrupa, Çin						
	Harris	2017	Kuzeydoğu Nevada (ABD Eyaleti)	10 MW		Guaita-Pradas, Mari Soucase ve Aka	2015	Kétesso	20kWp										
	EL-Shimy, Abdelraheem ve Said	2017	Mısır	10 MW		Weida, Kumar ve Madlener	2016	Almanya	5 kWp 200 kWp 3000 kWp										
	Bigoni	2018	İtalya (Sicilya Adası)	10 MW		Valmala	2017	İspanya	750 kW										

## 2.2.2. Yenilenebilir Enerji Yatırımlarının Analizinde Reel Opsiyon Yönteminin Kullanıldığı Çalışmalar

Enerji sektörü, uluslararası piyasalardaki enerji ve enerji emtia fiyatlarının volatilitesi ve bu sektördeki yatırım projelerinin zaman alıcı, büyük ölçekli ve yüksek maliyetli olmasından dolayı yüksek oranda belirsizlikle karşı karşıyadır (Lin ve Wesseh Jr., 2013, s.475). Enerji sektöründeki bu belirsizlik enerji yatırımlarının yapılabilirliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Geleneksel proje değerlendirme yöntemleri bu belirsizlikleri modele dahil etmemeleri nedeniyle enerji yatırımlarının değerlemesinde yeterli olmamaktadır. Bu nedenle yatırımları değerlendirme konusunda yönetimin olası bir belirsizliğe karşı karar esnekliğinin olması durumunu modele dahil eden reel opsiyon uygulaması literatürde yaygın bir kullanıma sahiptir. Reel opsiyon yönteminin yenilenebilir enerji yatırımlarının yapılabilirlik analizi ve yenilenebilir enerji desteklerinin yatırımlara etkisinin tespit edilmesi üzerine kullanıldığı çeşitli çalışmalar Çizelge 24’te özetlenmiştir.

Çizelge 24. Yenilenebilir Enerji Yatırımlarının Değerlemesi Üzerine İncelenen Çalışmalar

Yıl	Yazar	Ülke	Enerji Teknolojisi	Belirsizlik
2002	Venetsanos, Angelopoulou ve Tsoutsos	Yunanistan	Rüzgâr	Yenilenemeyen enerji fiyatı, çevresel düzenlemeler, talep, arz, piyasa yapısı
2008	Kumbaroğlu, Madlener ve Demirel	Türkiye	Rüzgâr	Tarife
2009	Safarov	Türkiye	Rüzgâr, Doğalgaz	-
2010	Lee ve Shih	Tayvan	Rüzgâr	Yenilenemeyen enerji fiyatı, tarife garantisi
2011	Martínez-Ceseña ve Mutale	İngiltere	Hidro	Elektrik fiyatı, su akışı, destek mekanizmaları
2011	Lee	Tayvan	Rüzgâr	Dayanak varlık fiyatı, kullanım fiyatı, faaliyet süresi, risksiz faiz oranı
2012	Martínez-Ceseña	İngiltere	Hidro, Rüzgâr, Güneş	Tarifeye ilişkin politika değişiklikleri
2012	Boomsma, Meade ve Fleten	Nordik ülkeleri	Rüzgâr	Sermaye harcamaları, elektrik fiyatı, sübvansiyon, yenilenebilir kaynaklı elektrik yatırımı
2013	Martínez-Ceseña, Azzopardi ve Mutale	İngiltere	Fotovoltaik	Tarife
2013	Lin ve Wesseh Jr.	Çin	Fotovoltaik	Yenilenemeyen enerji fiyatı, tarife garantisi
2013	De Mare, Manganelli ve Nesticó	İtalya	Rüzgâr	Enerji satış fiyatı, yeşil sertifika fiyatı, enerji üretim miktarı
2013	Detert ve Kotani	Moğolistan	Rüzgâr ve güneş termal	Yenilenemeyen enerji fiyatı

## Çizelge 24-devam

2014	Zhang, Zhou ve Zhou	Çin	Fotovoltaik	Yenilenemeyen enerji maliyeti, karbon fiyatları, yenilenebilir enerji maliyeti, yenilenebilir enerji teşvikleri
2014	Tekin	Türkiye	Güneş	-
2014	Abadie ve Chamorro	İngiltere	Rüzgâr	Elektrik fiyatı, rüzgâr yükü, yenilenebilir enerji zorunluluk sertifikası fiyatı
2015	Jeon, Lee ve Shin	Kore	Fotovoltaik	Güneş ışınımı, elektrik fiyatı, faiz oranları, döviz kuru, risk primi, risksiz faiz oranı
2015	Biondi and Moretto	İtalya	Fotovoltaik	Enerji fiyatları, modül maliyetleri
2016	Zhang, Zhou ve Zhou	Çin	Fotovoltaik	Karbon fiyatları, yenilenemeyen enerji maliyeti, yatırım maliyeti, elektrik fiyatı
2016	Pan, Tian ve Shan	Çin	Fotovoltaik	Yatırım maliyeti, karbon fiyatı, devlet teşviği
2016	Zhang vd.	Çin	Fotovoltaik	Karbon fiyatı ve yatırım maliyeti
2016	Toptaş	Türkiye	Rüzgâr	-
2017	Tian vd.	Çin	Fotovoltaik	Yatırım maliyeti, elektrik fiyatı, karbon fiyatı ve devlet teşviği
2017	Loncar vd.	Sırbistan	Rüzgâr	İskonto oranları, kapasite faktörü, tarife garantisi, enflasyon oranı, yatırım maliyeti, kurumlar vergisi, OPEX, OPEX eskalasyon oranı, diğer maliyetler, CAPEX azalış oranı, tarife prim ödemesi, prim ödeme süresi
2018	Agaton ve Karl	Filipinler	Fotovoltaik	Elektrik fiyatı, petrol fiyatı, petrol kullanımının dışsalığı
2018	Gazheli ve van den Bergh	-	Fotovoltaik, Rüzgâr	Elektrik fiyatı, yatırım maliyeti
2018	Li vd.	Gobi Çölü		Çevresel maliyet, termal güç maliyeti, enerji üretim maliyeti, karbon fiyatı, devlet teşviği
2020	Balibrea-Iniesta	Fransa	Fotovoltaik	Elektrik fiyatı, üretici fiyat endeksi, saatlik işgücü maliyeti endeksi
2021	Assereto ve Byrne	İrlanda	Fotovoltaik	Elektrik fiyatı

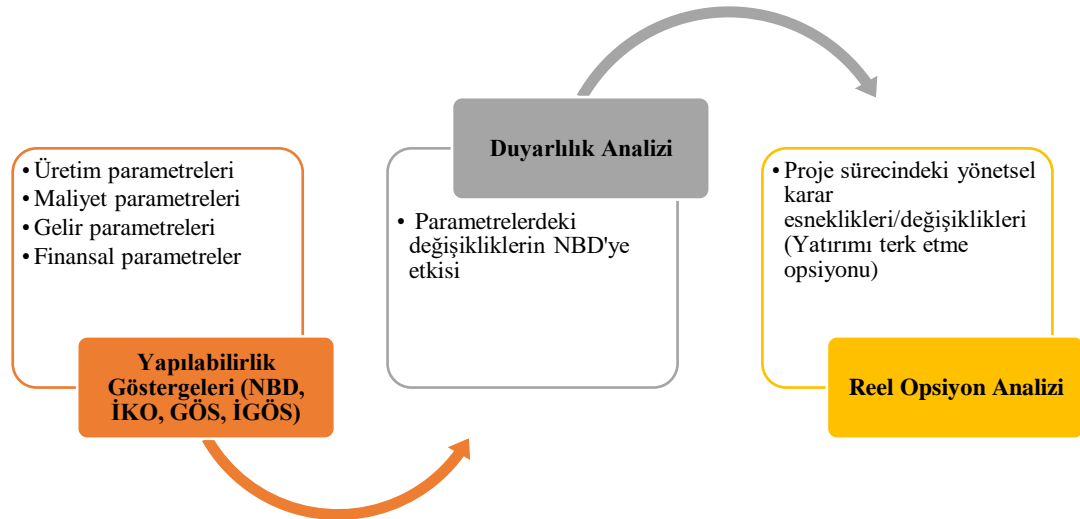
Türkiye’de Safarov (2009), Toptaş (2016) ve Tekin (2014) enerji yatırımlarında reel opsiyon yöntemini uygulamışlardır. Safarov (2009) İzmir’de bir rüzgâr enerjisi santrali ve doğal gaz boru hattı projelerinde, Toptaş (2016) rüzgâr enerjisi, Tekin (2014) ise GES yatırımını reel opsiyon analizi ile değerlendirmişlerdir.

### 3. YÖNTEM

#### 3.1. Araştırmanın Modeli

Bu araştırmanın modeli Şekil 28’de görüldüğü gibi oluşturulmuştur. Şekilden de görüleceği gibi araştırma modeli üç aşamadan oluşmaktadır.

Buna göre ilk aşamada üretim, maliyet, gelir ve çeşitli finansal parametreler kullanılarak GES kurulumunun yapılabirlik göstergelerinden NBD, İKO, GÖS ve İGÖS hesaplanmakta, ikinci aşamada parametrelerdeki değişikliklerin yatırımın net bugünkü değerine etkisi duyarlılık analizi ile incelenmekte ve üçüncü aşamada da yaşanacak hızlı teknolojik gelişmeler sonucunda santralin kurulumu sırasında kullanılan modüllerin dönem modüllerine kıyasla verimliliğinin düşük olması nedeniyle yatırımın invertör değişiminin gerektiği 15. yıla kadar yönetimin olası yatırımı terk etme kararının GES yatırımlarının yapılabirliklerine etkisi reel opsiyon yöntemi ile değerlendirilmektedir.



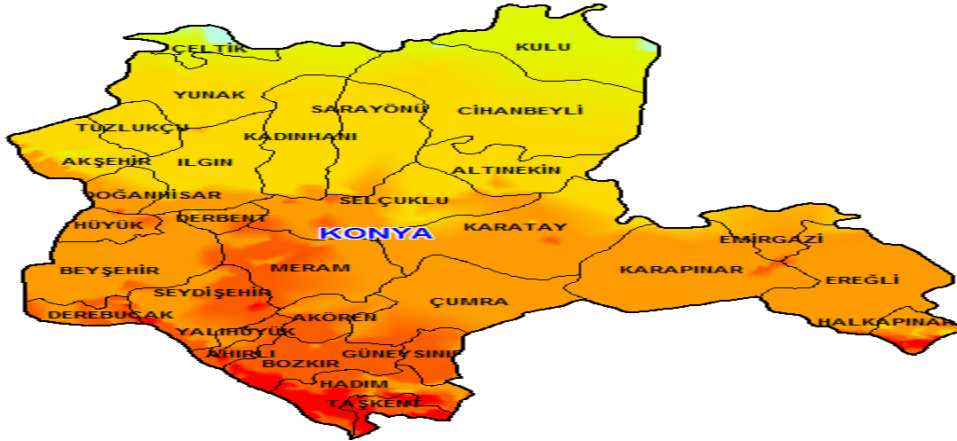
Şekil 28. Araştırmanın Modeli

Ayrıca üç aşamalı araştırma modeli GES yatırımlarının YEKDEM desteğinden yararlandığı ve destekten yararlanmadığı durumlarda ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

### 3.2. Araştırmanın Örnekleme

Türkiye’de güneş enerjisi üretim teknolojilerinden fotovoltaik enerjinin yoğunlaştırılmış güneş enerjisine göre daha fazla yatırım çekmesi ve fotovoltaik enerjinin kurulu gücü ve elektrik üretiminin yoğunlaştırılmış güneş enerjisine kıyasla yüksek olması nedeniyle tez kapsamında fotovoltaik enerji yatırımları değerlendirilmiş olup bundan sonraki bölümlerde yer alan GES yatırımları ile fotovoltaik enerji yatırımları ifade edilmektedir.

Türkiye’de güneşlenme süresi ve ışınlamı açısından verimliliği yüksek illerin başında Konya gelmektedir. Konya iline ait güneşlenme haritası Şekil 29’da sunulmuştur. Konya’da ayrıca yeryüzü şekillerinin engebesiz olması da santral kurulum maliyetlerini azaltmaktadır. Bu nedenlerle Türkiye’de GES yatırımlarının en yüksek olduğu il Konya olup Türkiye’de GES sayısı bakımından Konya ili Türkiye’de ilk sıradadır (<http-20>).



Şekil 29. Konya İli Güneşlenme Haritası

Söz konusu nedenler doğrultusunda çalışmanın araştırma grubunu oluşturan santral yatırımının Konya ili, Ereğli ilçesi, Zengen Köyü yakınlarında GES kurulumuna uygun bir lokasyonda yapılacağı varsayılmıştır. Şekil 30’da kurulması planlanan santralin lokasyonu görülmektedir.



Şekil 30. GES Santral Lokasyonu

GES'lerin ekonomik analizi için Konya, Zengen'de 2021 yılında kurulacağı varsayılan 10 MW ölçeğinde 30 yıl ekonomik ömre sahip şebeke ölçeğinde yapılması planlanan bir santral yatırımı araştırmanın örneklemini oluşturmaktadır. Kurulacağı varsayılan santralin ekonomik ömrünün aşamaları Şekil 31'de sunulmuştur.



Şekil 31. Fotovoltaik Santralin Ekonomik Ömrünün Aşamaları

### 3.3. Veri Toplama Araç ve Teknikleri

GES yatırımlarının yapılabilirlik göstergelerinin hesaplanabilmesi için santralin kurulduğu lokasyonun güneş ışınım tahmininin yapılması, enerji kayıplarının ve modüllerde yıllar itibariyle meydana gelecek aşınma oranının belirlenmesi, sermaye harcamaları (CAPEX) ile operasyonel harcamaların (OPEX) belirlenmesi, santralde üretilen elektriğin satışından sağlanacak gelirin hesaplanması için satış fiyatının tahmin edilmesi ve ekonomik analizde ihtiyaç duyulan sermaye yapısı bileşimi, sermaye maliyeti, kurumlar vergisi oranı, faiz oranı, borç ödeme süresi,

amortisman süresi ve amortisman oranı vb. finansal parametrelerin belirlenmesi gereklidir. GES yatırımlarının ekonomik analizi için toplanan veri üretim, maliyet, gelir ve finansal parametreler olarak sınıflandırılmıştır.

GES yatırımlarının yapılabilirliğinin en önemli belirleyicisi santralin kurulduğu lokasyonun güneş ışınım tahminine bağlı olarak hesaplanan elektrik üretim miktarıdır. Santralin kurulacağı lokasyona ait aylara ait ortalama günlük küresel eğimli ışınım verisi ve 10 MW ölçeğinde bir santralde kurulu fotovoltaik modüllerin kapladığı alan ve modüllerin en uygun yerleştirilebileceği açılı SOLARGIS Prospect uygulamasından elde edilmiştir. GES'lerde üretilen enerji kayıp oranları IEA (2017)'nin raporundan alınmıştır. Modüllerin verimlilik oranı olarak Yingli Solar marka modüllerin arasında verimliliği en düşük olan modülün verimlilik oranı seçilmiştir. Verimliliği en düşük modelin seçilme nedeni çalışmada varsayılan santral ölçeğine yakın ölçekte faaliyet gösteren Konya'da kurulu lisanslı GES'lerin yaklaşık 19.000 MW/yıl elektrik üretmesinden dolayı bu üretim miktarının varsayımlar altında en düşük performansa sahip modüller ile yapılan üretimde gerçekleşmesidir. Modül aşınma oranları ise verimlilik oranı varsayımını oluşturan ilgili Yingli Solar modülü için sunulan garanti metninde yer alan modül performans oranlarına dayalı olarak hesaplanmıştır.

