

RÜZGÂR VE GÜNEŞ ENERJİSİ SANTRAL YATIRIMLARININ EKONOMİK PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Hasan Hüseyin YILDIRIM, Doç. Dr.
Balıkesir Üniversitesi, Burhaniye Uygulamalı Bilimler MYO
huyildirim@balikesir.edu.tr
Orcid No: 0000-0002-5840-8418

Melek AKSU, Arş. Gör.
Balıkesir Üniversitesi, İşletme Bölümü,
maksu@balikesir.edu.tr

ÖZET

Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr ve güneş enerjisi; temiz, güvenilir, tükenmeyen ve düşük işletme maliyetli enerji kaynaklarıdır. Bu araştırmada, simülasyon yönteminden yararlanılarak rüzgâr enerjisi santral (RES) ve güneş enerjisi santral (GES) yatırımlarının ekonomik performanslarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Rüzgâr ve güneş enerjisi yatırımını etkileyen girdi değişkenlerin farklı kombinasyonları simüle edilerek, RES ve GES yatırım projelerinin net karlılık ve geri ödeme süresi gibi ekonomik performansları hesaplanmıştır. Böylelikle yapılması planlanan RES ve GES yatırımlarının ekonomik performansları tespit edilmiştir. Uygulama sonuçlarına göre RES yatırımlarında ekonomik olarak karlılığa geçilebilmesi için kapasite kullanımının %26'nın üzerinde olması gerekir. Yine uygulama sonuçlarına göre GES yatırımlarının ekonomik olarak karlılığa geçilebilmesi için kapasite kullanımının %20'nin üzerinde olması gerekir.

Anahtar Kelimeler: Rüzgâr Enerjisi Santral (Res) Yatırımları, Güneş Enerjisi Santral (Ges) Yatırımları, Yatırım Projelerini Değerlendirme Yöntemleri, Ekonomik Analysis, Simülasyon.

Jel Kodları: G11, G31, L94, Q42.

ECONOMIC ANALYSIS OF WIND AND SOLAR POWER PLANTS INVESTMENTS

ABSTRACT

Wind and solar energy are one of the clean, secure, replenished and low operating cost renewable energy sources. In this research, the economic performances of wind power plant (RES) and solar power plant (GES) investments were evaluated by using the simulation method. The economic performances of RES and GES investment projects, such as net profitability and payback period, are calculated by simulating different combinations of input variables that affect wind and solar energy investments. According to the results, the capacity utilization rate should be over 26% in order to be economically profitable in RES investments. Again, according to the results, in order for GES investments to become economically profitable, the capacity utilization rate should be over 20%.

Keywords: Wind Power PLants Investments, Solar Power Plants Investments, The Methods Of Valuation Of Capital Project, Economic Analysis, Simulation.

Jel Codes: G11, G31, L94, Q42.

1. GİRİŞ

Günümüze kadar birçok değişimin önemli yapı taşlarından olan enerji ve enerjinin kullanılması ülkelerin ekonomik ve sosyo-kültürel değişimini etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Dünyada nüfus artışı, sanayileşme, küreselleşme ve şehirleşme sonucunda üretim miktarı ve ticaretin artmasına bağlı olarak doğal kaynaklara ve enerjiye olan talep de giderek artmıştır (Kılavuz, 2013:1). Bundan dolayı temiz, güvenilir ve sürdürülebilir enerjinin tedarik edilmesi, yirmi birinci yüzyılda insanlığın odaklandığı önemli bir konu haline gelmiştir.

Enerji kaynakları kullanım açısından yenilenebilir ve yenilenemeyen (fosil ve nükleer) enerji kaynakları olmak üzere iki grupta değerlendirilmektedir (Koç ve Şenel, 2013:33). Yenilenebilir enerji kaynakları yenilenemeyen kaynakların aksine doğada sürekliliği olan kaynaklardan elde edilen enerjidir (Erkınay, 2012:7).

Fosil kaynakların emisyonlar, hava kirliliği ve iklim değişikliği, deşarjlar ve su kirliliği, atık oluşumu, gürültü kirliliği, habitat ve canlı yaşamı üzerinde birçok olumsuz etkisi olmaktadır. Çalışmanın kapsamını oluşturan yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan rüzgâr enerjisinin görüntü ve gürültü kirliliği ile habitat ve canlı yaşamına olumsuz etkisi olabilirken güneş enerjisinin görüntü kirliliği yaratması gibi olumsuz etkileri bulunmaktadır. Rüzgâr ve güneş enerjisinin olumsuz etkileri fosil kaynaklara kıyasla oldukça düşüktür. Fosil enerji kaynaklarının kullanımındaki artış gerek çevreye verdiği negatif etki gerekse rezervlerin azalışından dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini arttırmıştır (Ay, 2010:3). 2010-2035 döneminde dünyada yenilenemeyen enerji talebinin %81'den %75'e düşeceği ve yenilenebilir enerji talebinin ise %19'dan %25'e yükseleceği tahmin edilmektedir (IEA, 2011:1-11).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitli avantajları bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları yerli kaynakların geliştirilmesini sağlar, sürdürülebilir kalkınmayı destekler, dışa bağımlılığı azaltır ve kaynak çeşitlendirmesi ile enerji arz

güvenliğini arttırır (Bahgat, 2006:962). Yenilenebilir enerji üretim tesislerinin kurulum ve işletilmesine bağlı olarak doğrudan ve dolaylı olarak istihdam artar.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi politika mekanizmalarıyla desteklenmesine rağmen yatırım maliyetlerinin fosil kaynaklara kıyasla yüksek olması yenilenebilir enerji sektörünün istenilen büyüme oranına erişememesine neden olmaktadır. Yenilenebilir enerji santrallerinin kurulum maliyetlerinde meydana gelecek düşüş yenilenebilir enerjinin toplam enerji içindeki payını yükseltecektir (Boyle vd., 2003:34).

Küresel enerji üretimi artışı, toplam üretimin %8'ini, enerji üretimindeki toplam büyümenin neredeyse yarısını oluşturan rüzgâr enerjisi (%17, 163 TWh) ve güneş enerjisi (%35, 114 TWh) liderliğinde yaşanan yenilenebilir enerjideki güçlü genişlemeden kaynaklanmaktadır (BP Statistical Review of World Energy 2018). Küresel enerji üretimi artışında önemli bir role sahip olması nedeniyle ülkelerin rüzgâr ve güneş enerjisi potansiyellerinin ve yatırımlarının değerlendirilmesi oldukça önemlidir.