Türkiye'de ortalama fotovoltaik santral kurulum maliyetleri IRENA (2020) verisine dayalı olarak hesaplanmıştır. Çalışmada OPEX varsayımı için RENAC, IET ve IRENA (2014) tarafından hazırlanan rapordan yararlanılmış olup, OPEX içerisine giren 15. yılda meydana gelecek invertör değişimine bağlı olarak gerçekleşecek maliyet artışı varsayımında ise NREL (2015, s. 25) raporundan yararlanılmıştır. Santralin ekonomik ömrünün sonunda meydana gelecek işletmeden çıkarma maliyeti ise Weaver (2020)'in öngörüsüne dayanılarak hesaplanmıştır. Giderlerin enflasyona bağlı artışını hesaplamak için ABD doları enflasyon varsayımı olarak 2021-2025 aralığında beklenen enflasyon oranının ortalaması kullanılmış olup IMF (2020) veri tabanından elde edilmiştir.

GES'lerin geliri elektrik satışından elde edilen gelir ve yerli aksam teşviğinden oluşmaktadır. Yerli aksam teşviği 30.01.2021 tarihli Resmî Gazete'de yayımlanan ilgili mevzuatla düzenlenmiştir. Elektrik satış gelirlerinin hesaplanması için ihtiyaç duyulan ilk yıl satış fiyatının belirlenmesi hususunda EPIAŞ Şeffaflık Platformundan yararlanılmıştır.



GES yatırımlarının ekonomik analizinde kullanılan finansal parametrelerden, amortisman süresi ve oranı Gelir İdaresi Başkanlığı Amortisman Tabi İktisadi Kıymetler Listesinden alınmıştır. Ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti Damodaran Online web sayfasında yer alan veri setlerinden yararlanılarak hesaplanmıştır. Finansal parametreler altında yer alan faiz oranı verisi olarak TCMB (2020)'den alınan ABD doları ticari kredi ortalama faizi kullanılmıştır. Santral yatırımının sermaye yapısı olarak Dünya Bankası (2014) güneş enerjisi santrali kurulumuna ilişkin projede yer alan sermaye yapısı bileşimi kullanılmıştır.

GES yatırımlarının terk etme opsiyonu ile değerlendirilmesinde kullanılan dayanak varlık değeri ve volatilité verisi Monte Carlo Simülasyonu sonucunda elde edilmiştir. Reel opsiyon analizinde kullanılan risksiz faiz oranı olarak 11.05.2047 vadeli Eurobond faiz oranı kullanılmıştır.

### **3.4. Verilerin Toplanma Süreci**

#### **3.4.1. İndirgenmiş Nakit Akım Yönteminde Kullanılan Verilerin Toplanma Süreci**

##### **3.4.1.1. Güneş Işınım Tahmini**

SOLARGIS Prospect uygulamasından Zengen Köyü yakınlarındaki GES yatırımına uygun bir lokasyona ait aylık ortalama günlük küresel eğimli ışınım verisi ve 10 MW ölçeğinde bir santralde kurulu modüllerin kapladığı alan ve modüllerin en uygun yerleştirilebileceği açı elde edilmiş olup ilgili veriler Çizelge 25'te gösterilmiştir. Küresel eğimli ışınım verisinden yola çıkarak modül düzlemindeki enerji miktarı hesaplanmıştır. Yingli Solar marka modüllerin arasında verimliliği en düşük olan modülün %19,6 verimlilik oranı hesaba katıldığında santralde üretilen enerji miktarının 26.601 MW olduğu tespit edilmiştir.

**Çizelge 25. Modül Düzlemine Düşen Enerji Miktarı**

Ay	GTI (küresel eğimli ışınım) (kWh/m <sup>2</sup> /gün) *	Gün/ Ay	Aylık güneş ışınımı (kWh/m <sup>2</sup> )	Yüze düşen güneş ışınımı (MW)**
Ocak	3,449	31	107	6.916
Şubat	4,677	28	131	8.470
Mart	5,497	31	170	11.022
Nisan	6,051	30	182	11.741
Mayıs	6,532	31	202	13.097
Haziran	7,131	30	214	13.837
Temmuz	7,576	31	235	15.190
Ağustos	7,633	31	237	15.305
Eylül	7,136	30	214	13.847
Ekim	5,63	31	175	11.289
Kasım	4,449	30	133	8.633
Aralık	3,179	31	99	6.374
<b>Kurulu modüllerin toplam alanı (m<sup>2</sup>)*</b>			64.680	
<b>Fotovoltaik modüllerinin geometrisi*</b>			Azimut: 180° • Eğim: 33°	
<b>Modül düzlemindeki enerji (MW)***</b>			135.721	
<b>Üretilen enerji (MW)****</b>			26.601	

**Kaynak: Yazar tarafından hazırlanmıştır.**

\*SolarGIS Prospect uygulamasında Konya ili, Ereğli ilçesi, Zengen Köyü yakınlarında 10 MW ölçeğinde bir fotovoltaik enerji santrali için elde edilen veridir.

\*\*Aylık güneş ışınımı (kWh/m<sup>2</sup>)\*Kurulu modüllerin toplam alanı (m<sup>2</sup>)/1.000 formülü ile hesaplanmıştır.

\*\*\* Yüze düşen güneş ışınımının (MW) 12 aylık toplamı şeklinde hesaplanmıştır.

\*\*\*\* Modül düzlemindeki enerji (MW) x Modül verimlilik oranı formülü ile hesaplanmıştır.

### 3.4.1.2. GES'lerde Enerji Kayıpları ve Panellerde Aşınma

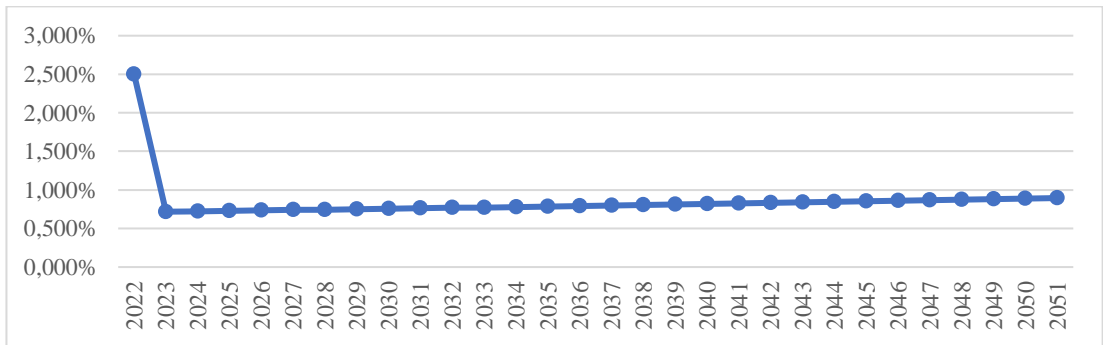
GES'lerde üretilen enerji gölgelenme, yansıma, tozlanma, kablo kayıpları ve uyumsuzluk gibi birçok faktöre bağlı olarak kayba uğramaktadır. Tezde IEA (2017)'nin Çizelge 26'da görülen enerji kayıp oranı varsayımları kullanılmış olup kayıplardan sonra şebekeye verilen enerji miktarı hesaplanmıştır. Çizelge 26'da görüldüğü üzere %21,10 oranında enerji kaybından sonra şebekeye verilen enerji miktarı 21.484 MWh/yıl olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 26. Şebekeye Verilen Elektrik Miktarının Hesaplanması**

<b>Üretilen enerji</b>	<b>MWh/yıl</b>	<b>26.601</b>
Gölgelenmeye bağlı ışınım kaybı	2%	26.069
Yansıma kaynaklı modül kaybı	3%	25.287
Tozlanma kaynaklı ışınım kaybı	2%	24.781
<b>Dizi nominal enerji</b>	<b>MWh/yıl</b>	<b>24.781</b>
Sıcaklığa bağlı modül kaybı	4,60%	23.641
Modül gölgeleme kaybı	0,50%	23.523
Işınım kaynaklı bozulmadan doğan modül güç kaybı	2%	23.053
Dizi uyumsuzluk kaybı	1%	22.822
Dizi dc kablo kayıpları	2%	22.366
<b>Maksimum güç noktasında gerçekleşen dizi dc-çıktısı</b>	<b>MWh/yıl</b>	<b>22.366</b>
Faaliyet aşamasında invertör kaybı	1,50%	22.030
Maksimum güç noktası takipçisi nedeniyle invertör kaybı	0,50%	21.920
ac-kablo kayıpları	1%	21.701
Dönüştürücü kayıpları	1%	21.484
<b>Şebekeye verilen enerji</b>	<b>MWh/yıl</b>	<b>21.484</b>

**Kaynak:** Yazar tarafından IEA (2017) varsayımlarına dayanarak hesaplanmıştır.

Modüllerin aşınma oranı santralin elektrik üretiminin hesaplanması noktasında büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada modüllerin aşınma oranı Yingli Solar marka modül performanslarının 25 yıllık verisine dayalı olarak hesaplanmış olup sonraki 5 yıllık süreçte de benzer oranlarda artacağı varsayılmıştır. Santralin 30 yıllık ekonomik ömrü boyunca modüllerde meydana gelecek aşınma oranları ise Şekil 32’de sunulmuştur.



**Şekil 32. Modüllerde Meydana Gelecek Aşınma Oranları**

### 3.4.1.3. GES Gelirlerine İlişkin Parametreler

GES’lerde toplam gelir elektrik satışından elde edilen gelir ile yerli aksam teşviğinden oluşmaktadır. Güneş enerjisine dayalı üretim tesislerinin ilk 5 yılında elde

edilecek yerli aksam teşviği olarak ilgili mevzuatta yer alan 8 Türk Lirası kuruş/kWh dikkate alınmış olup teşvik tutarı 2015-2020 dolar alış kuru ortalaması ile dönüştürülmüştür.

Türkiye’de GES’lerin desteklenmesi hususunda 30.01.2021 tarihli Cumhurbaşkanlığı kararı ile daha önce dolar üzerinden uygulanan YEKDEM fiyatı düşürülerek yerel para birimi üzerinden belirlenmiştir. Lisanslı kapasite tahsisleri için yapılan ihalelerde çoklu başvuru durumunda eksiltme yapılacağı için tarife garantisinin piyasa takas fiyatı civarında olacağı düşünülmektedir. Bu nedenle yatırımın ilk yılında elektrik satış fiyatı olarak EPIAŞ Şeffaflık Platformundan elde edilen 2015-2020 yılları arasında gerçekleşen ortalama piyasa takas fiyatı (ABD doları/MWh) kullanılmış olup sonraki yıllarda 2021-2025 yılları arasında beklenen ABD doları ortalama enflasyon oranı ölçüsünde artacağı varsayılmıştır. Yıllar içerisinde elektrik satış fiyatının belirlenmesinde YEKDEM fiyatının güncellemeye esas üst sınır değeri olan 51 \$/MWh dikkate alınmıştır.

#### **3.4.1.4. Sermaye Harcamaları (CAPEX) ve Operasyonel Harcamalar (OPEX)**

Türkiye’de 2019 yılı GES kurumlarının sermaye harcamalarına ilişkin veri IRENA (2020)’dan elde edilmiş olup araştırmada varsayılan santralin kurulacağı 2021 yılına kadar maliyetlerin IRENA maliyet veri tabanında son üç yılda Türkiye’de şebeke ölçeğinde GES kurulum maliyetinin ortalama %16 azalması üzerine yılda %16 oranında düşeceği varsayılmıştır. 2021 yılı GES kurulum maliyeti bileşenleri Çizelge 27’de detaylı olarak gösterilmektedir.

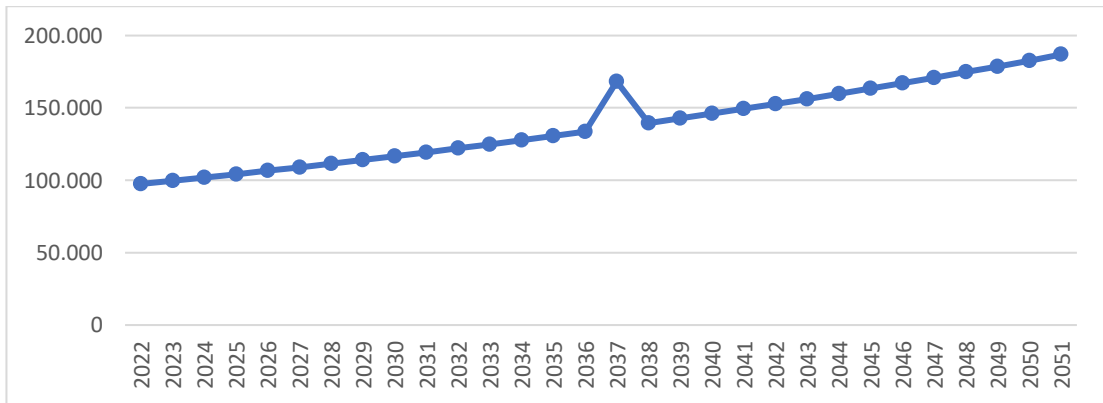
Çizelge 27’de yer alan CAPEX’lere ilaveten santralin ekonomik ömrünün sonunda işletmeden çıkarma maliyetinin olacağı varsayılmıştır. GES’lerde 2020 yılı işletmeden çıkarma maliyetini Weaver (2020) 35.000 ABD doları/MW olarak tahmin etmiştir. Ekonomik ömrün sonunda nakit çıkışı yaratacak olan işletmeden çıkarma maliyetinin 2020 yılı değerinin ABD doları enflasyon oranı beklentilerinin ortalaması kullanılarak 2051 yılındaki değeri 70.256\$/MW olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 27. Türkiye’de Şebeke Ölçeğinde Fotovoltaik Santral Kurulum Maliyetinin Bileşenleri**

		<b>Birim</b>	<b>Değer</b>
<b>Modül ve invertör</b>	Modül	\$/MW	252.981
	İnvertör	\$/MW	44.676
<b>Sistem dengeleyicileri donanımı</b>	Montaj	\$/MW	33.418
	Şebeke bağlantısı	\$/MW	31.526
	Kablo/iletim	\$/MW	18.964
	Güvenlik ve emniyet	\$/MW	6.664
	İzleme ve kontrol	\$/MW	4.265
<b>Kurulum</b>	Mekanik kurulum	\$/MW	34.964
	Elektriksel kurulum	\$/MW	22.651
	Kontrol	\$/MW	3.980
<b>Yumuşak maliyetler</b>	Marjin	\$/MW	70.147
	Finansman maliyetleri	\$/MW	43.694
	Sistem tasarımı	\$/MW	9.487
	İzin	\$/MW	42.391
	Teşvik başvurusu	\$/MW	26.365
	Müşteri edinme	\$/MW	3.723

**Kaynak: IRENA (2020) fotovoltaik enerji santrali kurulum maliyeti verisi ve kurulum maliyetlerinde yıllar bazında gerçekleşen azalma verisine dayalı olarak Yazar tarafından hesaplanmıştır.**

Çalışmada OPEX varsayımı için RENAC, IET ve IRENA (2014) tarafından hazırlanan raporda yer alan OPEX’in CAPEX’in %1,5’u olarak hesaplanacağı varsayımı ve Arizona Public Service tarafından yapılan 15. yılda invertör değişimine bağlı olarak OPEX’in CAPEX’in %0,35’i oranında artacağı varsayımı kabul edilmiştir (NREL, 2015, s. 25). GES yatırıma ilişkin hesaplanan OPEX’ler Şekil 33’te görüldüğü gibi hesaplanmış olup yıllar içerisinde OPEX’te ABD doları enflasyon oranı beklentilerinin ortalaması ölçüsünde her yıl artış olacağı öngörülmüştür.



**Şekil 33. Fotovoltaik Enerji Yatırımında OPEX**

### 3.4.1.5. Finansal Parametreler

GES yatırımlarının değerlendirilmesinde kullanılan finansal parametreler “3.5. Araştırmanın Varsayımları” başlığı altında Çizelge 29’da gösterilmiştir.

GES yatırımlarının finansmanında Dünya Bankası’nın raporunda yer alan %25 oranında özsermaye, %75 oranında ise borç sermaye kullanılacağı varsayılmış olup kredinin 10 yıl vadeli %5,76 faiz oranı ile ABD doları üzerinden kullanılacağı varsayılmıştır.

GES yatırımlarının ağırlıklı ortalama sermaye maliyetinin (AOSM) hesaplanması için öncelikle özsermaye ve borç sermaye maliyetinin hesaplanması gerekmektedir. Özsermaye maliyetinin hesaplanmasında Sermaye Varlıklarını Fiyatlama Modeli (Ross, Westerfield ve Jaffe, 2003, s.279)’nden yararlanılmış olup Denklem 10 aracılığıyla hesaplanmıştır.

$$k_e = r_f + \beta \times r_p$$
$$k_e = \%5,75 + 2,45 \times \%10,05 \quad (10)$$
$$k_e = \%30,35$$

Denklemde yer alan risksiz faiz oranı olarak 2047 vadeli US900123CM05 kodlu Eurobond’un faiz oranı kullanılmıştır. Türkiye’de faaliyet gösteren ve güneş enerjisi yatırımı yapmış şirket sayısının az olması nedeniyle bu şirketlerin hesaplanan betalarının yatırım değerlendirilmede yanıltıcı olacağı düşünülmüştür. Bu nedenle beta varsayımı Damodaran Online’da Sektörler Bazında Beta veri setinde yer alan Avrupa’da yeşil ve yenilenebilir enerji sektöründe faaliyet gösteren 49 şirketin ortalama kaldıraçsız betasının tez kapsamında değerlendirilen fotovoltaik enerji santrali yatırımının sermaye yapısına göre düzeltilmesi sonucunda hesaplanmıştır. Risk primi olarak da Damodaran Online’da Risk Primi veri setinde Türkiye için hesaplanmış olan oran %10,05 kullanılmıştır.

Özsermaye ve borç sermaye maliyetlerinin sermaye yapısı içerisindeki ağırlıkları ile ağırlıklandırılması sonucunda ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti %11,04 olarak hesaplanmıştır.

Kurumlar vergisi oranının santralin ekonomik ömrü boyunca %20 olarak uygulanacağı varsayılmıştır.

### **3.4.2. Reel Opsiyon Analizinde Kullanılan Verilerin Toplanma Süreci**

Teknolojinin hızla gelişmesi daha verimli modüllerin üretilmesine zemin hazırlamaktadır ve mevcut kurulu santrallerdeki modüllerin verimliliğinin düşük kalmasına neden olabilecektir. Gelecekte birçok GES'in düşük verimden dolayı faaliyete devam edemeyeceği düşünülerek tez kapsamında GES yatırımlarının yapılabilişliğinde terk etme reel opsiyonunun etkisi incelenmiştir.

Terk etme opsiyonunun analizinde kullanılan binom ağacı modelinin girdi parametreleri şöyledir; dayanak varlığın değeri (S), kullanım fiyatı (X), dayanak varlığın volatilitesi ( $\sigma$ ), vadeye kalan süre (T), risksiz faiz oranı (rf) ve temettü ödemeleri (b)'dir (Mun, 2006, s. 128). Çizelge 29'da belirtildiği üzere çalışma kapsamında temettü ödemeleri analize dahil edilmemiştir. Risksiz faiz oranı bilgisine de Çizelge 29'da yer verilmiştir.

#### **3.4.2.1. Dayanak Varlık Değerinin Belirlenmesi**

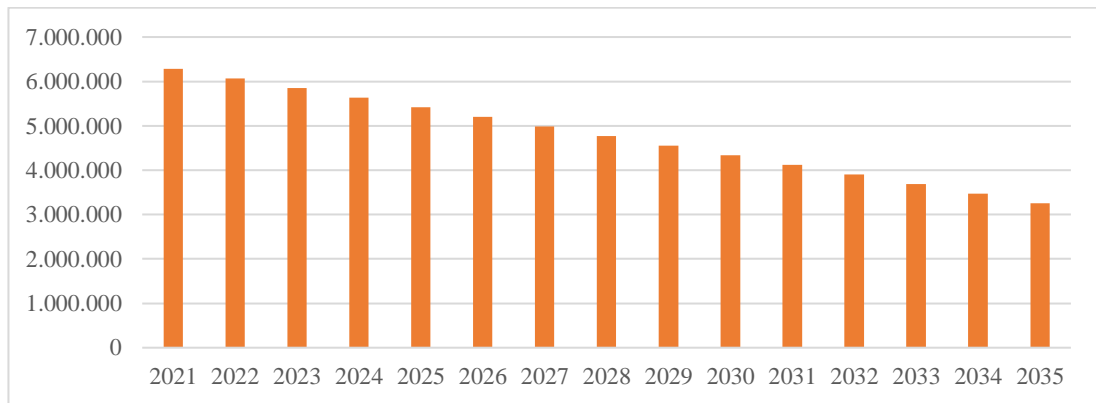
Loncar v.d. çalışmalarında rüzgâr enerjisi santrallerinin her birinin kendine özgü verimliliği, ölçeği ve daha birçok değişken parametresinin olması nedeniyle benzer bir dayanak varlığın bulunmasının neredeyse imkânsız olduğunu belirtmiştir. Loncar v.d.'nin belirttiği bu durum GES'ler için de geçerlidir. Her bir GES güneş ışıını, enerji kaybı, alınan teşvik miktarları ve çeşitli finansal parametreler bağlamında farklılaşmaktadır. Bu nedenle reel opsiyon analizinde dayanak varlığın belirlenmesi zorluğunu ortadan kaldırmak için Marketed Asset Disclaimer (MAD) yaklaşımı geliştirilmiştir. (Copeland ve Antikarov, 2003, s. 94-95, akt.Guj ve Chandra, 2019).

MAD yaklaşımı doğrultusunda Mun'un (2006, s.105) belirttiği üzere GES yatırımının indirgenmiş nakit akımı modelinden elde edilen gelecekteki nakit akımlarının bugünkü değeri, reel opsiyon modellemesinde dayanak varlık değerinin belirlenmesinde kullanılmıştır.

İndirgenmiş nakit akımı modelinden elde edilen gelecekteki nakit akımlarının bugünkü değerinin Monte Carlo simülasyonu sonucunda elde edilen ortanca değeri santralin YEKDEM desteğinden yararlandığı durumda  $BD_{P50}$  6.989.089 \$, destekten yararlanmadığı durumda ise 5.877.373 \$ olarak belirlenmiş ve reel opsiyon modellemesinde dayanak varlık değeri olarak kullanılmıştır.

### 3.4.2.2. Kullanım Fiyatının Belirlenmesi

Terk etme reel opsiyonunda dayanak varlığın kullanım fiyatı varlığın yeniden satış değeridir (Smit ve Trigeorgis, 2004, s.117). GES ekipmanlarının terk etme opsiyonunun kullanılmasıyla birlikte yeniden satılacağı değeri her yıl ilk kurulum maliyetinin eşit oranda azalacağı varsayımına dayalı olarak hesaplanmıştır. Tez kapsamında belirlenen kullanım fiyatı yıllar itibariyle Şekil 34'te gösterilmektedir.



Şekil 34. Santral Ekipmanının Yeniden Satış Değeri



### 3.4.2.3. Volatilitenin Belirlenmesi

Reel opsiyon analizinde tahmin edilmesi en zor girdi parametrelerinden biri nakit akışlarındaki volatilitedir (Mun, 2002, s. 197). Volatilitiyi tahmin etmede Getirilerin Bugünkü Değerlerinin Logaritması (The Logarithmic Present Value Returns Approach) yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşımda projenin gelecekteki tüm nakit akım tahminleri, biri projenin T-0 (batık maliyetler ihmal edilir) ve diğeri T-1 zamanları olmak üzere iki bugünkü değer toplamına indirgenir. Daha sonra bu değerler toplanır ve Denklem 11'de yer alan logaritmik oran hesaplanır. X katsayısı hesaplandıktan sonra indirgenmiş nakit akımı modeline Monte Carlo simülasyonu uygulanır. X katsayısı formülünün payı simüle edilirken paydasının sabit tutulması gerekmektedir. Monte Carlo simülasyonu sonucunda elde edilen X katsayısının dağılım tahminlerinin standart sapması reel opsiyon analizinde volatilité girdisi olarak kullanılmaktadır. Bu yaklaşımın kullanımında risksiz faiz oranının kullanımı önerilmektedir (Mun, 2006, s. 198-199).

$$X = \ln \left( \frac{\sum_{i=1}^n PVCF_i}{\sum_{i=0}^n PVCF_i} \right) \quad (11)$$
$$= \ln \left( \frac{\frac{CF_1}{(1+D)^0} + \frac{CF_2}{(1+D)^1} + \frac{CF_3}{(1+D)^2} + \dots + \frac{CF_N}{(1+D)^{N-1}}}{\frac{CF_0}{(1+D)^0} + \frac{CF_1}{(1+D)^1} + \frac{CF_2}{(1+D)^2} + \dots + \frac{CF_N}{(1+D)^N}} \right)$$

Monte Carlo Simülasyonu sonucunda YEKDEM desteğinden yararlanan durumda risksiz faiz oranının simülasyonda sabit tutulması ve tutulmaması sonucunda volatilité sırasıyla % 16,69 ve % 19,13 olarak belirlenmiştir. Destekten yararlanılmadığı durumda ise risksiz faiz oranının simülasyonda sabit tutulması ve tutulmaması sonucunda volatilité sırasıyla %17,30 ve % 18,09 olarak belirlenmiştir. Her iki durum için hesaplanan ortalama volatilité Çizelge 28'de gösterilmiştir.

**Çizelge 28. Reel Opsiyon Modellemede Kullanılan Volatilité**

	Volatilité
Yatırımda YEKDEM desteğinden yararlanan durum	% 17,91
Yatırımda destekten yararlanılmayan durum	% 17,69

### 3.5. Araştırmanın Varsayımları

Araştırmanın maliyet, gelir, elektrik üretimi ve finansal parametrelerine ilişkin varsayımlar “3.3. Veri Toplama Araç ve Teknikleri” ile “3.4. Verilerin Toplanma Süreci” başlıkları altında detaylı bir şekilde değerlendirilmiş olup Çizelge 29’da tüm varsayımlar ayrıntılı olarak sunulmuştur.

Çizelge 29. Araştırmanın Varsayımları

Maliyete İlişkin Varsayımlar:					
	Varsayım	Birim	Değer	Kaynak	Olasılık Dağılımı (min-max)
1	İlk Kurulum Maliyeti	\$/MW	649.895	IRENA (2020)	Uniform (600.000-700.000)
2	İşletmeden Çıkarma Maliyeti (2051)	\$/MW	70.256	Weaver (2020)	Uniform (65.000-75.000)
3	OPEX	\$/MW/yıl	CAPEX'in %1,5	IRENA Global Atlas	
4	OPEX artışı (t=15)	\$/MW/yıl	CAPEX'in %0,35	NREL (2015)	
Gelire İlişkin Varsayımlar:					
5	Yerli Aksam Teşviği	₺/MWh	8	Resmî Gazete	
6	Elektrik Fiyatları	\$/MWh	İlk yıl satış fiyatı için EPIAŞ Şeffaflık Platformundan elde edilen 2015-2020 yılı ortalama piyasa takas fiyatı (ABD doları/MWh) kullanılmıştır. Daha sonraki yıllarda IMF veri tabanından alınan 2021-2025 ortalama ABD doları enflasyon oranı beklentisine dayalı olarak artırılmıştır. Fiyatların belirlenmesinde 30.01.2021 tarihli Resmî Gazete’de yer alan karar gereği YEKDEM fiyatında güncellemeye esas üst sınır olan 51 \$/MWh dikkate alınmıştır.		Uniform (41,37-50,57)
Elektrik Üretimine İlişkin Varsayımlar:					
7	Modül düzlemindeki enerji	MW	135.721	SOLARGIS güneş ışınım verisine bağlı olarak hesaplanmıştır.	Normal
8	Enerji Kayıp Oranı	%	21,10	IEA (2017)	Normal
9	Modül Verimlilik Oranı	%	19,6	Yingli Solar	Normal
10	İlk Yıl Elektrik Üretim Miktarı	MWh/yıl	21.484	SOLARGIS güneş ışınım verisine bağlı olarak hesaplanmıştır.	
11	Modül Verimlilik Azalış Oranı	%	Verimlilik oranı kabul edilen modülün garanti belgesinde yer alan performans oranlarına dayalı olarak hesaplanmıştır.		Uniform

### Çizelge 29-devam

Finansal Varsayımlar:					
12	Özsermaye Oranı	%	25	Dünya Bankası (2014)	
13	Borç Oranı	%	75	Dünya Bankası (2014)	Uniform (%70-%80)
14	İskonto Oranı 1 (AOSM-NBD hesaplamasında kullanılan)	%	11,04	Damodaran Online veri setlerine dayalı olarak hesaplanmıştır.	Normal
15	İskonto Oranı 2 (Risksiz faiz oranı-Reel opsiyon analizinde kullanılan)	%	5,75	US900123CM05 (11.05.2047 Eurobond)	Normal
16	Kurumlar Vergisi Oranı	%	20	GİB (2020)	Uniform (%18-%22)
17	Amortisman Süresi	yıl	10	GİB (2020)	
18	Amortisman Oranı	%	10	GİB (2020)	
19	Faiz Oranı (ABD doları Ticari Kredi-2021)	%	5,76	TCMB (2020)	Normal
20	Borç Ödeme Süresi	yıl	10		
21	Risk Primi	%	10,05	Damodaran Online	
22	Beta (relevered)	-	2,45	Damodaran Online veri setlerine dayalı olarak hesaplanmıştır.	
23	ABD doları beklenen ortalama enflasyon oranı (2021-2025)	%	2,27	IMF (2020)	Triang (%1,8-%2,6)
24	ABD doları ortalama alış kuru (2015-2020)	₺/\$	4,48	TCMB (2020)	

#### Diğer Varsayımlar:

- 25 İşletme sermayesi ihmal edilmiştir.  
26 Hurda değer olmadığı kabul edilmiştir.  
27 Yatırım dönemi santralin ekonomik ömrü olarak varsayılan 30 yıldır.  
28 Karbon gelirleri ihmal edilmiştir.  
29 Temettü ödemeleri analize dahil edilmemiştir.

### 3.6. Verilerin Analizi

GES yatırımlarının yapılabirlik göstergelerinin analizi için toplanan veriler Microsoft Excel uygulamasında analiz edilmiştir. Yatırıma ilişkin hazırlanan finansal modelin parametrelerindeki değişikliklerin yapılabirlik göstergelerine etkisinin duyarlılık analizi ile incelenmesi ve reel opsiyon analizinde kullanılan dayanak varlık değerinin belirlenmesi ve volatilitenin tahmin edilmesi aşamasında Monte Carlo simülasyonunun gerçekleştirilmesi için @Risk yazılımından yararlanılmıştır. Santralin ekonomik ömrü boyunca meydana gelebilecek yönetimin olası karar değişikliklerinin GES yatırımlarının yapılabirliklerine etkisini değerlendiren reel opsiyon analizinde de Microsoft Excel uygulaması kullanılmıştır.

## 4. BULGULAR VE YORUMLAR

### 4.1. İndirgenmiş Nakit Akım Yöntemine Dayalı Risk Modelleme

Konya ili, Ereğli ilçesi, Zengen Köyü'nde 2021 yılında kurulacağı ve 30 yıl ekonomik ömre sahip olacağı varsayılan 10 MW ölçeğindeki santral yatırımının yapılabilirlik göstergeleri GES'lerin YEKDEM kapsamında desteklendiği durum ve santrallerin hiçbir politika aracı ile desteklenmediği durum olarak iki farklı durumda değerlendirilmiştir. GES yatırımlarının yapılabilirlik göstergeleri arasında yer alan NBD, İKO, GÖS ve İGÖS değerlerine Çizelge 30'da yer verilmiştir.