Türkiye'nin fosil kaynak rezervi açısından kısıtlı kaynaklara sahip iken güneş ve rüzgâr enerjisi bakımından oldukça zengin bir potansiyele sahip olması da rüzgâr ve güneş enerjisinden elektrik üretimini ve yenilenebilir enerji yatırımlarının değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda ele alınan bu çalışmada Türkiye'de rüzgâr ve güneş enerjisi yatırımları ekonomik açıdan incelenmiş olup, kapasite kullanım oranının yatırımların yapılabirliği üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Türkiye'de rüzgâr enerjisi santrali (RES) ve güneş enerjisi santrali (GES) yatırımlarının ekonomik analizine ilişkin sosyal bilimler literatüründe yer alan çalışmalar yeni dönemde artış göstermekle beraber yetersiz seviyededir. Bu nedenle çalışmada kullanılan yöntem ve çalışmanın sonuçlarına ait bulguların literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

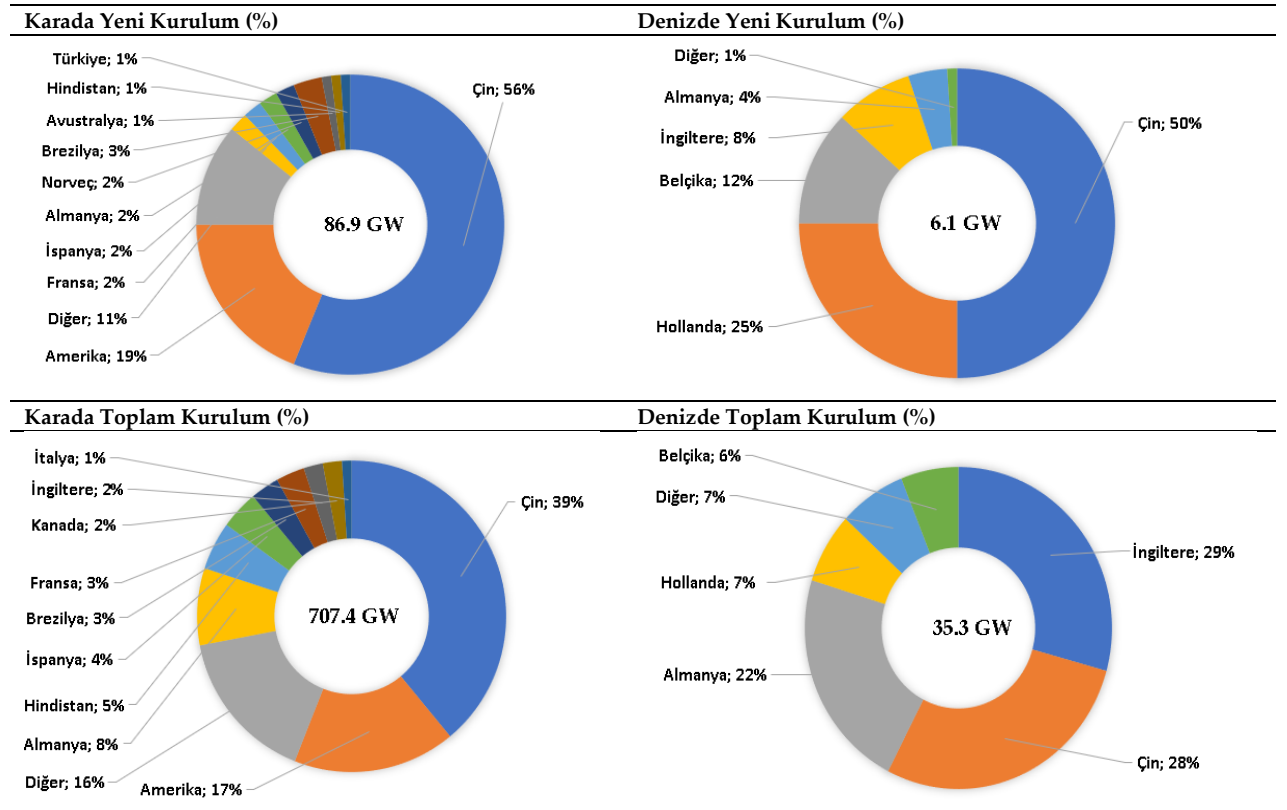
Bu çalışma altı bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünü takip eden ikinci bölümde dünyada ve Türkiye'de rüzgâr ve güneş enerjisinin genel görünümü, üçüncü

bölümde literatür taraması, dördüncü bölümde yöntem, beşinci bölümde bulgulara yer verilmiştir. Altıncı bölüm sonuç ve öneriler bölümüdür.

2. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE RÜZGÂR VE GÜNEŞ ENERJİSİNİN GENEL GÖRÜNÜMÜ

2.1. RÜZGÂR ENERJİSİNİN GENEL GÖRÜNÜMÜ

Şekil 1'de 2020 yılı sonu itibariyle karada ve denizde RES toplam kurulum bilgileri ile birlikte 2020 yılı içinde gerçekleşen RES kurulum bilgileri yer almaktadır. RES kurulumu 2020 yılı ile karada toplam 707.4 GW iken denizde 35.3 GW seviyesine erişmiştir. Kara RES kurulumu olarak en çok kurulu kapasiteye Çin, ABD, Almanya, ve Hindistan ulaşırken, denizde en çok kapasitenin İngiltere, Çin, Almanya, Hollanda ve Belçika'da olduğu söylenebilir. 2020 yılı içinde karada kurulum RES kapasitesi 86.9 GW iken denizde kurulan RES kapasitesi 6.1 GW'dır.

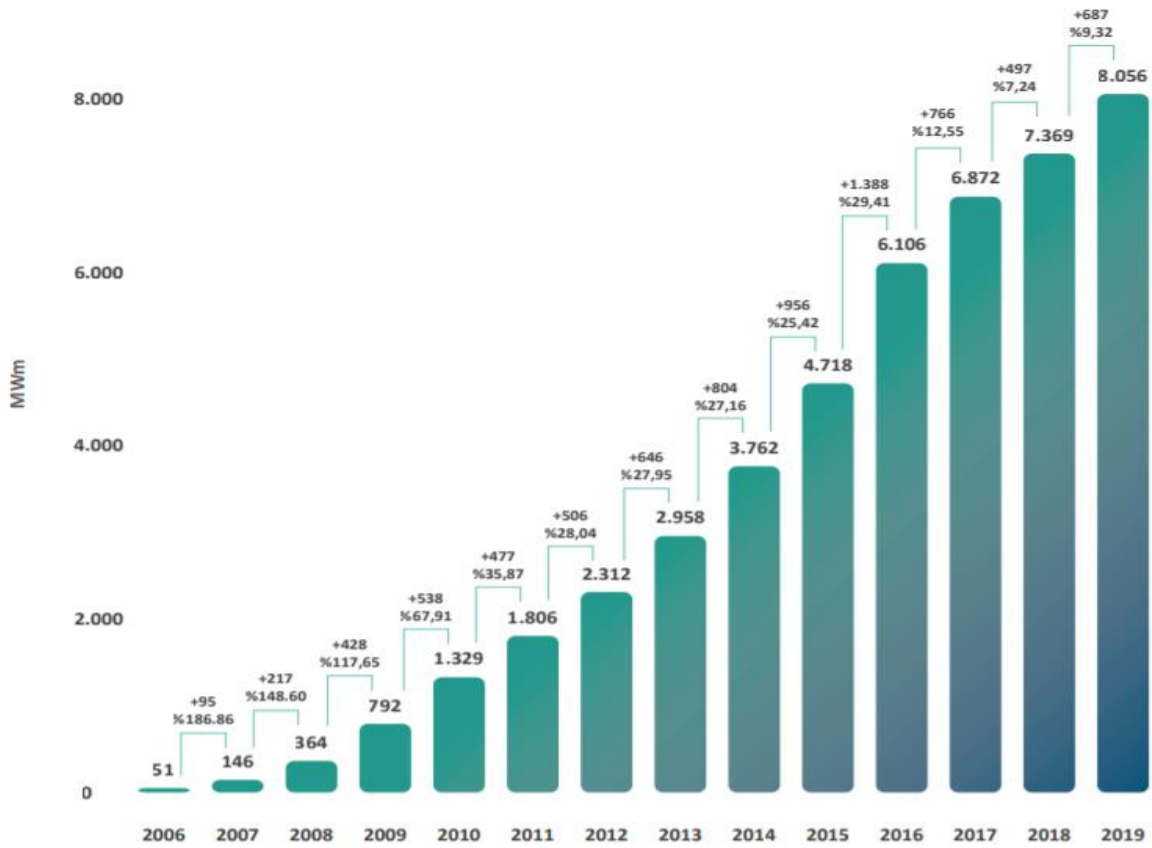


Şekil 1. Karada ve Denizde 2019 Yılı İtibariyle RES Toplam kurulum ve Yeni Kurulum Verileri

Kaynak: GWEC (2021). Global Wind Report, s.50.

Şekil 2’de Türkiye’nin 2019 sonu itibariye rüzgâr enerjisindeki son durumu gösterilmiştir. Yıllar itibariyle düzenli artış görülen kurulum 2019 yılı sonu ile birlikte yaklaşık olarak 7.615 MW’a ulaşmıştır. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği verilerine göre toplam kurulumun 2020 sonu ile birlikte 8.288 MW’a ulaştığı görülmüştür. Türkiye’nin Rüzgâr enerjisinin kurulumundaki bu artış enerji politikasında rüzgâr enerjisine yönelik önemli bir atılımın olduğunu göstermektedir.

Şekil 2: Türkiye’deki Rüzgâr Enerjisi Santralleri için Kümülatif Kurulum

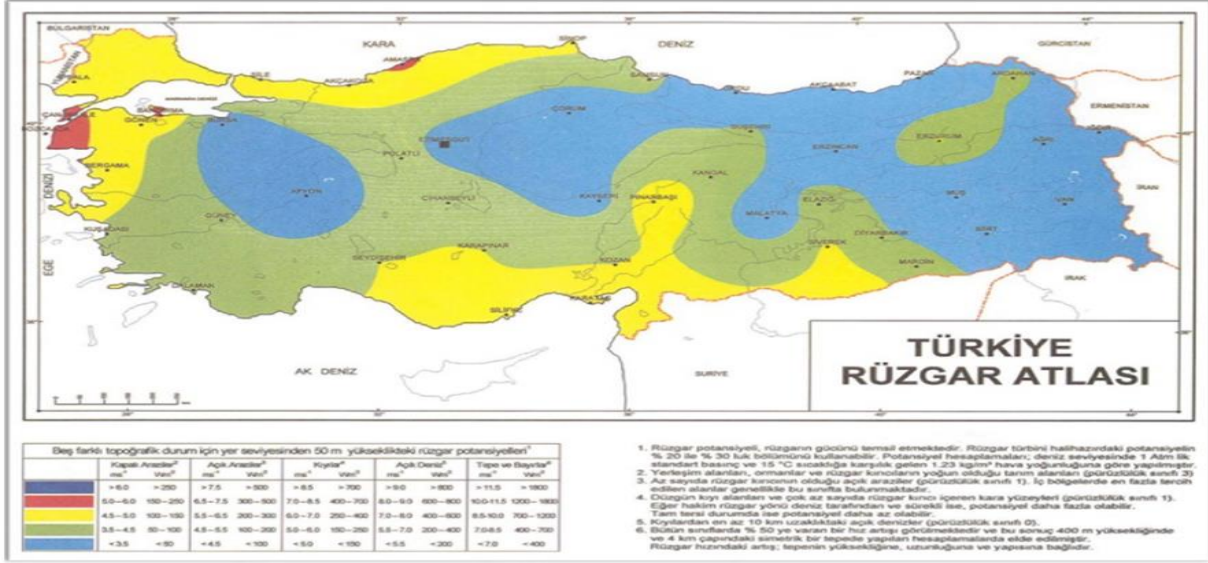


Şekil 2. Türkiye’deki Rüzgâr Enerjisi Santralleri için Kümülatif Kurulum

Kaynak: TÜREB (2020, Ocak). Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu, Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği, s.9.

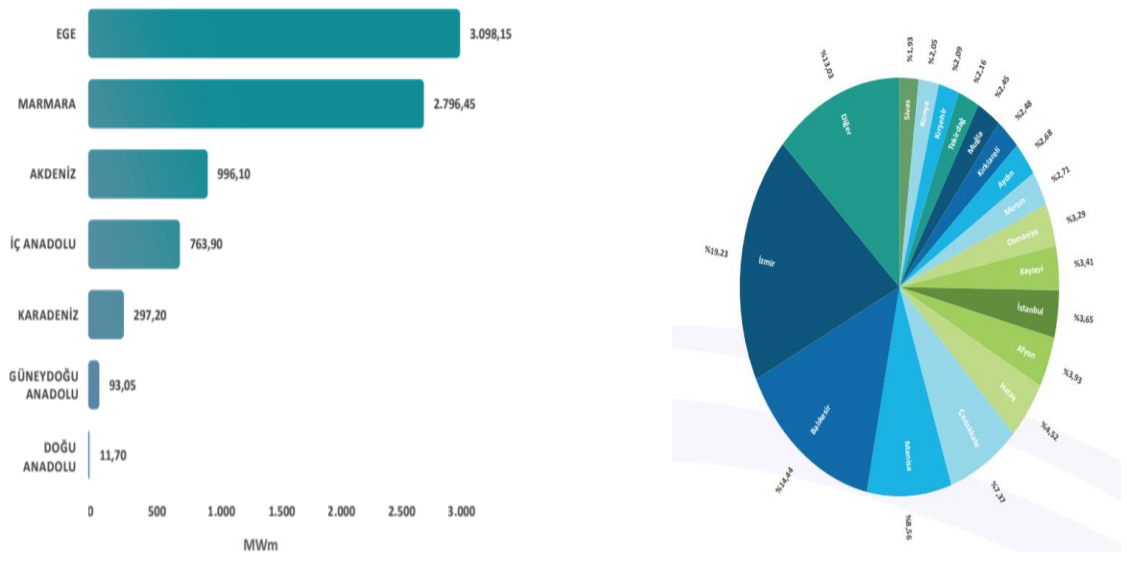
Türkiye’deki RES kurulumlarının yıllar itibariyle büyük ölçekte artması ülkenin rüzgâr potansiyelinin yüksek olması ile ilişkilidir. Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) Şekil 3’te gösterilmektedir.

Şekil 3: Türkiye Rüzgar Atlası



Şekil 3. Türkiye Rüzgar Atlası

Şekil 4'te ise Türkiye'deki RES'lerin bölgelere göre dağılımı gösterilmiştir. En yüksek RES kurulu kapasitesi bölge olarak sırasıyla Ege, Marmara, Akdeniz, İç Anadolu, Karadeniz, Güneydoğu Anadolu ve Doğu Anadolu bölgelerinin olduğu görülmektedir. RES kurulu kapasite olarak iller bazında ilk 5 ile bakıldığında sırasıyla İzmir, Balıkesir, Manisa, Çanakkale ve Hatay olduğu görülmektedir.