Çizelge 30'dan görülebileceği gibi GES yatırımlarının desteklendiği durumda pozitif NBD, hiçbir politika aracı ile desteklenmediği durumda ise negatif NBD hesaplanmıştır. GES yatırımının İKO'sunun desteklendiği durumda %12,16 ile ağırlıklı ortalama sermaye maliyetinden yüksek olduğu fakat desteklenmediği durumda yatırımın İKO'sunun ağırlıklı ortalama sermaye maliyetinin altında kaldığı tespit edilmiştir.

Geri ödeme süreleri ise destekten yararlanan ve yararlanılmayan durumlarda sırasıyla 7,24 ve 9,15 yıl olarak hesaplanmıştır. İndirgenmiş geri ödeme süresi destekten yararlanan durumda 18,62 yıl olarak hesaplanırken, desteksiz durumda yatırımın yapılmaması kararı sonucunda hesaplanamamıştır.

İndirgenmiş geri ödeme süresi yöntemi oldukça önemli bir yöntem olup projenin anaparasının kaç yılda geri alınacağını, kaç yıl faiz ödeneceğini ve kaç yıl kârlı çalışacağını ve projenin zaman riskini gösterir (Okka, 2015, s.333). Geri ödeme süresi ve indirgenmiş geri ödeme süresi yöntemlerinin birlikte değerlendirilmesi sonucunda yatırıma ilişkin hesaplanan ilave göstergelere yine Çizelge 30'da yer verilmiştir.

**Çizelge 30. Fotovoltaik Enerji Santrali Yatırımı Yapılabilirlik Göstergeleri**

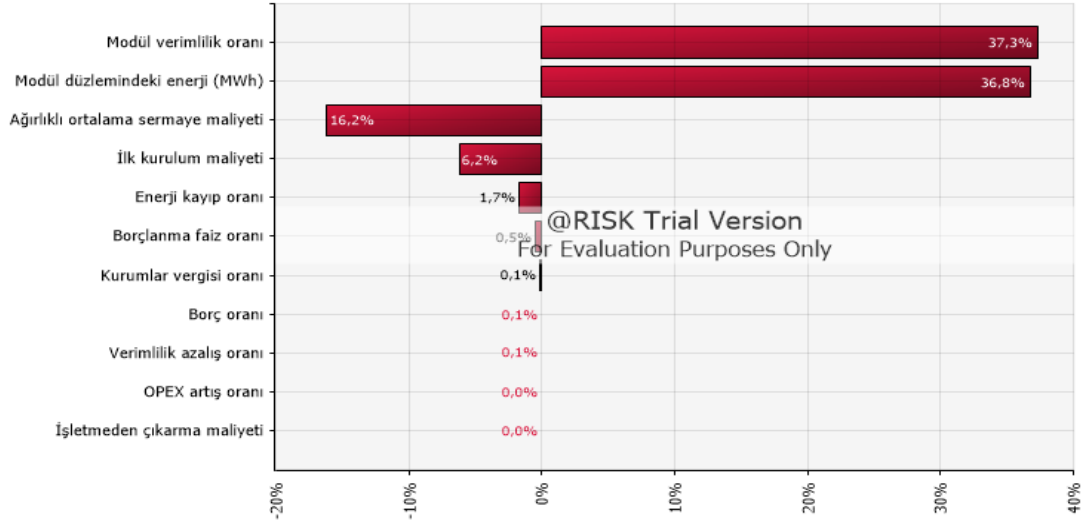
	<b>Destek Var</b>	<b>Destek Yok</b>
<b>NBD (ABD doları)</b>	496.253	-618.618
<b>İKO (%)</b>	12,16	10
<b>GÖS (yıl)</b>	7,24	9,15
<b>İGÖS (yıl)</b>	18,62	0,00
	<b>Destek Var</b>	
<b>Anapara geri alınma süresi</b>	7,24	
<b>Anapara+faizin geri alınma süresi</b>	18,62	
<b>Faizlerin geri alınma süresi</b>	11,38	
<b>Santralin kârlı çalıştığı süre</b>	11,38	
<b>Santralin zaman riski</b>	0,62	

Çizelge 30’da GES yatırımlarının desteklendiği durumda santralin anaparanın elde edilmesi için 7,24 yıl, anapara ve faizlerin geri alınabilmesi için 18,62 yıl faaliyet göstermesi gerektiği ve santralin kârlı çalıştığı sürenin ise 11,38 yıl olduğu görülmektedir.

İndirgenmiş nakit akımı modelinin Monte Carlo Simülasyonu (MCS) ile 100.000 kere denenmesi durumunda GES yatırımının  $NBD_{P50}$  değeri destekten yararlanan durumda 461.852 \$, herhangi bir destekten yararlanılmayan durumda ise -652.566 \$ olarak belirlenmiştir. MCS sonucunda elde edilen olasılık dağılımında yatırımın NBD’sinin 0’dan büyük olma olasılığı destekten yararlandığı durumda %64,1, destek olmaması durumunda ise %30,1 olarak tespit edilmiştir.

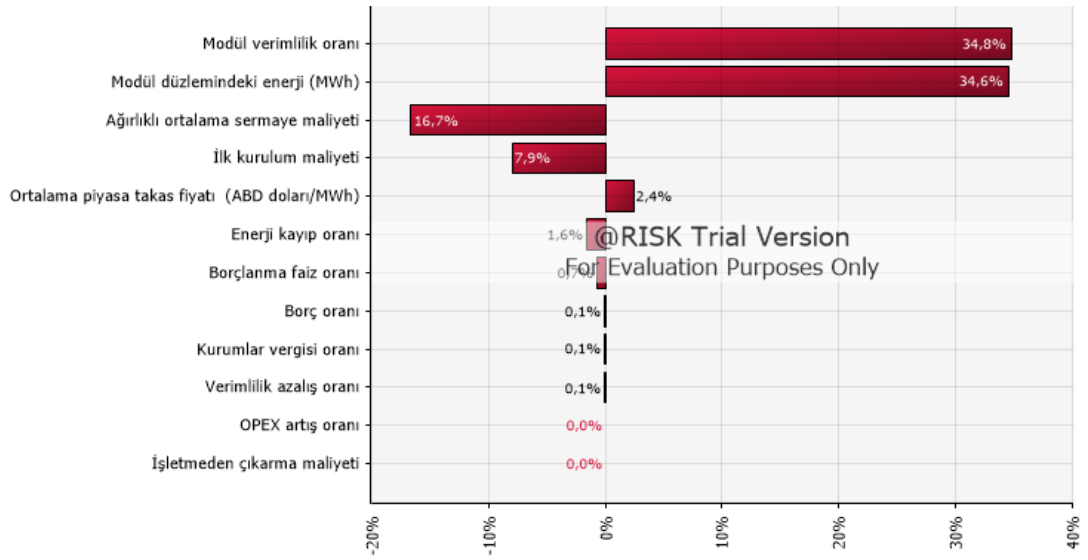
Yatırımın finansal modellemesinde yer alan ve belirsizlik içeren parametrelerin yatırımın NBD’sine etkisi duyarlılık analizi ile incelenmiş olup Şekil 35 ve Şekil 36’da destek olması ve olmaması durumlarında MCS ile elde edilen duyarlılık analizi sonuçlarına yer verilmiştir.

GES yatırımının desteklendiği finansal modelde de destekten yararlanılmadığı varsayımı üzerine kurulan finansal modelde de yatırımın net bugünkü değerini etkileyen en önemli üç parametrenin üretim parametrelerinden modül verimlilik oranı ve enerji miktarı ile finansal parametrelerden iskonto oranı olarak kullanılan ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuç Şen, Tunç ve Özilhan (2013)’in çalışmasında elde edilen GES yatırımlarında lokasyon ve panel verimliliğinin önemli kriterler olduğu sonucunu destekler niteliktedir.



**Şekil 35. GES Yatırımının Desteklenmesi Durumunda Duyarlılık Analizi Sonuçları**

Şekil 35’te yer alan GES yatırımının desteklendiği durumda duyarlılık analizi sonuçları incelendiğinde yatırımın net bugünkü değerini en çok etkileyen parametreler sırasıyla %37,3 ile modül verimlilik oranı, %36,8 ile modül düzlemindeki enerji, %16,2 ile ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti, %6,2 ile ilk kurulum maliyeti, %1,7 ile enerji kayıp oranı, %0,5 ile borçlanma faiz oranıdır. Modül verimlilik oranı ile modül düzlemindeki enerji miktarı net bugünkü değeri pozitif duyarlılıkla etkilerken diğer parametreler negatif duyarlılıkla etkilemektedir.



**Şekil 36. GES Yatırımında Destek Olmaması Durumunda Duyarlılık Analizi Sonuçları**

Şekil 36’da yer alan GES yatırımının desteklenmediği durumda duyarlılık analizi sonuçları incelendiğinde yatırımın net bugünkü değerini en çok etkileyen parametreler sırasıyla %34,8 ile modül verimlilik oranı, %34,6 ile modül düzlemindeki enerji, %16,7 ile ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti, %7,9 ile ilk kurulum maliyeti, %2,4 ile elektrik satış fiyatı olarak kabul edilen ortalama piyasa takas fiyatı, %1,6 ile enerji kayıp oranı, %0,7 ile borçlanma faiz oranıdır. Modül verimlilik oranı, modül düzlemindeki enerji miktarı ve enerji satış fiyatı net bugünkü değeri pozitif duyarlılıkla etkilerken diğer parametreler negatif duyarlılıkla etkilemektedir.

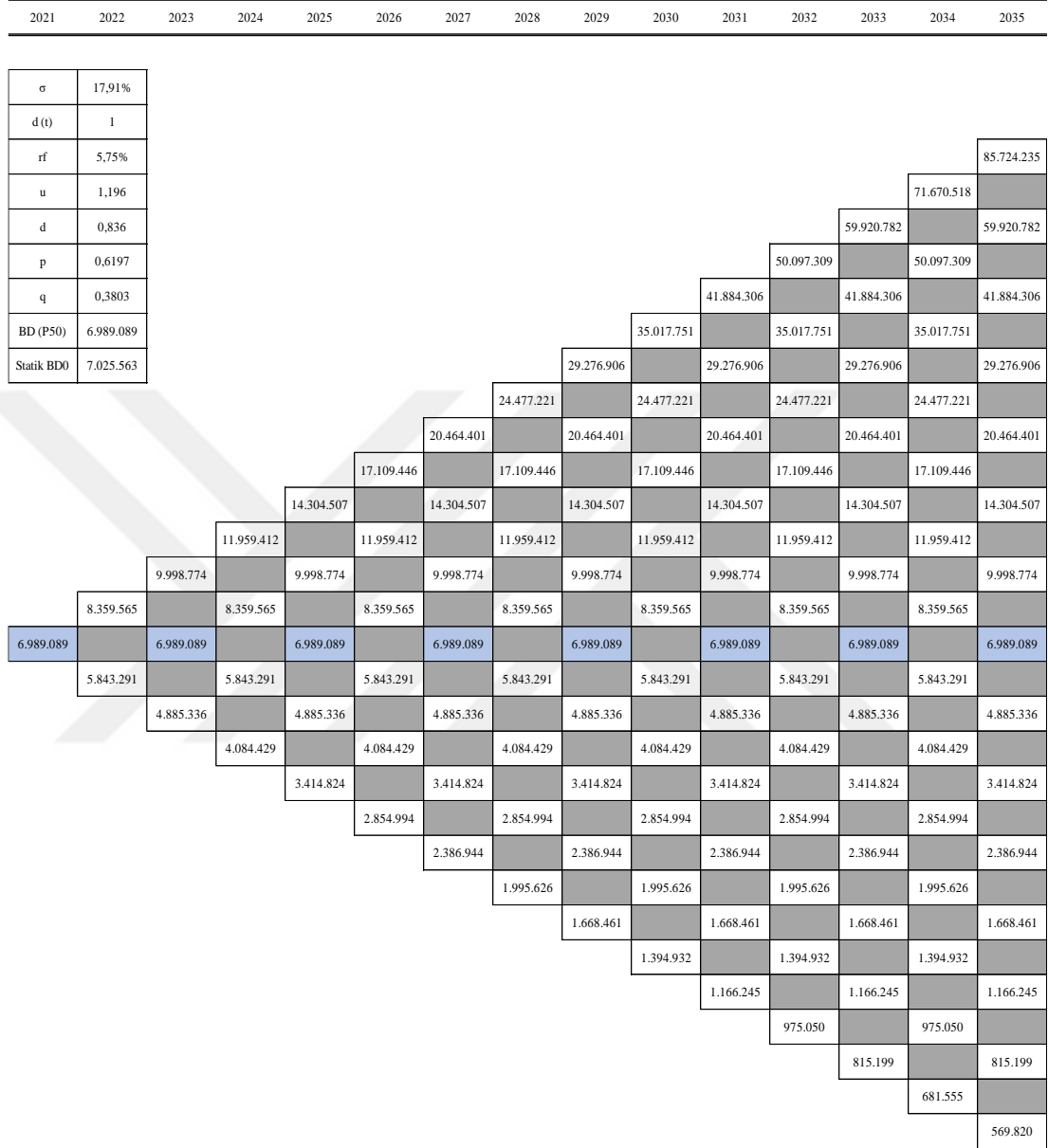
## **4.2. Reel Opsiyon Analizi**

Kurulu santrallerde kullanılan modüllerin verimliliği yaşanan hızlı teknolojik değişimler nedeniyle gelecekte düşük kalabilecek olup kurulu santrallerin üretime devam etmesinin ekonomik açıdan anlamlı olamayabileceği söz konusudur. Bu bağlamda tez kapsamında yaşanacak hızlı teknolojik gelişmeler nedeniyle GES yatırımlarını terk etme opsiyonunun projenin kabulüne etkisi değerlendirilmiştir. Reel opsiyon analizinde binom ağaçları yönteminde risk-nötral değerlendirme ilkesinin temel alındığı (Cox ve Rubinstein, 1985) yaklaşım kullanılmıştır. Terk etme reel opsiyonu analizi sonuçları yatırımda destekten yararlanan durum ve destekten yararlanılmayan durum olmak üzere iki farklı durumda değerlendirilmiştir.

### **4.2.1. GES Yatırımında Destekten Yararlanılan Durumda Terk Etme Opsiyonu Analizi**

Reel opsiyon analizinde kullanılan binom ağacı yönteminin ilk aşaması olan aşağı ve yukarı faktörlerine dayalı olarak oluşturulan dayanak varlığın değerinin binom ağacı Şekil 37’de görülmektedir. Yukarı faktörü 1,196 ve aşağı faktörü 0,836 olarak hesaplanmıştır. Dayanak varlığın değerinin yukarı faktörü ile çarpılması sonucunda 8.359.565 \$ elde edilirken, aşağı faktörü ile çarpılması sonucunda 5.843.291 \$ elde edilmiştir. Nakit akımlarının kümülatif bugünkü değeri 15. Yıla kadar reel opsiyon kullanılmadan diğer bir ifadeyle yönetsel karar esnekliğinin etkisi

değerlendirilmeden ve maliyetler hesaba katılmadan 569.820 \$ ile 85.724.235 \$ arasında değişeceği Şekil 37’de yer alan dayanak varlık ağacında görülmektedir.