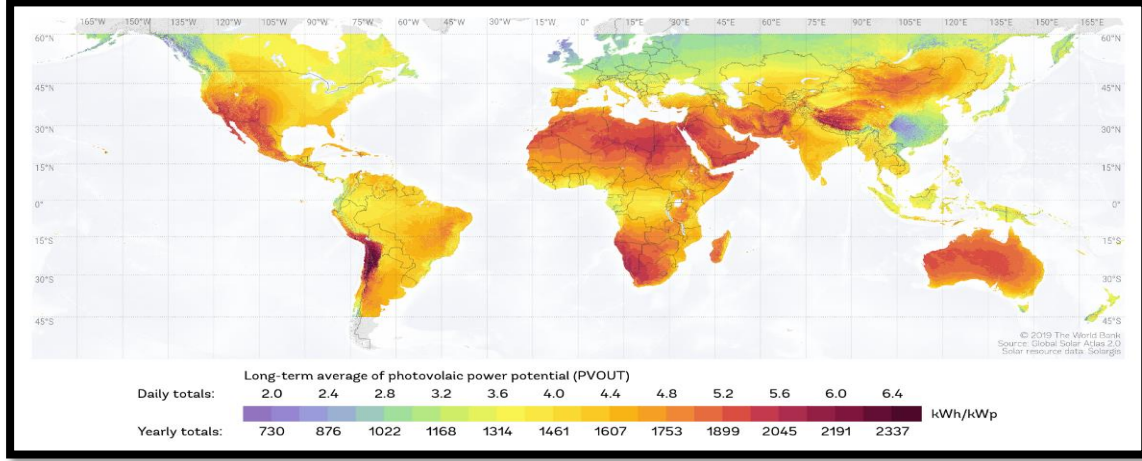


Şekil 4. RES'lerin Bölgelere ve İllere Göre Dağılımı

Kaynak: TÜREB. (2021). Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu (2020). Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği, s.23-25.

2.2. GÜNEŞ ENERJİSİNİN GENEL GÖRÜNÜMÜ

Işınım değerlerine göre dünyanın bölgesel fotovoltaik güneş enerjisi potansiyeli atlası Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. Fotovoltaik Potansiyeli

Kaynak: <http-1>

Tablo 1'de dünyada güneş enerjisinden elektrik kapasitesi ve üretiminin 2015-2019 yılları arasındaki gelişimi gösterilmektedir. Güneş enerjisinde toplam elektrik kapasitesi 2000 yılında 222.091 MW iken 2019 yılında bu rakam 584.842 MW'a ulaşmıştır. Güneş enerjisinden üretilen toplam elektrik miktarı ise dört yıl içerisinde 252.358 GWh'den 562.033 GWh'a ulaşmıştır.

Tablo 1: Dünyada Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim ve Kapasitesi

Tablo 1. Dünyada Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim ve Kapasitesi

	Elektrik Kapasitesi (MW)	Elektrik Üretimi (GWh)
2015	222.091	252.358
2016	295.948	325.680
2017	388.569	438.034
2018	486.721	562.033
2019	584.842	

Kaynak: IRENA (2019), Renewable Energy Statistics 2019, The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

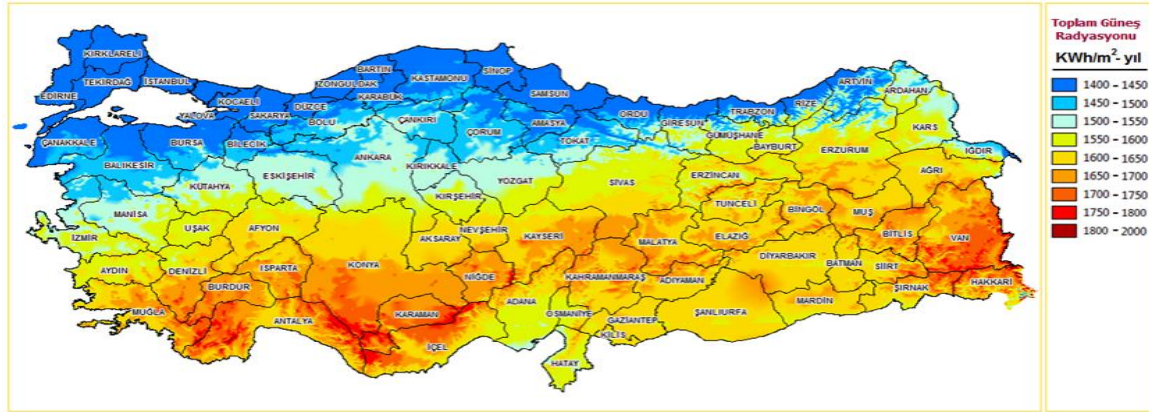
Tablo 2'de 2016-2019 yılları arasında dünyada fotovoltaik güneş enerjisi sektöründe önemli ilk on ülke gösterilmektedir. 2016, 2017 ve 2018 yıllarında Türkiye güneş enerjisi sektöründeki girişimleri sonucunda ilk on ülke arasında yer almış olup 2019 yılında ilk ona girmeyi başaramamıştır.

Tablo 2. İlk 10 Fotovoltaik Güneş Enerjisi Piyasasının Yıllar İtibariyle Gelişimi

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

Kaynak: IEA. (2020). Trends in Photovoltaic Applications Report IEA.

2016 yılından itibaren güneş enerjisi sektöründe önemli bir hale gelen Türkiye, 36°-42° kuzey enlemleri 26°-45° doğu boylamları arasında bulunmaktadır. Türkiye'nin coğrafi konumu nedeniyle güneş enerjisi potansiyeli oldukça yüksek olup güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA) Şekil 6'da sunulmuştur.

**Şekil 6.** Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA)

Kaynak: YEGM, Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası, (Çevrimiçi) <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>, (15.09.2015)

Tablo 3'te Türkiye'de bölgelere göre güneş enerjisi dağılımı verilmiştir. Yıllık toplam güneş enerjisi 5.256 MJ/m² yıl olan en yüksek bölge Güneydoğu Anadolu Bölgesi'dir. Yıllık toplam güneş enerjisi 4.032 MJ/m² yıl olan en düşük bölge Karadeniz Bölgesi'dir. Türkiye'nin yıllık toplam güneşlenme süresi ortalama olarak 2.640 (saat/yıl) dır.

Tablo 3. Türkiye’de Bölgelere Göre Güneş Enerjisi Dağılımı

Bölgeler	Yıllık Toplam Güneş Enerjisi MJ/m ² -yıl	Günlük Top. Güneş Enerjisi MJ/m ² - gün	Yıllık Güneşlenme Süresi (h/yıl)	Top.
Güneydoğu Anadolu	5.256	14.3	2.993	
Akdeniz	5.004	13.9	2.956	
Ege	4.694	13.5	2.738	
İç Anadolu	4.730	13.7	2.628	
Doğu Anadolu	4.914	13.4	2.664	
Marmara	4.204	10.9	2.409	
Karadeniz	4.032	10.3	1.971	
Türkiye Ortalaması	4.719	12.9	2.640	

Kaynak: Acaroğlu, 2013, Alternatif Enerji Kaynakları, ISBN 978-605-133-620-6, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Dan. Tic. LTD. ŞTİ, Ankara, S.42.