Şekil 37. Yatırımın Desteklendiği Durumda Terk Etme Opsiyonu (Dayanak Varlık Ağacı)

Binom ağacı yönteminin ikinci aşamasında geriye doğru hesaplama yöntemi kullanılarak opsiyon değerlendirme ağacı oluşturulmuş olup destekten yararlanan durumda terk etme opsiyonuna ilişkin oluşturulan değerlendirme ağacı Şekil 38’de gösterilmiştir.





teknolojik değişimler nedeniyle yatırımı terk etmesi esnekliğinin sağlanması yatırımın statik değerinden daha yüksek bir değere sahip olmasına neden olmuştur. Yönetimin karar esnekliği olmadan yatırımın  $NBD_{P50}$ 'si 461.852 ABD doları iken reel opsiyon ile NBD'nin stratejik değeri (GNBD) artmıştır.

$$\begin{aligned}GNBD &= NBD_{P50} + RO \\ &= 461.852 + 206.676 \\ &= 668.528 \$\end{aligned}$$

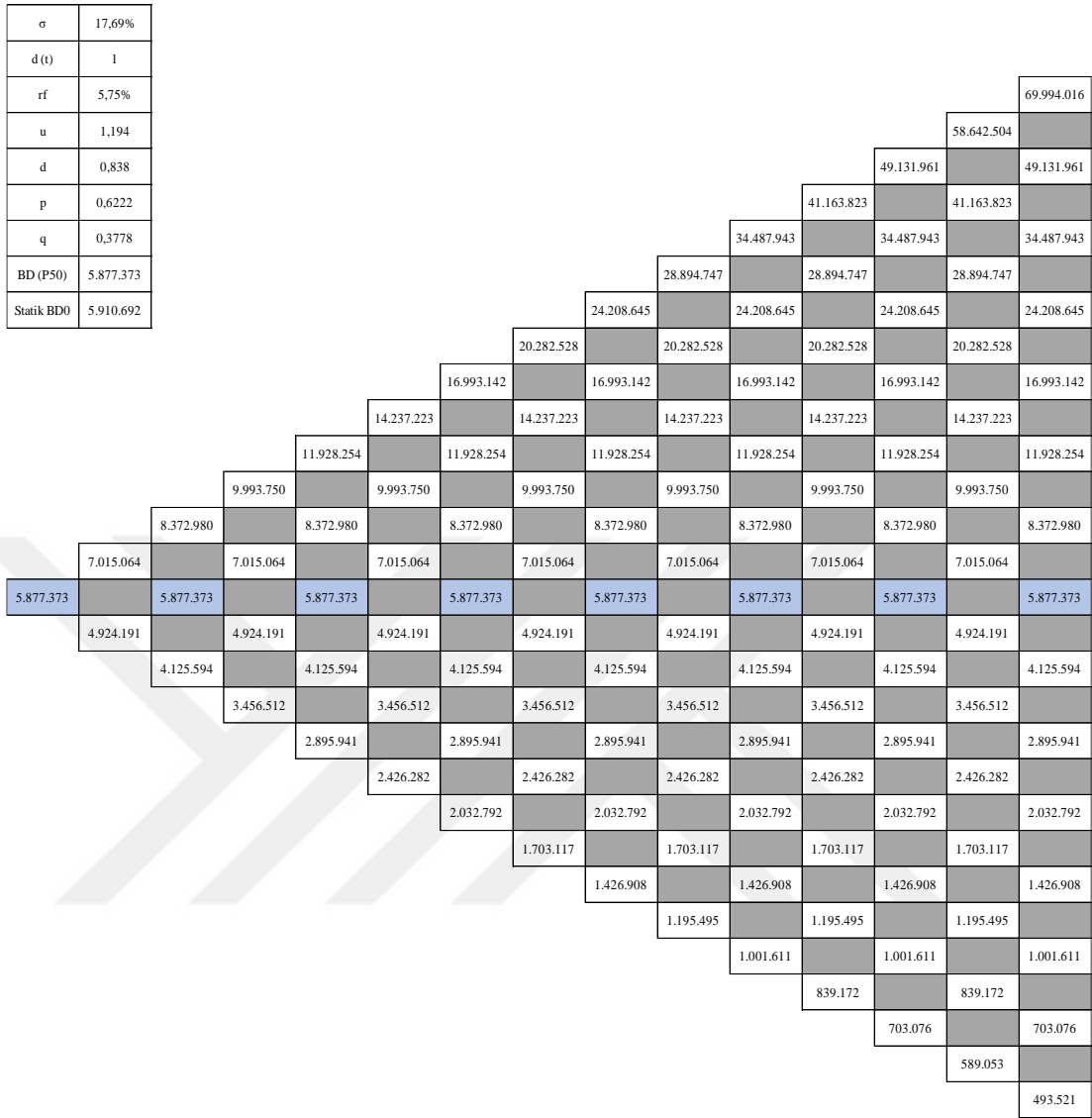
Yönetimin karar esnekliğinin etkisi ile yatırımın değeri de 7.195.765 \$'a yükselmiştir.

$$\begin{aligned}BD_{P50} + RO &= 6.989.089 + 206.676 \\ &= 7.195.765 \$\end{aligned}$$

#### **4.2.2. GES Yatırımının Desteklenmediği Durumda Terk Etme Opsiyonu Analizi**

Reel opsiyon analizinde kullanılan binom ağacı yönteminin ilk aşaması olan aşığı ve yukarı faktörlerine dayalı olarak oluşturulan dayanak varlığın değerinin binom ağacı Şekil 39'da görölmektedir. Yukarı faktörü 1,194 ve aşığı faktörü 0,838 olarak hesaplanmıştır. Dayanak varlığın değerinin yukarı faktörü ile çarpılması sonucunda 7.015.064 \$ elde edilirken, aşığı faktörü ile çarpılması sonucunda 4.924.191 \$'a ulaşılmaktadır.

2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------



**Şekil 39. Yatırımın Desteksiz Yapıldığı Durumda Terk Etme Opsiyonu (Dayanak Varlık Ağacı)**

Binom ağacı yönteminin ikinci aşamasında geriye doğru hesaplama yöntemi kullanılarak opsiyon değerlendirme ağacı oluşturulmuş olup yatırımda destekten yararlanılan durumda terk etme opsiyonuna ilişkin oluşturulan değerlendirme ağacı Şekil 40'ta gösterilmiştir.



karar esnekliği olmadan yatırımın  $NBD_{P50}$ 'si -652.566 iken reel opsiyon ile NBD'nin stratejik değeri artmıştır. Terk etme opsiyonu yatırımın yapılmaması kararını değiştirme üzerinde etkili olamasa da kaybı sınırlandırma noktasında önemli bir araç olmuştur.

$$\begin{aligned}GNBD &= NBD_{P50} + RO \\ &= -652.566 + 574.069 \\ &= -78.497 \$\end{aligned}$$

Yönetimin karar esnekliğinin etkisi ile yatırımın değeri de 6.451.442 ABD dolarına yükselmiştir.

$$\begin{aligned}BD_{P50} + RO &= 5.877.373 + 574.069 \\ &= 6.451.442 \$\end{aligned}$$

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuç

Türkiye’de enerji ithalatından kaynaklanan yüksek cari açığın kapanması enerjide dışa bağımlılığın azaltılmasıyla, enerjide dışa bağımlılığın azaltılabilmesi ise Türkiye’nin yenilenebilir enerji yatırımlarına gereken önemi vermesi ve yenilenebilir enerji yatırımlarını cazip hale getirebilmesiyle mümkün olabilecektir. Güneşin yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji çeşitlerinin büyük bir bölümünün ana kaynağı olduğu düşünüldüğünde güneş enerjisi yatırımları toplumların geleceği açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada Konya ili, Ereğli ilçesi, Zengen Köyü yakınlarında 10 MW ölçeğinde 2021 yılında yapılması planlanan bir GES yatırımının ekonomik analizine yer verilmiştir. Yatırımların ekonomik açıdan yapılabilirliği indirgenmiş nakit akımları ve reel opsiyon yönteminden yararlanılarak değerlendirilmiştir.

GES yatırımlarının santralin ekonomik ömrü boyunca gerçekleşecek serbest nakit akımları kullanılarak Net Bugünkü Değer (NBD), İç Kârlılık Oranı (İKO), Geri Ödeme Süresi (GÖS) ve İndirgenmiş Geri Ödeme Süresi (İGÖS) yapılabilirlik göstergeleri hesaplanmıştır. GES yatırımı YEKDEM desteğinin olduğu durum ve santrallerin hiçbir politika aracı ile desteklenmediği durum olmak üzere iki farklı durumda değerlendirilmiştir.

GES yatırımlarında destekten yararlanan durumda pozitif NBD ve ağırlıklı ortalama sermaye maliyetinden yüksek İKO hesaplanırken, destekten yararlanılmayan durumda negatif NBD ve düşük İKO hesaplanmıştır. Geri ödeme süreleri ise destekten yararlanan ve yararlanılmayan durumlarda sırasıyla 7,24 ve 9,15 yıl olarak hesaplanmıştır. İndirgenmiş geri ödeme süresi destekten yararlanan durumda 18,62 yıl olarak hesaplanırken, desteksiz durumda yatırımın yapılmaması kararı sonucunda indirgenmiş geri ödeme süresi hesaplanamamıştır. İndirgenmiş nakit akımı modelinin

MCS ile 100.000 kere denenmesi durumunda elde edilen olasılık dağılımında yatırımın NBD'sinin 0'dan büyük olma olasılığı destekten yararlanıldığı durumda %64,1, destek olmaması durumunda ise %30,1 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar Türkiye'de GES yatırımlarının destekleyici mekanizmalara ihtiyaç duyduğunu göstermektedir.

GES yatırımlarını etkileyen unsurlardan biri GES ekipmanlarının üretiminde yaşanan hızlı teknolojik değişimden dolayı kurulu GES'lerin gelecekte verimsiz olması sonucunda santrallerin faaliyetlerine devam edemeyeceği endişesidir. Böyle bir durumda yönetimin yatırımı terk etme karar esnekliğinin yatırımın değeri üzerindeki etkisi incelenmelidir. Bu bağlamda sermaye bütçelemede önemli bir araç olan reel opsiyon yönteminden yararlanılmıştır. Yatırımın 14. yılında takip edilen yılda invertör değişiminden kaynaklı artan işletme ve bakım giderlerine katlanmadan terk edilmesi kararının yatırımın değeri üzerindeki etkisi reel opsiyon yöntemi ile incelenmiştir.

Proje değerlemede geleneksel indirgenmiş nakit akım yönteminin tek başına kullanılması enerji yatırımları gibi yönetimsel karar esnekliğine duyarlı stratejik projeler için uygun değildir. Reel opsiyon değerlemesi, yönetimsel karar esnekliğine duyarlı projelerde stratejik yatırım kararlarının alınmasında önemli bir araçtır. Reel opsiyon yöntemi yönetimsel karar esnekliklerinin değerini NBD ile birleştirerek yatırımın değerlemesi noktasında daha doğru sonuçlara ulaşmaktadır.

Reel opsiyon analizinde binom ağaçları yönteminde risk-nötral değerlendirme ilkesinin temel alındığı yaklaşım kullanılmıştır. GES yatırımlarının reel opsiyon ile değerlemesinde dayanak varlık olarak kullanılacak benzer risk ve getiri profiline sahip bir varlığın belirlenmesi santrallerin güneş ışınımı, enerji kaybı, alınan teşvik miktarları ve çeşitli finansal parametreler bağlamında farklılaşması nedeniyle neredeyse imkansızdır. Bu nedenle reel opsiyon analizinde dayanak varlığın belirlenmesinde Marketed Asset Disclaimer (MAD) yaklaşımından yararlanılmıştır. Bu yaklaşım doğrultusunda GES yatırımının indirgenmiş nakit akımı modelinden elde edilen gelecekteki nakit akımlarının bugünkü değeri, reel opsiyon modellemesinde dayanak varlık değerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Terk etme opsiyonunun kullanılmasıyla birlikte santral ekipmanlarının satılacağı değer ilk kurulum maliyetinin her yıl eşit oranda azalacağı varsayımına dayalı olarak hesaplanmıştır. Volatilitenin tahmin edilmesinde ise Getirilerin Bugünkü Değerlerinin Logaritması (The Logarithmic Present Value Returns Approach) yaklaşımı kullanılmıştır.

GES yatırımının destekten yararlandığı durumda yönetimin karar esnekliği olmadan yatırımın MCS ile elde edilen  $NBD_{P50}$ 'si 461.852 \$ iken reel opsiyon ile NBD'nin stratejik değeri artarak 668.528 \$'a yükselmiştir. Ayrıca yönetimin karar esnekliğinin etkisi ile yatırımın değeri de 6.989.089 \$'dan 7.195.765 \$'a yükselmiştir.

GES yatırımının herhangi bir destekten yararlanmadığı durumda yönetimin karar esnekliği olmadan yatırımın MCS ile elde edilen  $NBD_{P50}$ 'si -652.566 \$ iken reel opsiyon ile NBD'nin stratejik değeri artarak -78.497 \$ rakamına ulaşsa da yine de NBD'nin negatif olması terk etme opsiyonunun yatırımın yapılmaması gerektiği sonucunu değiştirmede etkili olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Terk etme opsiyonu yatırımın yapılmaması kararını değiştirme üzerinde etkili olamasa da kaybı sınırlandırma noktasında önemli bir araç olmuştur. Yönetimin karar esnekliğinin etkisi ile yatırımın değeri de 5.877.373 \$'dan 6.451.442 \$'a yükselmiştir.

İndirgenmiş nakit akımı ve reel opsiyon yöntemi ile yapılan analiz sonuçlarına göre GES yatırımlarının politika mekanizmaları ile desteklenmesi durumunda yatırımların yapılabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Enerji yatırımlarının yapılması noktasında çeşitli desteklerin sunulması yatırımcıların bu sektöre olan ilgisini artıracak ve Türkiye yüksek güneş enerjisi potansiyeline rağmen yıllarca geri planda kaldığı güneş enerjisi piyasasında sürdürülebilir kalıcılık sağlayabilecektir. Türkiye'nin güneş enerjisi piyasasında ön planda olması ülkenin yeşil bir geleceğinin olması ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri arasında yer alan herkes için erişilebilir, güvenli ve sürdürülebilir enerjinin sağlanması hedefine ulaşması noktasında büyük önem arz etmektedir.

## 5.2. Öneriler

Türkiye'de yenilenebilir enerji yatırımlarının maliyet verisine erişim sıkıntısı yaşanmış olup, bu verinin tutulması yatırımların değerlendirilmesi noktasında elzemdir. Bu hususta yenilenebilir enerji yatırımlarının bölge, kaynak ve ölçek bazında maliyet verilerinin ulaşılabilir olması için gerekli çalışmalar yapılmalıdır. Bu durum bundan sonra yapılacak benzer çalışmalar için büyük destek sağlayacaktır.



Yenilenebilir enerji kaynakları ve yatırımına ilişkin mevzuat incelendiğinde çok sık değişiklik yapıldığı görülmekte ve bu durumun ülkede yatırım ortamının belirsizliğini artırdığı düşünölmektedir. Ülkenin geleceğinde büyük bir role sahip yenilenebilir enerji yatırımlarının yapılması hususunda sık mevzuat değişikliklerinin olumsuz etkisi göz önünde bulundurularak değişikliğe gidilmelidir.

GES yatırımlarının önündeki en büyük engel finansman problemidir. Bu nedenle Türkiye’de GES yatırımlarının artmasında finansman alternatiflerinin geliştirilmesi oldukça önemlidir. GES yatırımlarının finansmanında kitlesel fonlama seçeneği önemli bir alternatiftir ve Türkiye’de kitlesel fonlama sistemi yatırımcılara tanıtılmalı ve mevzuat açısından kapsamlı bir düzenlemeye gidilmelidir.

Yenilenebilir enerji tüketimi noktasında toplumsal farkındalığın artırılması da yenilenebilir enerji santral yatırımlarını teşvik edecektir. Bu nedenle GES yatırımlarının artması için toplumsal tercihler yenilenebilir enerjiye yönlendirilmelidir.

İlerleyen çalışmalarda farklı reel opsiyon türleri ile olası karar değişikliklerinin GES yatırımlarının yapılabilirliği üzerindeki etkisi incelenebilir.

## KAYNAKÇA

- Abadie, L. M., and Chamorro, J. M. (2014). Valuation of wind energy projects: A real options approach. *Energies*, 7(5), 3218-3255.
- Adaramola, M. (2015). Feasibility of grid-connected solar pv energy system: A case study in Nigeria. In M. Adaramola (Ed.), *Solar energy: Application, economics, and public perception* (pp. 123-139). Canada: Apple Academic Press, Inc.
- Adjaoud, F., Charfi, D., and Chourou, L. (2011). Corporate governance and investment decisions. In H. Kent Baker, & P. English (Eds.), *Capital budgeting valuation financial analysis for today's investment projects* (pp. 37-55). Canada: JohnWiley & Sons, Inc.
- Adner, R., and Levinthal, D. A. (2004). What is not a real option: Considering boundaries for the application of real options to business strategy. *Academy of management review*, 29(1), 74-85.
- Agar, C. (2005). *Capital investment & financing a practical guide to financial evaluation*. Elsevier.
- Agaton, C. B., and Karl, H. (2018). A real options approach to renewable electricity generation in the Philippines. *Energy, Sustainability and Society*, 8(1), 1-9.
- Aguilar, L. (2015). *Feasibility study of developing large scale solar pv project in Ghana: An economical analysis*. Master's Thesis. Sweden: Chalmers University Of Technology, Sustainable Energy Systems,
- Aksu, M. (2019). Yenilenebilir enerji yatırımlarının finansmanında kitlesel fonlama modeli: Türkiye ve Almanya karşılaştırması. *ICOAEF VI International Conference on Applied Economics and Finance & Extended With Social Sciences*, November 16-17, 2019, Balıkesir: Bandırma Onyeddi Eylül Üniversitesi, ss. 116-130.
- Aldali, Y., and Ahwide, F. (2013). Evaluation of A 50MW Two-Axis Tracking Photovoltaic Power Plant for AL-Jagbob, Libya: energetic, economic, and environmental impact analysis. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 7(12), 811-815.
- Al-Soud, M. S., and Alsafasfeh, Q. H. (2015). Economical evaluation for various renewable energy products in Jordan. *The Sixth International Renewable Energy Congress (IREC2015) Tunisia*, pp. 1-4.
- Arnold, T. (2014). *A Pragmatic guide to real options*. New York: Palgrave Macmillan.
- Arnold, T., and Nixon, T. (2011). Alternative methods of evaluating capital investments. In H. Kent Baker, & P. English (Eds.), *Capital budgeting*

*valuation financial analysis for today's investment projects*, (pp. 79-94). Canada: JohnWiley & Sons, Inc.

- Assereto, M., and Byrne, J. (2021). No real option for solar in Ireland: A real option valuation of utility scale solar investment in Ireland. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143, 110892.
- Audenaert, A., De Boeck, L., De Cleyn, S., Lizin, S., and Adam, J. F. (2010). An economic evaluation of photovoltaic grid connected systems (PVGCS) in Flanders for companies: A generic model. *Renewable Energy*, 35(12), 2674-2682.
- Awerbuch, S. (2000). Investing in photovoltaics: risk, accounting and the value of new technology. *Energy Policy*, 28, 1023-1035.
- Ayodele, O. O. (2016). *Project finance model in renewable energy projects*. Vaasa University, Applied Sciences, Degree Programme in International Business.
- Azuela, G. E., and Barroso, L. A. (2012). *Design and performance of policy instruments to promote the development of renewable energy: Emerging experience in selected developing countries*. World Bank Study, Washington, D.C.
- Balibrea-Iniesta, J. (2020). Economic analysis of renewable energy regulation in France: A case study for photovoltaic plants based on real options. *Energies*, 13(11), 2760.
- Batı, O. (2014). Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilir kalkınmaya etkisi konusunda bir alan araştırması. *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 16(2), 27-38.
- Bayazıtlı, E., Özdemir, F. ve Çolak, A. (2015). Risk sermayesi yatırımı ve rüzgâr enerjisi sektöründe örnek olay incelemesi. *Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8(3), 83-100.
- Baykuş, (2019). <https://www.avrupagazete.co.uk/ekonomi/turkiye-de-yenilenebilir-enerji-yatirimi-icin-yuksek-istah-h289426.html>. [Erişim Tarihi: 20.02.2021].
- Bazilian, M., Onyeji, I., Liebreich, M., MacGill, I., Chase, J., Shah, J., Gielen, D., Arent, D., Landfear, D., and Zhengrong, S. (2013). Re-considering the economics of photovoltaic power. *Renewable Energy*, 53, 329-338.
- Beck, F. and Martinot, E. (2004). Renewable energy policies and barriers. In Cutler Cleveland. *Forthcoming in Encyclopedia of Energy*, (1-22), Academic Press/Elsevier Science.
- Belleflamme, P., Lambert, T., and Schwienbacher, A. (2013). Crowdfunding: tapping the right crowd. *Journal of Business Venturing*, 29(5), 585-609.
- Beninga, S. (2008). *Financial modelling* (3rd ed). England: The MIT Press.
- Bigoni, G. (2018). *Impact of risks on investment in solar photovoltaic: A power plant investment analysis*. Doctoral Dissertation, Reykjavík: University of Iceland, School of Social Sciences.
- Bilir, H. (2012). *Enerji yatırım projelerinin değerlendirilmesinde reel opsiyon yaklaşımı*. Doktora Tezi, Ankara: Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.

- Biondi, T., and Moretto, M. (2015). Solar grid parity dynamics in Italy: A real option approach. *Energy*, 80, 293-302.
- Black, F., and Scholes, M. (1973). The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy*, 81(3), 637–654.
- Block, S. (2007). Are ‘real options’ actually used in the real world?. *The Engineering Economist*, 52(3), 255–267.
- Boomsma, T. K., Meade, N., and Fleten, S. E. (2012). Renewable energy investments under different support schemes: A real options approach. *European Journal of Operational Research*, 220(1), 225-237.
- Botterud, A. and Korpås, M. (2004). Modelling of power generation investment incentives under uncertainty in liberalised electricity markets. *Proceedings of the Sixth IAEE European Conference*.
- BP Energy Outlook Edition & BP Energy Outlook-2019-data-pack (2019 Edition) <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2019.pdf> (Erişim Tarihi: 23.02.2021).
- BP Statistical Review of World Energy (2018). 67th Edition. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf> (Erişim Tarihi: 23.02.2021).
- Brach, M. T. (2003). *Real Options in Practice*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Brennan, M. J., and Schwartz, E. S. (1985). Evaluating natural resource investments. *The Journal of Business*, 58 (2),135–157.
- Bustos, F., Toledo, A., Contreras, J., and Fuentes, A. (2016). Sensitivity analysis of a photovoltaic solar plant in Chile. *Renewable Energy*, 87, 145-153.
- Candelise, C. (2016). Smart Financing and Empowerment: The use of crowdfunding in the energy sector, *The 57th Annual Conference for Italian Economic Association*, Italy: Italian Economic Association
- Cárdenas Rodríguez, M., Hascic, I., Johnstone, N., Silva, J., and Ferey, A. (2015). Renewable energy policies and private sector investment: Evidence from financial microdata. *environmental and resource economics*, *Dordrecht*, 62(1).
- Cebeci, S. (2017). *Türkiye’de güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyelinin değerlendirilmesi*. Ankara: T.C. Kalkınma Bakanlığı Uzmanlık Tezi.
- Chambers, N. (2009). *Firma değerlemesi*, İstanbul: Beta Yayınları.
- Chandel, M., Agrawal, G. D., Mathur, S., and Mathur, A. (2014). Techno-economic analysis of solar photovoltaic power plant for garment zone of Jaipur city. *Case Studies in Thermal Engineering*, 2, 1-7.
- Climate Bonds Initiative (2018). Bonds and climate change the state of the market. [https://www.climatebonds.net/files/reports/cbi\\_sotm\\_2018\\_final\\_01k-web.pdf](https://www.climatebonds.net/files/reports/cbi_sotm_2018_final_01k-web.pdf) (Erişim Tarihi: 03.05.2020).
- Climate Bonds Initiative (2019). ASEAN green finance state of the market. [https://www.climatebonds.net/files/reports/cbi\\_asean\\_sotm\\_2019\\_final.pdf](https://www.climatebonds.net/files/reports/cbi_asean_sotm_2019_final.pdf) (Erişim Tarihi: 03.05.2020).

- Climate Bonds Initiative (2020). 2019 Green bond market summary. [https://www.climatebonds.net/files/reports/2019\\_annual\\_highlights-final.pdf](https://www.climatebonds.net/files/reports/2019_annual_highlights-final.pdf) (Erişim Tarihi: 03.05.2020).
- Copeland, T., and Antikarov, V. (2003). *Real options: a practitioner's guide*. Texere, New York.
- Couture, T. D., Cory, K., Kreycik, C., and Williams, E. (2010). Policymaker's guide to feed-in tariff policy design (No. NREL/TP-6A2-44849). National Renewable Energy Lab.(NREL).
- Cox, J. C., and Rubinstein, M. (1985). *Options markets*. Prentice Hall.
- Cox, J. C., Ross, S. A., and Rubinstein, M. (1979). Option Pricing: A Simplified Approach. *Journal of Financial Economics*, 7, 229-263.
- Crowdfundres (2018). Crowdfunding renewable energy-a practical guide for crowdfunding platforms, project developers, investors and policy makers. No: 646435. [http://www.crowdfundres.eu/wp-content/uploads/2018/02/Crowdfunding-Renewable-Energy\\_protected.pdf](http://www.crowdfundres.eu/wp-content/uploads/2018/02/Crowdfunding-Renewable-Energy_protected.pdf). (Erişim Tarihi: 10.05.2021).
- Çakmak, M. (2018). *İdare hukuku açısından yenilenebilir enerji*. Seçkin Yayınevi.
- Çelikkaya, A. (2017). Yenilenebilir enerjinin teşvikine yönelik uluslararası kamu politikaları üzerine bir inceleme. *Maliye Dergisi*, 172, 52-84.
- Dale, M. (2013). A comparative analysis of energy costs of photovoltaic, solar thermal, and wind electricity generation technologies. *Applied Sciences*, 3(2), 325-337.
- Damodaran Online,  
[http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New\\_Home\\_Page/datacurrent.html](http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datacurrent.html)  
(Erişim Tarihi: 10.01.2021).
- Darling, S. B., You, F., Veselka, T., and Velosa, A. (2011). Assumptions and the levelized cost of energy for photovoltaics. *Energy & Environmental Science*, 4(9), 3133–3139.
- De Jong, P., and Torres, E. A. (2014). Economic analysis of renewable energy generation technologies in the Northeast of Brazil. *Proceedings of International Conference on Future Environment and Energy*, Melbourne.
- De Mare, G., Manganeli, B., and Nesticò, A. (2013). The economic evaluation of investments in the energy sector: a model for the optimization of the scenario analyses. *International Conference on Computational Science and Its Applications*, pp. 359-374, Berlin: Springer.
- Detert, N., and Kotani, K. (2013). Real options approach to renewable energy investments in Mongolia. *Energy Policy*, 56, 136-150.
- Dinçer, F. (2011). The analysis on photovoltaic electricity generation status, potential and policies of the leading countries in solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 713-720.
- Dixit, A. K., and Pindyck, R. S. (1994). *Investment under uncertainty*. New Jersey: Princeton University Press.
- Doğanay, H. ve Coşkun, O. (2017). *Enerji kaynakları*. Ankara: Pegem Akademi.

- Dünya Bankası. (2014). Sindh solar energy project (P159712). <http://pubdocs.worldbank.org/en/115591526379293210/PAD-Annex-P159712-Economic-Financial-Analysis.pdf> (Erişim Tarihi: 10.01.2021).
- Ediger, V. Ş., Kirkil, G., Çelebi, E., Ucal, M. Ş., Çin, Ç. K. (2016). Türkiye toplumunun enerji tercihleri araştırması. Kadir Has Üniversitesi.
- Ediger, V. Ş., Kirkil, G., Çelebi, E., Ucal, M. Ş., Çin, Ç. K. (2017). Türkiye toplumunun enerji tercihleri araştırması. Kadir Has Üniversitesi.
- Ediger, V. Ş., Kirkil, G., Çelebi, E., Ucal, M. Ş., Çin, Ç. K. (2018). Türkiye toplumunun enerji tercihleri araştırması. Kadir Has Üniversitesi.
- Ediger, V. Ş., Kirkil, G., Çelebi, E., Ucal, M. Ş., Çin, Ç. K. (2019). Türkiye toplumunun enerji tercihleri araştırması. Kadir Has Üniversitesi.
- EL-Shimy M., Abdelraheem M.A., and Said M. (2017). detailed techno-economic analysis of solar-pv projects – Egypt case studies. In: EL-Shimy M. (Ed.) *Economics of variable renewable sources for electric power production*. Germany: Lambert Academic Publishing.
- El-Shimy, M. (2009). Viability analysis of PV power plants in Egypt. *Renewable Energy*, 34(10), 2187-2196.
- Enerji Verimliliği Kanunu (2007). T.C. Resmî Gazete, 26510, 02.05.2007.
- EPDK (2020). Doğal Gaz Piyasası 2019 Yılı Sektör Raporu. Ankara.
- EPIA (2010). Unlocking the Sunbelt potential of photovoltaics. <https://www.scribd.com/document/42021306/EPIA-Unlocking-the-Sunbelt-Potential-of-Photovoltaics-v2> (Erişim Tarihi: 10.05.2021).
- EPIAŞ Şeffaflık Platformu (2020). <https://seffalik.epias.com.tr/transparency/uretim/lisansli-santral-yatirimlari.xhtml> (Erişim Tarihi: 31.12.2020)
- EPIAŞ Şeffaflık Platformu (2021). <https://seffalik.epias.com.tr/transparency/uretim/yekdem/kurulu-guc.xhtml> (Erişim Tarihi: 27.04.2021).
- Ertuğrul, M., and Saldı, M.H. (2020). Return on investment analysis of unlicensed solar energy projects in Turkey, *Business&Management Studies: An International Journal*, 8(1), 903-923.
- Ertürk, M. (2011). *Economic analysis of wind and solar energy sources of Turkey*. Master of Arts. Austin: The University of Texas at Austin, Faculty of the Graduate School.
- European Commission (2013). Guidance for the design of renewables support schemes. [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/com\\_2013\\_public\\_intervention\\_swd04\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/com_2013_public_intervention_swd04_en.pdf). (Erişim Tarihi: 21.02.2021).
- Eurostat, [https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=t2020\\_rd320&language=en](https://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=t2020_rd320&language=en) (Erişim Tarihi: 03.12.2020).
- ExxonMobil Outlook for Energy (2019). [https://corporate.exxonmobil.com/-/media/Global/Files/outlook-for-energy/2019-Outlook-for-Energy\\_v4.pdf](https://corporate.exxonmobil.com/-/media/Global/Files/outlook-for-energy/2019-Outlook-for-Energy_v4.pdf) (Erişim Tarihi: 02.01.2021).