Tablo 4’te Türkiye’de 2015-2019 yılları arasında güneş enerjisinde kurulu kapasite ve elektrik üretimi miktarı gösterilmektedir. Tablo 4’te Türkiye’de güneş enerjisinde elektrik kapasitesi ve elektrik üretiminde 2015’ten 2019’a çok hızlı bir yükseliş olduğu görülmektedir.

Tablo 4. Güneş Enerjisinde Kurulu Kapasite ve Elektrik Üretimi

	Elektrik kapasitesi (MW)	Elektrik üretimi (GWh)
2015	250	197
2016	834	1.046
2017	3.422	2.892
2018	5.064	7.803
2019	5.996	

Kaynak: IRENA (2019), Renewable Energy Statistics 2019, The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Yenilenebilir enerji teknolojilerine olan ilgi günümüzde artmış olsa da yapılan literatür araştırması sonucu enerji projelerinin ekonomik açıdan değerlendirildiği çalışmaların yeterli sayıda olmadığı gözlenmiştir. RES ve GES yatırımlarının ekonomik bağlamda değerlendirildiği ulusal ve uluslararası literatürdeki çalışmalardan bazıları Tablo 5’te özetlenmiştir.

Tablo 5. Literatür Taraması

Yazar	Yıl	Enerji Kaynağı	Ülke	Yöntem
Venetsanos vd.	2002	Rüzgâr	Yunanistan	Net Bugünkü Değer, Reel Opsiyon
Lieberman	2003	Rüzgâr	Amerika	Geri Ödeme Süresi

Özerdem vd.	2006	Rüzgâr	Türkiye	Net Bugünkü Değer, İç Kârlılık Oranı, Geri Ödeme Süresi
Vardar ve Çetin	2007	Rüzgâr	Türkiye	Birim Enerji Üretim Maliyeti
Moran ve Sherrington	2007	Rüzgâr	İskoçya	Net Bugünkü Değer
Williams vd.	2008	Rüzgâr	Kuzey Arizona	Girdi-Çıktı Analizi, Simülasyon
Vardar ve Çetin	2009	Rüzgâr	Türkiye	Birim Enerji Üretim Maliyeti
Ay	2010	Rüzgâr	Türkiye	Net Bugünkü Değer, İç Kârlılık Oranı, Geri Ödeme Süresi, Yatırımın Getiri Oranı
Hamamcıoğlu	2010	Rüzgâr	Türkiye	Geri Ödeme Süresi, İç Kârlılık Oranı
Frølund ve Obling	2010	Rüzgâr	Danimarka	İndirgenmiş Nakit Akımı, Reel Opsiyon
Ertürk	2012	Rüzgâr	Türkiye	Net Bugünkü Değer
Doğan vd.	2012	Rüzgâr	Türkiye	Nakit Akımı Analizi
Khindanova	2013	Rüzgâr	-	Net Bugünkü Değer
Şen, Tunç ve Özilhan	2013	Güneş	Türkiye	Net Bugünkü Değer, Yatırımın Getiri Oranı, Minimum Kabul Edilebilir Getiri Oranı
Tekin	2014	Güneş	Türkiye	Reel Opsiyon Analizi
Özçelik	2016	Rüzgâr	Türkiye	Net Bugünkü Değer, İç Kârlılık Oranı
Pan, Tian ve Shan	2016	Güneş	Çin	Net Bugünkü Değer, Reel Opsiyon Analizi
Toptaş	2016	Rüzgâr	Türkiye	Reel Opsiyon Analizi
Cebeci	2017	Güneş	Türkiye	Net Bugünkü Değer, İç Kârlılık Oranı, İndirgenmiş Geri Ödeme Süresi, Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti
Yanıktepe, Kara ve Özalp	2017	Güneş	Türkiye	Net Bugünkü Değer, İç Kârlılık Oranı, Geri Ödeme Süresi
Valmala	2017	Güneş	İspanya	Net Bugünkü Değer, İç Kârlılık Oranı
EL-Shimy, Abdelraheem ve Said	2017	Güneş	Mısır	Seviyelendirilmiş Enerji Maliyeti
López Prol ve Steininger	2017	Güneş	Almanya	Kârlılık İndeksi, İç Kârlılık Oranı
Loncar, Milovanovic, Rakic ve Radjenovic	2017	Rüzgâr	Sırbistan	Reel Opsiyon Analizi
Bigoni	2018	Güneş	İtalya	Net Bugünkü Değer, İç Kârlılık Oranı
Assereto ve Byrne	2021	Güneş	İrlanda	Reel Opsiyon Analizi

Yazarlar tarafından hazırlanmıştır.

4. YÖNTEM

Bir yatırım projesinin uygunluğunu değerlendirmek için, projenin bütün harcamalarının ve gelirlerinin hesaba katılması gerekir. Yatırımın yapılabilmesi için projenin diğer alternatif projelerle yarışabilir bir konumda olması gerekir. Uygulanabilir bir RES ve GES yatırımının üreticisi için kârlı olması, tüketicisi için diğer enerji kaynaklarına göre enerjiyi daha ucuza sağlaması gerekmektedir. RES ve GES

yatırım projelerinin uygunluğunun değerlendirilmesi için proje değerlendirme yöntemleri arasında yer alan net bugünkü değer ve geri ödeme süresi yöntemleri kullanılmıştır.

4.1. NET BUGÜNKÜ DEĞER

Bir yatırımın net bugünkü değeri, yatırımın ekonomik ömrü boyunca sağlayacağı nakit girişlerinin önceden saptanmış belirli bir iskonto oranı (yatırımdan beklenen asgari kazanç oranı) üzerinden bugüne indirgenmiş değerleri toplamı ile, yatırımın gerektirdiği nakit çıkışlarının yine aynı iskonto oranı üzerinden hesaplanmış bugünkü değerleri toplamı arasındaki farktır (Göker, 1996:77, Bolak, 2000:142; Simoes ve Farret, 2008:362).

Net bugünkü değer kriterine göre bir projenin kabul koşulu, net bugünkü değerinin pozitif veya "0" a eşit ($NBD \geq 0$) olmasıdır. NBD'nin "0" a eşit olması, yatırımdan beklenen asgari kazancın elde edilebildiğini gösterir. Pozitif NBD'e sahip iki projeden NBD'si yüksek olan tercih edilir (Ross vd., 2010:136).

NBD yöntemi, kârlılık oranı veya geri ödeme süresi yöntemlerinin aksine, paranın zaman değerini ve projenin tüm ömrü boyunca sağlayacağı nakit girişlerini dikkate alır. Bu nedenlerle teorik açıdan oldukça tutarlı, kullanılacak iskonto oranı saptandıktan sonra uygulaması da kolay bir yöntemdir (Yılmaz, 2000:122).