- Ernst&Young (2013). Renewable energy country attractiveness index, Issue 38, August 2013.
- Ernst&Young (2014). Renewable energy country attractiveness index, Issue 41, June 2014.
- Ernst&Young (2014). Renewable energy country attractiveness index, Issue 42, September 2014.
- Ernst&Young (2015). Renewable energy country attractiveness index, Issue 43, March 2015.
- Ernst&Young (2015). Renewable energy country attractiveness index, Issue 44, June 2015.
- Ernst&Young (2018). Renewable energy country attractiveness index, Issue 51, May 2018.
- Ernst&Young (2018). Renewable energy country attractiveness index, Issue 52, November 2018.
- Ernst&Young (2019). Renewable energy country attractiveness index, Issue 53, May 2019.
- Ernst&Young (2019). Renewable energy country attractiveness index, Issue 54, November 2019.
- Ernst&Young (2020). Renewable energy country attractiveness index, Issue 55, May 2020.
- Ernst&Young (2020). Renewable energy country attractiveness index, Issue 56, November 2020.
- Ficht, A. (2006). *Introduction to project finance*. 1st Edition. Elsevier.
- Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF (2019). Global Trends in Renewable Energy Investment 2019, <https://www.unep.org/resources/report/global-trends-renewable-energy-investment-2019>. (Erişim Tarihi: 10.05.2021).
- Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF. 2020. Global Trends in Renewable Energy Investment 2020. <https://www.fs-unep-centre.org/global-trends-in-renewable-energy-investment-2020>. (Erişim Tarihi: 10.05.2021).
- Gazheli, A., and van den Bergh, J. (2018). Real options analysis of investment in solar vs. wind energy: Diversification strategies under uncertain prices and costs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2693-2704.
- Gevorkian, P. (2012). *Large-scale solar power systems-construction and economics*. USA: Cambridge University Press,
- GİB (2020). [https://www.gib.gov.tr/sites/default/files/fileadmin/user\\_upload/Yararli\\_Bilgi\\_ler/amortisman\\_oranlari.pdf](https://www.gib.gov.tr/sites/default/files/fileadmin/user_upload/Yararli_Bilgi_ler/amortisman_oranlari.pdf). (Erişim Tarihi: 13.12.2020)
- Gowrisankaran, G., Reynolds, S. S., and Samano, M. (2011). *Intermittency and the value of renewable energy*. NBER Working Paper No. 17086.
- Guaita-Pradas, I., Ruiz, L.M., and Soucase, B.M. (2014). Capital budgeting for renewable energy plants.

- [https://ineer2014.rtu.lv/sites/default/files/Paper\\_130.pdf](https://ineer2014.rtu.lv/sites/default/files/Paper_130.pdf). (Erişim Tarihi: 23.12.2020).
- Guaita-Pradas, I., Soucase, B. M., and Aka, B. (2015). Energy production and financial analysis of photovoltaic energy plants in Ivory Coast. *Afrique Science*, 11(2), 24-34.
- GÜNDER (2016). *Güneş enerjisi için finansman modelleri* (1. Baskı). Ankara: Dumat Ofset Matbaacılık.
- Hacıbebekoğlu, M., Yiğitbaşı, G. O ve Çetinel, S. (2011). Güneş enerjisi santrali yatırım fizibilitesi. [https://www.karacadag.gov.tr/Dokuman/Dosya/www.karacadag.org.tr\\_266\\_DU1X25DN\\_gunes\\_enerjisi\\_santrali.pdf](https://www.karacadag.gov.tr/Dokuman/Dosya/www.karacadag.org.tr_266_DU1X25DN_gunes_enerjisi_santrali.pdf). (Erişim tarihi: 10.05.2021).
- Haley, U. C., and Schuler, D. A. (2011). Government policy and firm strategy in the solar photovoltaic industry. *California Management Review*, 54(1), 17-38.
- Harris, T. R. (2017). Incorporating risk in analysis of tax policies for solar power investments. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 7(6), 112-118.
- Hernández-Moro, J., and Martinez-Duart, J. M. (2013). Analytical model for solar PV and CSP electricity costs: Present LCOE values and their future evolution. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 119-132.
- Higham, D.J. (2004). *An Introduction to Financial Option Valuation-Mathematics, Stochastics and Computation*. USA: Cambridge University Press.
- IEA (2005), *Energy Statistics Manual*. [https://iea.blob.core.windows.net/assets/dbc69ca6-bbbe-4fde-8cfa-81e4abe02b8b/statistics\\_manual.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/dbc69ca6-bbbe-4fde-8cfa-81e4abe02b8b/statistics_manual.pdf) (Erişim Tarihi: 10.05.2021).
- IEA (2017). *Technical assumptions used in pv financial models-review of current practices and recommendations*. International Energy Agency Report IEA-PVPS T13-08:2017.
- IEA (2020). *Trends in photovoltaic applications report*. IEA PVPS T1-38:2020.
- IFC (2015). *Utility-Scale Solar Photovoltaic Power Plants A Project Developer's Guide*. [https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/a1b3dbd3-983e-4ee3-a67b-cdc29ef900cb/IFC+Solar+Report\\_Web+\\_08+05.pdf?MOD=AJPERES&CVI D=kZePDPG](https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/a1b3dbd3-983e-4ee3-a67b-cdc29ef900cb/IFC+Solar+Report_Web+_08+05.pdf?MOD=AJPERES&CVI D=kZePDPG). (Erişim Tarihi: 10.05.2021).
- IMF (2020). *World Economic Outlook Database*. <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/weo-database/2020/October>. (Erişim Tarihi: 13.12.2020).
- IRENA (2012). *Renewable energy technologies: cost analysis series / solar photovoltaics*. Issue: 4/5, International Renewable Energy Agency.
- IRENA (2019) *Towards 100% Renewable Energy: Status, Trends And Lessons Learned*. [https://coalition.irena.org/-/media/Files/IRENA/Coalition-for-Action/IRENA\\_Coalition\\_100percentRE\\_2019.pdf](https://coalition.irena.org/-/media/Files/IRENA/Coalition-for-Action/IRENA_Coalition_100percentRE_2019.pdf). (Erişim Tarihi: 10.05.2021).



- IRENA (2019a), *Future of solar photovoltaic: deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (a global energy transformation: paper)*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA (2020). *Renewable power generation costs in 2019*. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA (2021) *Renewable Capacity Statistics 2021*; & IRENA (2020), *Renewable Energy Statistics 2020*. The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- IRENA, IEA and REN21 (2018). *Renewable energy policies in a time of transition*. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA\\_IEA\\_REN21\\_Policies\\_2018.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Apr/IRENA_IEA_REN21_Policies_2018.pdf). (Erişim Tarihi: 10.05.2021).
- Işıkpınar, S. (2018). Uzun vadeli bir yatırım alternatifi: Ak Portföy Birinci Girişim Sermayesi Yatırım Fonu. *Kurumsal Yatırımcı*, Temmuz, 28-30.
- Jacobs, D., and Sovacool, B. K. (2012). Feed-in tariffs and other support mechanisms for solar PV promotion. In: *Comprehensive Renewable Energy*. Elsevier Science, pp. 73-109. ISBN 9780080878720.
- Jamil, M., Kirmani, S., and Rizwan, M. (2012). Techno-economic feasibility analysis of solar photovoltaic power generation: A review. *Smart Grid and Renewable Energy*, 3, 266-274.
- Jeon, C., Lee, J., and Shin, J. (2015). Optimal subsidy estimation method using system dynamics and the real option model: Photovoltaic technology case. *Applied Energy*, 142, 33-43.
- Kandır, S. Y. ve Yakar, S. (2017). Yenilenebilir enerji yatırımları için yeni bir finansal araç: yeşil tahviller. *Maliye Dergisi*, 172, 85-110.
- Kandır, S. Y. ve Yakar, S. (2017a). Yeşil tahvil piyasaları: Türkiye’de yeşil tahvil piyasasının geliştirilebilmesi için öneriler. *Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 26(2), 159-175.
- Kapucugil İkiz, A. ve Deveci Kocakoç, İ. (2009). Bilişim Teknolojisi Projelerinde Reel Opsiyonlar. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 11(4), 17-51.
- Karagöl, E. T ve Kavaz, İ. (2017). *Dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji*. <https://setav.org/assets/uploads/2017/04/YenilenebilirEnerji.pdf>. (Erişim Tarihi: 10.05.2021).
- Kılıç, F. Ç. (2015). Güneş enerjisi, Türkiye’deki son durumu ve üretim teknolojileri. *Mühendis ve Makina*, 56(671), ss. 28-40.
- Kim, E., and Kim, M. (2013). Evaluating economic feasibility of solar power generation under the RPS system using the real option pricing method: comparison between regulated and non-regulated power providers. *Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers*, 26(9), 690-700.
- Kodukula, P., and Papudesu, C. (2006). *Project valuation using real options a practitioner’s guide*. USA: J. Ross Publishing.

- Koller, T., Goedhart, M., and Wessels, D. (2020). *Valuation: Measuring and managing the value of companies (Seventh Edition)*. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc.
- Koy, A. (2020). *Türev Piyasalar-Emtia Türevleri, Opsiyonlar, Vadeli İşlem Sözleşmeleri, Swaplar*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Kulichenko, N., and Wirth, J. (2011). *Regulatory and financial incentives for scaling up concentrating solar power in developing countries*. Paper No: 24, World Bank.
- Kumbaroğlu, G., Madlener, R., and Demirel, M. (2008). A real options evaluation model for the diffusion prospects of new renewable power generation technologies. *Energy Economics*, 30(4), 1882-1908.
- Kumbur, H., Özer, Z., Özsoy, H. D. ve Avcı, E. D. (2005). Türkiye’de geleneksel ve yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli ve çevresel etkilerinin karşılaştırılması. *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*. Mersin.
- Lee, S. C. (2011). Using real option analysis for highly uncertain technology investments: The case of wind energy technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4443-4450.
- Lee, S. C., and Shih, L. H. (2010). Renewable energy policy evaluation using real option model: The case of Taiwan. *Energy Economics*, 32, 67-78.
- Li, Y., Yang, W., Tian, L., and Yang, J. (2018). An evaluation of investment in a PV power generation project in the Gobi desert using a real options model. *Energies*, 11(1), 257.
- Lin, B., and Wesseh Jr, P. K. (2013). Valuing Chinese feed-in tariffs program for solar power generation: A real options analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 474-482.
- Livatyalı, H. ve Yıldırım, T. (2012). Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi teknolojisindeki gelişmeler. *Mühendis ve Makine*, 53 (633), 16-20.
- Loncar, D., Milovanovic, I., Rakic, B., and Radjenovic, T. (2017). Compound real options valuation of renewable energy projects: The case of a wind farm in Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 354-367.
- Lu, B., Ma, X. and Feng, C. (2015). Theory and Model of Energy Investment and Financing. In J. Yan (Ed.), *Handbook of Clean Energy Systems*, (pp. 1-23), John Wiley & Sons.
- Mahmud, N. (2013). Modeling and economic analysis of grid connected solar photovoltaic system in Bangladesh. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 6(4), 1452-1463.
- Margolis, R., and Zuboy, J. (2006). *Nontechnical barriers to solar energy use: review of recent literature*. Technical Report NREL/TP-520-40116.
- Martínez-Ceseña, E. A. (2012). *Real options theory applied to renewable energy generation projects planning*. Doctoral Dissertation, Manchester: University of Manchester, School of Electrical and Electronic Engineering.

- Martínez-Ceseña, E. A., and Mutale, J. (2011). Application of an advanced real options approach for renewable energy generation projects planning. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4), 2087-2094.
- Martínez-Ceseña, E. A., Azzopardi, B., and Mutale, J. (2013). Assessment of domestic photovoltaic systems based on real options theory. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 21(2), 250-262.
- Mendonça, M., Jacobs, D., and Sovacool, B. K. (2010). *Powering the green economy: The feed-in tariff handbook*. Earthscan.
- Mendonça, M. (2007). *Feed-in tariffs accelerating the deployment of renewable energy*. London: Earthscan.
- Mondal, M. A. H., and Islam, A. S. (2010). Techno-economic feasibility of grid connected solar PV system in Bangladesh. *1st International Conference on the Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET)*, pp. 1-4.
- Mondal, M. A. H., and Islam, A. S. (2011). Potential and viability of grid-connected solar PV system in Bangladesh. *Renewable Energy*, 36(6), 1869-1874.
- Mondol, J. D., Yohanis, Y. G., and Norton, B. (2009). Optimising the economic viability of grid-connected photovoltaic systems. *Applied Energy*, 86, 985-999.
- Mun, J. (2002). *Real options analysis: Tools and techniques for valuing strategic investments and decisions*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Mun, J. (2006). *Real option analysis tools and techniques for valuing strategic investments and decisions (Second Edition)*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Muneer, W., Bhattacharya, K., and Canizares, C. A. (2011). Large-scale solar PV investment models, tools, and analysis: The Ontario case. *IEEE Transactions on Power Systems*, 26(4), 2547-2555.
- Myers, S. C., and Majd, S. (1983). Calculating Abandonment Value Using Option Pricing Theory. *Sloan School of Management Working Paper, first draft*. May.
- Neville, R. C. (1995). *Solar energy conversion-The solar cell* (Second Edition). The Netherlands: Elsevier Science.
- NREL (2015). Best practices in PV system operations and maintenance, Version 1.0. Subcontract Report: NREL/SR-6A20-63235
- Oduntan, A. R. (2007). *Real options and asset valuation in competitive energy markets*. Thesis Doctor of Philosophy. Canada: University of Waterloo, Management Sciences.
- OECD (2015). New approaches to SME and entrepreneurship financing: Broadening the range of instruments. <https://www.oecd.org/cfe/smes/New-Approaches-SME-full-report.pdf>. (Erişim Tarihi: 10.05.2021).
- Okka, O. (2015). *Finansal yönetim* (6. Basım). Bursa: Nobel Yayıncılık.
- On Birinci Kalkınma Planı. (2019-2023). Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı.
- Orta Karadeniz Kalkınma Ajansı Çorum Yatırım Destek Ofisi. (2018). Yenilenebilir Enerji Yatırımları Bilgi Notu.

<http://www.investcorum.com/Documents/yenilenebilir-enerji-yatirimlari-16.pdf> (Erişim Tarihi: 10.01.2021).

- Özcan, O., and Ersöz, F. (2019). Project and cost-based evaluation of solar energy performance in three different geographical regions of Turkey: Investment analysis application. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 22(4), 1098-1106.
- Öztürk, İ. (2014). *Energy dependency and energy security: The role of energy efficiency and renewable energy sources*. International Growth Center Working Paper, E-37113-PAK-1.
- Pan, J., Tian, L., and Shan, H. (2016). The valuation of photovoltaic power generation based on real options. *International Journal of Nonlinear Science*, 21(1), 31-36.
- Peters, L. (2016). *Real options illustrated*. Switzerland: Springer.
- Polzin, F., Egli, F., Steffen, B., and Schmidt, T. S. (2019). How do policies mobilize private finance for renewable energy? A systematic review with an investor perspective. *Applied Energy*. 1249-1268.
- Rehman, S., Bader, M. A., and Al-Moallem, S. A. (2007). Cost of solar energy generated using PV panels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(8), 1843-1857.
- REN21 (2019). *Renewables 2019 Global Status Report*. [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr\\_2019\\_full\\_report\\_en.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf). (Erişim Tarihi: 10.05.2021).
- REN21 (2020). *Renewables 2020 Global Status Report*. [https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr\\_2020\\_full\\_report\\_en.pdf](https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf). (Erişim Tarihi: 10.05.2021).
- RENAC, IET and IRENA (2014). *Economic assessment of pv and wind for energy planning*. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Events/2014/Jul/15/15\\_Economic\\_assessment\\_of\\_PV\\_and\\_wind\\_for\\_energy\\_planning\\_Arusha\\_Tanzania.pdf?la=en&hash=ED061A535145DD86023F615866220C220B601FFC](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Events/2014/Jul/15/15_Economic_assessment_of_PV_and_wind_for_energy_planning_Arusha_Tanzania.pdf?la=en&hash=ED061A535145DD86023F615866220C220B601FFC). (Erişim Tarihi: 10.05.2021).
- RES4MED (2018). [https://www.res4med.org/wp-content/uploads/2018/11/Project-Finance-Egypt\\_FINAL\\_WEB\\_VERSION-2.pdf](https://www.res4med.org/wp-content/uploads/2018/11/Project-Finance-Egypt_FINAL_WEB_VERSION-2.pdf). (Erişim Tarihi: 10.01.2021).
- Ritter, K., and Black-Layne, D. (2013). Crowdfunding for climate change a new source of finance for climate action at the local level?" *European Capacity Building Initiative*. <http://tinyurl.com/von-ritter-black-layne-2013>. (Erişim Tarihi: 24.11.2019).
- Ross, S. A., Westerfield, R. W., and Jaffe, J. (2003). *Corporate finance* (Sixth Edition). McGraw-Hill Companies
- Safarov, S. (2009). *Yatırım projelerinin değerlendirilmesinde reel opsiyon yöntemi ve enerji sektöründe bir uygulama*. Yüksek Lisans Tezi, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.

- Sargsyan, G., Bhatia, M., Banerjee, S. G., Raghunathan, K., and Soni, R. (2011). *Unleashing the potential of renewable energy in India*. Washington: The World Bank.
- Sarzynski, A., Larrieu, J., and Shrimali, G. (2012). The impact of state financial incentives on market deployment of solar technology. *Energy Policy*, 46, 550-557.
- Sevim, C. (2019). *Enerji teknolojileri ve enerji yatırım projeleri*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- SHURA Enerji Dönüşümü Merkezi (2019). *Türkiye’de Enerji Dönüşümünün Finansmanı*. [https://www.shura.org.tr/wp-content/uploads/2019/10/Turkiyede\\_Enerji\\_Donusumunun\\_Finansmani.pdf](https://www.shura.org.tr/wp-content/uploads/2019/10/Turkiyede_Enerji_Donusumunun_Finansmani.pdf) (Erişim Tarihi: 10.05.2021).
- Sipahi, B., Yanık, S. ve Aytürk, Y. (2016). *Şirket değerlendirme yaklaşımları ilkeler-yöntemler-uygulamala*. (İkinci Baskı). Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Smil, V. (1991). *General energetics: energy in the biosphere and civilization*. Wiley-Interscience.
- Smit, H. T., and Trigeorgis, L. (2004). *Strategic investment real options and games*. New Jersey: Princeton University Press
- SOLARGIS Prospect. [apps.solargis.com/prospect](https://apps.solargis.com/prospect) (Erişim Tarihi: 01.10.2020).
- SolarPower Europe (2018). Operation & Maintenance Best Practices Guidelines/Version 3.0. [https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2019/08/3218\\_SPE\\_OM\\_report\\_version\\_3.0.07\\_mr\\_linked.pdf?cf\\_id=27228](https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2019/08/3218_SPE_OM_report_version_3.0.07_mr_linked.pdf?cf_id=27228). [Erişim Tarihi: 21.02.2021].
- SPK Girişim Sermayesi Yatırım Fonlarına İlişkin Esaslar Tebliği (III-52.4).
- Sumathi, S., Kumar, L. A., and Surekha, P. (2015). Solar PV and wind energy conversion systems, an introduction to theory, modeling with MATLAB/SIMULINK, and the Role of Soft Computing Techniques, 65-66.
- Şen, D., Tunç, M., and Özilhan, T. (2013). Investment analysis of a new solar power plant. *International Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 2(6), 229-241.
- Şen, Z. (2008). *Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques-Atmosphere, Environment, Climate Change and Renewable Energy*. London: Springer.
- Şenpınar, A. (2005). *Bağımsız güneş pili sistemlerinin bilgisayar ile kontrolü*. Doktora Tezi. Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Talavera, D. L., Nofuentes, G., and Aguilera, J. (2010). The internal rate of return of photovoltaic grid-connected systems: A comprehensive sensitivity analysis. *Renewable Energy*, 35(1), 101-111.
- TCMB (2020). Elektronik Veri Dağıtım Sistemi. Ankara: Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası. <https://evds2.tcmb.gov.tr/index.php?/evds/serieMarket> (Erişim Tarihi: 13.12.2020).
- TEİAŞ (2020). Türkiye Elektrik Üretim-İletim İstatistikleri. <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri> (Erişim Tarihi: 25.12.2020).

- TEİAŞ (2021). Nisan Ayı Kurulu Güç Raporu, <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari>. (Erişim Tarihi: 17.05.2021).
- Tekin, Z. (2014). *Sermaye bütçelemesinde geleneksel yöntemlere alternatif olarak reel opsiyonlar yöntemi*. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- The Electric Power Research Institute (2010). *Addressing solar photovoltaic operations and maintenance challenges-a survey of current knowledge and practices*. [https://assets.fiercemarkets.net/public/smartgridnews/1021496AddressingPVOaMChallenges7-2010\\_1\\_.pdf](https://assets.fiercemarkets.net/public/smartgridnews/1021496AddressingPVOaMChallenges7-2010_1_.pdf). (Erişim Tarihi: 10.05.2021).
- Tian, L., Pan, J., Du, R., Li, W., Zhen, Z., and Qibing, G. (2017). The valuation of photovoltaic power generation under carbon market linkage based on real options. *Applied energy*, 201, 354-362.
- Timilsina, G. R., Kurdgelashvili, L., and Narbel, P. A. (2011). *A review of solar energy: markets, economics and policies*. The World Bank Policy Research Working Paper No: 5845.
- Timilsina, G., and Kurdgelashvili, L. (2017). The evolution of solar energy technologies and supporting policies. In Barney Warf (Ed.) *Handbook on Geographies of Technology*, (pp.362-388). Edward Elgar Publishing.
- TMMOB Makina Mühendisleri Odası (2020). Türkiye'nin enerji görünümü 2020 Sunumu, Mayıs. <https://enerji.mmo.org.tr/wp-content/uploads/2020/05/TurkiyeEnerjiSorunumuSunumu2020.pdf>. (Erişim Tarihi: 10.05.2021).
- Toptaş, B. (2016). *Rüzgâr enerjisi santrali (RES) yatırımlarının değerlemesinde reel opsiyon yaklaşımı ve örnek bir uygulama*. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir: Balıkesir Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- TSKB (2020). <http://www.tskb.com.tr/tr/kurumsal-bankacilik/proje-finansmani> (Erişim Tarihi, 01.05.2020).
- TÜBA (2018). TÜBA-Güneş Enerjisi Teknolojileri Raporu. Türkiye Bilimler Akademisi Yayınları, TÜBA Raporları No: 26.
- U.S. Energy Information Administration (2020). Capital Cost and Performance Characteristic Estimates for Utility Scale Electric Power Generating Technologies. [https://www.eia.gov/analysis/studies/powerplants/capitalcost/pdf/capital\\_cost\\_AEO2020.pdf](https://www.eia.gov/analysis/studies/powerplants/capitalcost/pdf/capital_cost_AEO2020.pdf). (Erişim Tarihi: 10.05.2021).
- Uluatam, E. (2010). Yenilenebilir enerji teşvikleri. <https://www.tobb.org.tr/AvrupaBirligiDairesi/Dokumanlar/Raporlar/YenilenebilirEnerjiTevsikleri.pdf>. (Erişim Tarihi: 26.04.2020).
- Ulusoy, A. ve Daştan, C. B. (2018). Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik vergisel teşviklerin değerlendirilmesi. *Hak İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*, 7(17), 123-160.
- Valmala, R. (2017). *Project finance: financing of a photovoltaic plant of 750 kW*. Master's Thesis, Madrid: Comillas Pontifical University, ICADE Business School.

- Vasileiadou, E., Huijben, J.C.C.M., and Raven, R.P.J.M. (2016), Three is a crowd? exploring the potential of crowdfunding for renewable energy in the Netherlands. *Journal of Cleaner Production*, 128:142-155.
- Venetsanos, K., Angelopoulou, P., and Tsoutsos, T. (2002). Renewable energy sources project appraisal under uncertainty: the case of wind energy exploitation within a changing energy market environment. *Energy Policy*, 30(4), 293-307.
- Vezmar, S., Spajić, A., Topić, D., Šljivac, D., and Jozsa, L. (2014). Positive and negative impacts of renewable energy sources. *International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems*, 5(2), 47-55.
- Vintilă, N. (2007). Real options in capital budgeting. Pricing the option to delay and the option to abandon a project. *Theoretical and Applied Economics*, 7(512), 47-58.
- Weaver, J. F. (2020). <https://commercialsolarguy.com/2020/03/20/what-to-do-with-old-solar-panels/>. (Erişim tarihi: 10.01.2021).
- WEC Solar (2016). <https://www.worldenergy.org/assets/images/imported/2016/10/World-Energy-Resources-Full-report-2016.10.03.pdf> [Erişim Tarihi:22.02.2021]
- Weida, S., Kumar, S., and Madlener, R. (2016). Financial viability of grid-connected solar PV and wind power systems in Germany. *1st Energy Economics Iberian Conference*.
- World Bank Commodity Price Data (The Pink Sheet). <https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets> [Erişim Tarihi: 03.12.2020]
- Yamamoto, Y. (2018). *Feed-in tariffs and the economics of renewable energy*. Switzerland: Springer International Publishing
- Yanıktepe, B., Kara, O., and Özalp, C. (2017). The global solar radiation estimation and analysis of solar energy: Case study for Osmaniye, Turkey. *International Journal of Green Energy*, 14(9), 765-773.
- Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> [Erişim Tarihi: 18.12.2018]
- Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/> [Erişim Tarihi:08.04.2020]
- Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanı Yönetmeliği (2016). T.C. Resmî Gazete, 29852, 09.10.2016.
- Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Dayalı Elektrik Üretim Tesisleri İçin Uygulanacak Fiyatlar ve Süreler ile Fiyatların Güncellenmesine İlişkin Ekli Kararın Yürürlüğe Konulmasına Dair Karar (2021). T.C. Resmî Gazete, 31380, 30.01.2021.
- Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Dayalı Üretim Faaliyeti Gösteren Tesisler İçin Uygulanacak Fiyat ve Süreler ile Yerli Katkı İlavesine İlişkin Kararın Yürürlüğe Konulması Hakkında Karar (2013). T.C. Resmî Gazete, 28842, 05.12.2013.

- Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Dayalı Üretim Faaliyeti Gösteren Tesisler İçin Uygulanacak Fiyat ve Süreler ile Yerli Katkı İlavesine İlişkin Ekli Kararın Yürürlüğe Konulması Hakkında Karar (2020). T.C. Resmî Gazete, 31248, 18.09.2020.
- Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun (2005). T.C. Resmî Gazete, 25819, 18.05.2005.
- Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun (2011). T.C. Resmî Gazete, 27809, 08.01.2011.
- Yıllancı, A. (2017). IEA-PVPS Annual Report 2017. 117-119. [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS\\_Annual\\_Report\\_2017.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS_Annual_Report_2017.pdf). (Erişim Tarihi: 10.05.2021).
- Zhang, M. M., Zhou, D. Q., Zhou, P., and Liu, G. Q. (2016). Optimal feed-in tariff for solar photovoltaic power generation in China: A real options analysis. *Energy Policy*, 97, 181-192.
- Zhang, M. M., Zhou, P., and Zhou, D. Q. (2016). A real options model for renewable energy investment with application to solar photovoltaic power generation in China. *Energy Economics*, 59, 213-226.
- Zhang, M., Zhou, D., and Zhou, P. (2014). A real option model for renewable energy policy evaluation with application to solar PV power generation in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 944-955.
- Zheng, R., Xu, Y., Chakraborty, N., and Sycara, K. (2015). A crowdfunding model for green energy investment. *24th International Joint Conference on Artificial Intelligence, Buenos Aires, July 25th-31st 2015*.

**http-1:**

[www.ey.com/en\\_us/financial-services/how-to-capture-the-sun-the-economics-of-solar-investment/](http://www.ey.com/en_us/financial-services/how-to-capture-the-sun-the-economics-of-solar-investment/) (Erişim Tarihi:24.02.2021).

**http-2:**

[globalsolaratlas.info/download/world](http://globalsolaratlas.info/download/world) (Erişim Tarihi:22.02.2021).

**http-3:**

[enerji.gov.tr/duyuru-detay?id=103](http://enerji.gov.tr/duyuru-detay?id=103) (Erişim Tarihi: 01.12.2020).

**http-4:**

[www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FEİGM%20Ana%20Rapor%2FTürkiye%20Elektrik%20Enerjisi%20Talep%20Projeksiyonu%20Raporu.pdf](http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FEİGM%20Ana%20Rapor%2FTürkiye%20Elektrik%20Enerjisi%20Talep%20Projeksiyonu%20Raporu.pdf) (Erişim Tarihi: 02.04.2020)

**http-5:**

[www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes](http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes) (Erişim Tarihi: 23.12.2018).

**http-6:**

[globalsolaratlas.info/download/turkey](http://globalsolaratlas.info/download/turkey) (Erişim Tarihi:22.02.2021).

**http-7:**



[www.iea.org/countries/Turkey/](http://www.iea.org/countries/Turkey/) (Erişim Tarihi:25.12.2018).

**http-8:**

[www.eigm.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Enerji-Yatirimlari](http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Enerji-Yatirimlari) (Erişim Tarihi:02.04.2020).

**http-9:**

[www.spk.gov.tr/Sayfa/Index/16/5](http://www.spk.gov.tr/Sayfa/Index/16/5) (Erişim Tarihi:03.05.2020).

**http-10:**

[akportfoy.com.tr/en/article/1085](http://akportfoy.com.tr/en/article/1085) (Erişim Tarihi:03.05.2020).

**http-11:**

[www.mukafatportfoy.com.tr/downloads/fonlar/GSYF-Tanitici-Sunum.pdf](http://www.mukafatportfoy.com.tr/downloads/fonlar/GSYF-Tanitici-Sunum.pdf) (Erişim Tarihi:03.05.2020).

**http-12:**

[www.viemyatirim.com.tr/zen-enerji](http://www.viemyatirim.com.tr/zen-enerji) (Erişim Tarihi:03.05.2020).

**http-13:**

[www.verusaturk.com.tr/yatirimlarimiz.aspx](http://www.verusaturk.com.tr/yatirimlarimiz.aspx) (Erişim Tarihi:03.05.2020).

**http-14:**

[www.enerjiportali.com/wp-content/uploads/2019/10/GES-Projeleri-Finansman%C4%B1-%C4%B0%C3%A7in-YEKDEM-Gereklili%C4%9Fi.pdf](http://www.enerjiportali.com/wp-content/uploads/2019/10/GES-Projeleri-Finansman%C4%B1-%C4%B0%C3%A7in-YEKDEM-Gereklili%C4%9Fi.pdf) (Erişim Tarihi:03.05.2020).

**http-15:**

[www.midseff.com/sayfa/facility](http://www.midseff.com/sayfa/facility) (Erişim Tarihi:03.05.2020).

**http-16:**

[www.midseff.com/midseff-projeleri](http://www.midseff.com/midseff-projeleri) (Erişim Tarihi:03.05.2020).

**http-17:**

[ttgv.org.tr/tr/programlar/yesil-teknoloji](http://ttgv.org.tr/tr/programlar/yesil-teknoloji) (Erişim Tarihi: 11.08.2020).

**http-18:**

[www.aklease.com/tr/enerji-leasingi.aspx](http://www.aklease.com/tr/enerji-leasingi.aspx) (Erişim Tarihi: 11.08.2020).

**http-19:**

[www.qnbfl.com/kurumsal/basinda-biz/finans-leasingden-kobilere-yesil-enerji-destegi-19102015](http://www.qnbfl.com/kurumsal/basinda-biz/finans-leasingden-kobilere-yesil-enerji-destegi-19102015) (Erişim Tarihi:03.05.2020).

**http-20:**

[www.konyadayatirim.gov.tr/sector.asp?SayfaID=1](http://www.konyadayatirim.gov.tr/sector.asp?SayfaID=1) (Erişim Tarihi: 28.01.2021).