Proje analizlerinde en çok kullanılan yöntemlerden birisi olan Net Bugünkü Değer (NBD) yöntemi, dinamik bir değerlendirme yöntemidir. NBD aşağıdaki şekilde formülle açıklayabiliriz.

$$A = \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_i}{(1+r)^i} \right) - C$$

A: Nakit girişlerinin şimdiki değeri toplamı

A_i : Yatırımdan sağlanacak net nakit akımları

C : Başlangıçtaki yatırım

r : İskonto oranı

i : Yıl

4.2. GERİ ÖDEME SÜRESİ

Geri ödeme süresi yöntemi (GÖS), bir proje için yatırılan paranın ortalama olarak kaç yıl içinde geri alınabileceğini hesaplamaya dayanır (Göker, 1996:65, Bolak, 2000:140). Bir yatırım projesinin geri ödeme süresi ne kadar kısaysa o kadar olumlu kabul edilir. Almaşık projeler arasında geri ödeme süresi en düşük olan tercih edilir.

Geri ödeme süresi yöntemi oldukça yaygın kullanılan bir yöntem olmakla birlikte iki önemli eksiği vardır:

- Yöntem, paranın zaman değerini dikkate almaz ve farklı yıllara ait nakit girişlerini aynı değerde kabul eder (Sarıaslan, 2006:134).
- Geri ödeme süresi yöntemi, projenin kendini ödemesinden sonraki yıllarda sağlayacağı nakit girişlerini dikkate almaz. Dolayısıyla ileriki yıllarda ne kadar cazip olursa olsun, ilk yıllarda yeterince nakit girişi sağlamayan projelere seçilme şansı tanımamaktadır.

5. UYGULAMA VE BULGULAR

Çalışmanın bu bölümünde RES ve GES yatırımlarının analizine ilişkin uygulamalar ve bulgulara yer verilmiştir. Her iki tür enerji yatırımının analizinde yatırım projesi değerlendirme yöntemlerinden Net Bugünkü Değer (NBD) ve Geri Ödeme Süresi (GÖS) yöntemlerinden yararlanılmıştır.

5.1. RES'LERE YÖNELİK UYGULAMA VE BULGULAR

RES projesinin ekonomik analizinde kullanılacak üretim, işletme gideri, yatırım harcamaları ve finansal değişkenlere ilişkin varsayımlar Tablo 6'da gösterilmiştir.

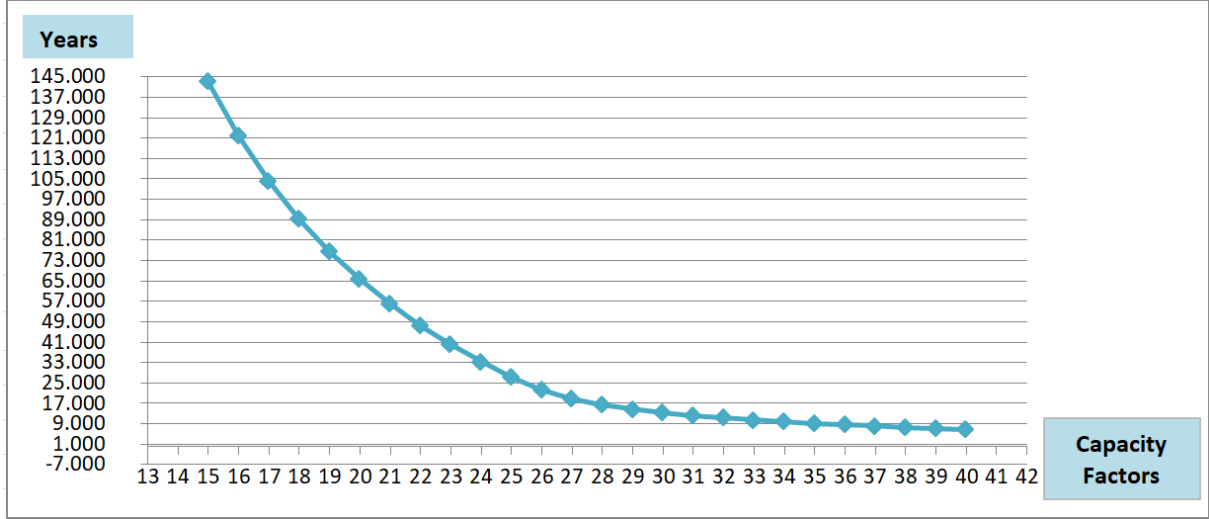
Tablo 6. RES Yatırımında Varsayım Olarak Tanımlanan Girdi Değişkenler ve Varsayımlar

Üretim Parametreleri	Değer	Ünite
Ünite Sayısı	1	
Birim Ünite Gücü	3	MW
Elektrik Satış Fiyatı	0,073	USD/kWh
Yerel Teşvikler (Rotor ve Naset)	0,013	USD/kWh
Yerel Teşvikler (Jeneratör)	0,01	USD/kWh
Yerel Teşvikler (Türbin)	0,008	USD/kWh
Yerel Teşvikler (Türbin Kulesi)	0,006	USD/kWh
İşletme Giderleri		
Bakım Onarım Giderleri	30.000	Euro / Ünite
Güvenlik Giderleri	1.200	USD/Çalışan Per./Aylık
Güvenlik Çalışan Sayısı	0,25	Çalışan Personel
Sistem Kullanım Giderleri	35.000	USD/Ünite-Yıl
Elektrik Kalite Gideri	2.900	USD/Ünite-Yıl
Sistem İşletim Gideri	225	USD/ Ünite-Yıl
Diğer İşletim Giderleri	820	USD/ Ünite-Yıl
Faaliyet Giderleri Artış Oranı	1%	%
Yatırım Harcamaları		
EPC Maliyeti	1.000.000	Euro/ MW
EPC KDV'ye Ödenen Oran	20,00%	
Türbin Şalt Saha Maliyeti	50.000	USD/Ünite
Arazi İhtiyacı(Kamulaştırma)	10.000	m ² /Ünite
Arazi Maliyeti	3,00	USD /m ²
Türbine Erişim Yollarının Maliyeti	100.000	USD/Ünite
Proje Geliştirme Maliyeti	25.000	USD/ MW
Lisans Ücretleri	10.000	USD/ MW
Bakım Onarım Ekipmanları	25.000	USD/Ünite
Diğer Maliyetler	10.000	USD/Ünite
Finansal Değişkenler		
Yıpranma-aşınma oranı	0,50%	%
Sermaye Rasyosu (Ser./ Top. Kay.)	50,00%	%
İşletme Sermayesi İhtiyacı	100.000	USD/Ünite
Amortisman Süresi	25	Yıl
KDV Oranı	18%	
Kurum Vergisi	20,00%	

Tablo 6'da yer alan değişkenler yardımı ile yatırımın ekonomik ömrü içerisinde farklı kapasitelerde elde edilecek net bugünkü değeri ve geri ödeme süresi için bir finansal model oluşturulmuştur. Tablo 6'da yer alan yatırım değişkenleri gerçek RES yatırımlarının fizibilitesinde dikkate alınan değişkenlerden oluşmaktadır.

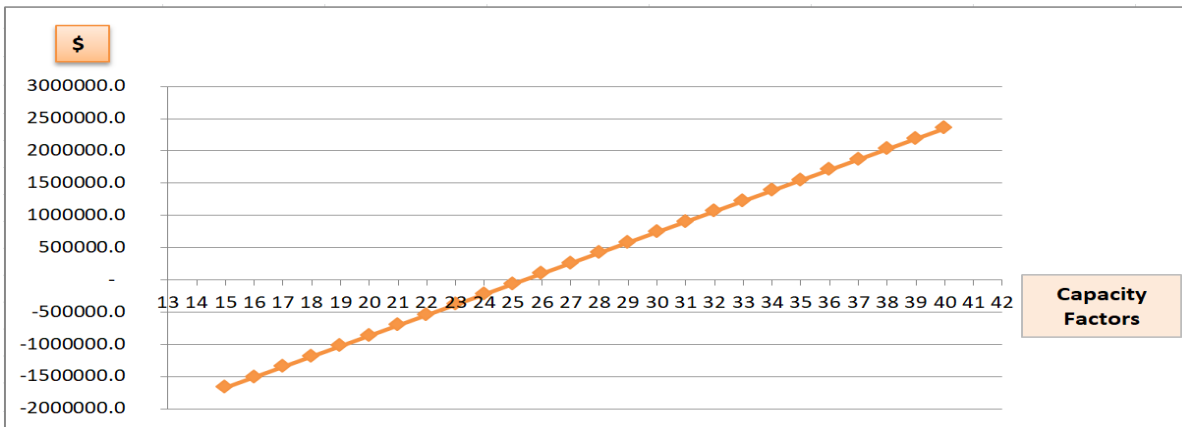
Şekil 7'de RES projesinin alternatif kapasite faktörlerine göre geri ödeme süresine ait sonuçlar yer almaktadır. Ekonomik ömrü yaklaşık olarak 25 yıl olan RES

projelerinin kapasite faktörü % 26'nın altına düştüğünde projenin ekonomik ömrü içerisinde kendini amorti etmediği tespit edilmiştir. Şekil 7'de yer aldığı üzere %26'dan sonraki kapasite durumlarında projenin kendini amorti etme süresinin kısaldığı görülmektedir.



Şekil 7. RES Projesinin Kapasite Faktörüne Göre Geri Ödeme Süresi

Şekil 8'de RES projesinin alternatif kapasite faktörlerine göre net bugünkü değerine ait sonuçlar yer almaktadır. Ekonomik ömrü yaklaşık olarak 25 yıl olan RES projelerinin kapasite faktörü % 26'nın altına düştüğünde projenin net bugünkü değerinin negatif olduğu bir diğer ifade ile uygulanabilir olmadığı tespit edilmiştir. Şekil 8'de yer aldığı üzere %26'dan sonraki kapasite durumlarında projenin uygulanabilir olduğu görülmektedir.



Şekil 8. RES Projesinin Kapasite Faktörüne Göre Net Bugünkü Değeri

5.2. GES'LERE YÖNELİK UYGULAMA VE BULGULAR

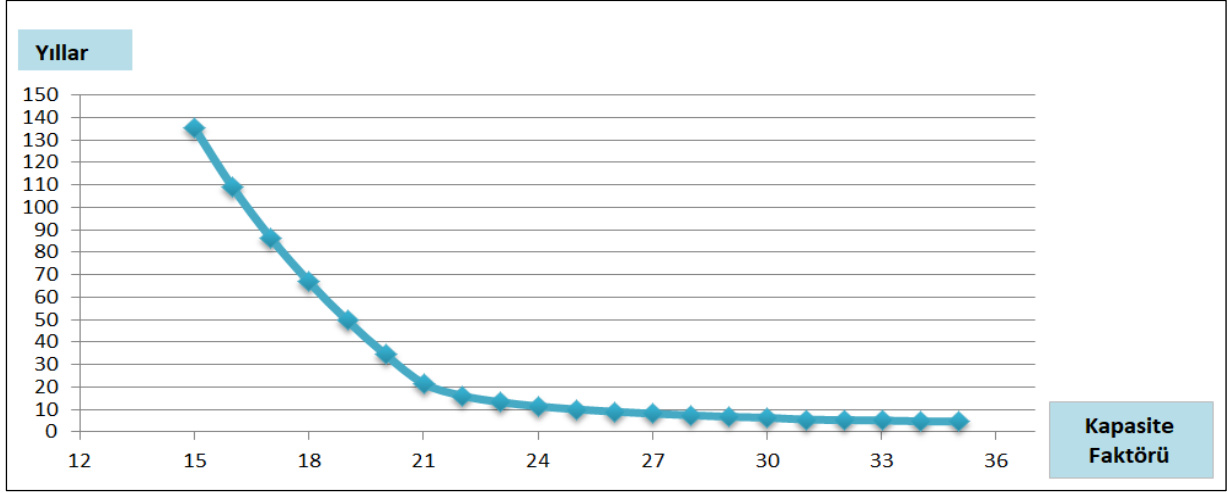
GES projesinin ekonomik analizinde kullanılacak üretim, işletme gideri, yatırım harcamaları ve finansal değişkenlere ilişkin varsayımlar Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7. GES Yatırımında Varsayım Olarak Tanımlanan Girdi Değişkenler ve Varsayımlar

Üretim Parametreleri	Değer	Birim
Ünite Sayısı	1	
Birim Ünite Gücü	3	MW
Elektirik Satış Fiyatı	0.133	USD/kWh
PV Panel Entegrasyonu	0.008	USD/kWh
PV Modülleri	0.013	USD/kWh
PV Modülünü Oluşturan Hücreler	0.035	USD/kWh
Invertor ve PV Güneş Işığı Odak. Mal.	0.011	USD/kWh
İşletme Giderleri		
Bakım Onarım Giderleri	30,000	Euro / Birim
Güvenlik Giderleri	1,200	USD/Kişi/Ay
Güvenlik Çalışan Sayısı	0.25	Kişi
Sistem Kullanım Giderleri	35,000	USD/Birim-Yıl
Elektirik Kalite Gideri	2,900	USD/Birim-Yıl
Sistem İşletim Gideri	225	USD/Birim-Yıl
Diğer İşletim Giderleri	820	USD/Birim-Yıl
Yatırım Harcamaları		
Santral Maliyeti	1,200,000	USD/ MW
Güneş Paneli Şalt Saha Maliyeti	50,000	USD/Birim
Arazi İhtiyacı(Kamulaştırma)	20,000	m ² /MW
Arazi Maliyeti	3.00	USD /m ²
Santrala Erişim Yollarının Maliyeti	100,000	USD/Birim
Proje Geliştirme Maliyeti	25,000	USD/ MW
Lisans Ücretleri	10,000	USD/ MW

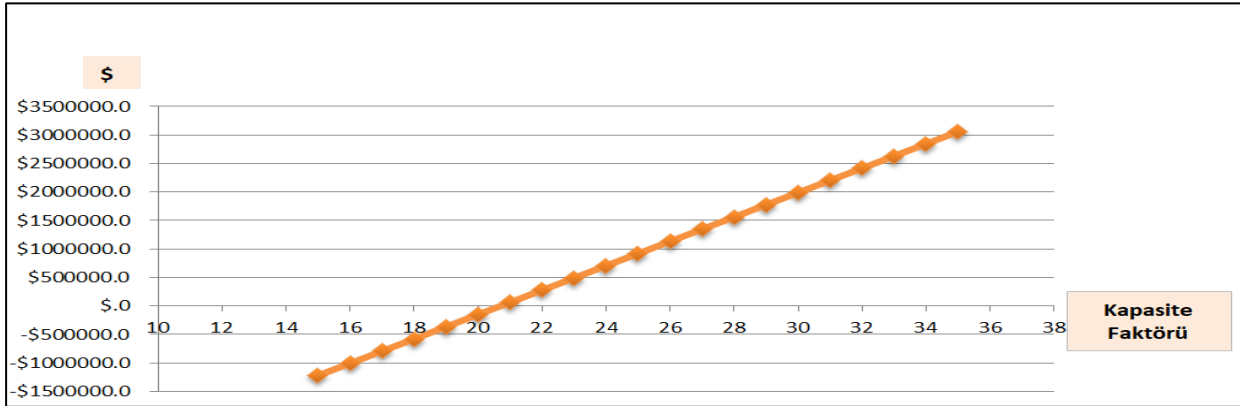
Tablo 7'de yer alan değişkenler yardımı ile yatırımın ekonomik ömrü içerisinde farklı kapasitelerde elde edilecek net bugünkü değeri ve geri ödeme süresi için bir finansal model oluşturulmuştur. Tablo 7'de yer alan yatırım değişkenleri gerçek GES yatırımlarının fizibilitesinde dikkate alınan değişkenlerden oluşmaktadır.

Şekil 9'da GES projesinin alternatif kapasite faktörlerine göre geri ödeme süresine ait sonuçlar yer almaktadır. Ekonomik ömrü yaklaşık olarak 25 yıl olan GES projelerinin kapasite faktörü %20'nin altına düştüğünde projenin ekonomik ömrü içerisinde kendini amorti etmediği tespit edilmiştir. Şekil 9'da yer aldığı üzere %20'den sonraki kapasite durumlarında projenin kendini amorti etme süresinin kısaldığı görülmektedir.



Şekil 9. GES Projesinin Kapasite Faktörüne Göre Geri Ödeme Süresi

Şekil 10'da GES projesinin alternatif kapasite faktörlerine göre net bugünkü değerine ait sonuçlar yer almaktadır. Ekonomik ömrü yaklaşık olarak 25 yıl olan GES projelerinin kapasite faktörü %20'nin altına düştüğünde projenin net bugünkü değerinin negatif olduğu bir diğer ifade ile yatırımın yapılabilir olmadığı tespit edilmiştir. %20'den sonraki kapasite durumlarında ise elde edilen pozitif net bugünkü değer güneş enerjisi santrali yatırımlarının yapılabilir olduğunu göstermektedir.



Şekil 10. GES Projesinin Kapasite Faktörüne Göre Net Bugünkü Değeri

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda ülkeler enerji kaynaklarında dışa bağımlılığı azaltmak ve enerji arz güvenliğini sağlamak amacıyla enerji kaynaklarında çeşitliliği arttırmaktadırlar. Ülkelerin sera gazı salınımlarının artması ile çevreye verilen önem ve enerji çeşitliliği içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi ve yönelim artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin bir diğer sebebi de ülkelerin artmakta olan enerji

ihtiyaçlarını karşılayacak enerjinin sağlanmasıdır. Günümüzde enerjinin önemli bir kısmı fosil kaynaklardan sağlanmaktadır. Ancak fosil kaynaklar belli bir ömre sahiptir. Fosil kaynakların gelecekte yetersiz olması ve ülkelerin enerji sağlama noktasında sürdürülebilir bir çözüm oluşturması açısından yenilenebilir enerji kaynakları önem arz etmektedir.

Yenilenebilir enerji projelerinde diğer yatırım projelerinde olduğu gibi proje geliştirme süreci önemlidir. Yatırım projesi için oluşturulacak finansal modellemede yatırımın sonucunu etkileyecek girdi parametrelerinin gerçeğe yakın ve güncel olması gerekmektedir. Yatırımcılar finansal modelleme sonucunda oluşturulan çıktılara dayalı olarak yatırım kararlarını verirler.

Bu çalışmada rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi santrali (RES/GES) yatırımlarının ekonomik performanslarının değerlendirilmesi simülasyon yönteminden yararlanılarak yapılmıştır. RES ve GES yatırımını etkileyen kapasite faktörlerinin farklı kombinasyonları simüle edilerek, RES ve GES projelerinin net bugünkü değeri ve geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Analiz sonuçlarına göre RES yatırımlarında kapasite faktörünün %26'nın altında olması halinde yatırımın ekonomik olarak yapılabilir olmadığı tespit edilmiştir. Kapasite faktörünün %26'nın üzerine çıkması halinde RES yatırımının yapılabilir olduğu ve geri ödeme süresi olan yatırım amorti süresinin kısaldığı tespit edilmiştir. GES yatırımında kapasite faktörünün %20'nin altında olması halinde yatırımın ekonomik olarak uygulanabilir olmadığı tespit edilmiştir. Kapasite faktörünün %20'nin üzerine çıkması halinde yatırımın yapılabilir olduğu ve geri ödeme süresi olan yatırım amorti süresinin kısaldığı tespit edilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda RES ve GES yatırımlarının uygun kapasite kullanımlarında kazançlı olduğu belirlenmiştir. Büyümekte olan ülkelerden biri olan Türkiye'nin gelecekteki enerji ihtiyacının karşılanmasında, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr ve güneş enerjisinden yararlanması birçok açıdan önemli olacaktır. Bu bağlamda enerji sektörü için alternatif enerji yatırımlarındaki teşvik mekanizmasında yapılabilecek revizyonlar, mevzuat eksikliklerinin giderilmesi,

yatırımcıların bilinçlendirilmesi, alt yapı yatırımlarının yapılması, lisans, finansman yapısı, izin süreçlerinin uygun hale getirilmesi, yatırımlara direkt veya dolaylı finansman kaynağı ve üretilecek elektriğe yönelik alım garantisi sağlanması gibi yapılabilecek iyileştirme çalışmaları girişimcileri enerji sektöründe yatırım yapma konusunda cesaretlendirecektir. Böylece Türkiye’de sürdürülebilir kalkınmanın temelinde yer alan yenilenebilir enerji endüstrisi geliştirecektir.

KAYNAKÇA

- Acaroğlu, M. (2013). *Alternatif enerji kaynakları*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Assereto, M. ve 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.
- Ay, A. (2010). Energy sources and investment project assessment: A case study about wind energy in Turkey. Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, İstanbul.
- Bahgat, G. (2006). Europe's energy security: challenges and opportunities, *International Affairs*, 82(5), 961-975.
- 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, Iceland.
- Bolak, M. (2000). *İşletme finansı*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Boyle vd. (2003). *Energy systems and sustainability power for sustainable future*. Oxford University Press.
- 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).
- Cebeci, S. (2017). Türkiye'de güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyelinin değerlendirilmesi. T.C. Kalkınma Bakanlığı Uzmanlık Tezi, Yayın No:2977.
- Doğan, B. T., Çolakođlu, A. ve Kıncay, O. (2012), RETScreen analiz programı ile Hatay'da rüzgâr enerji santrali fizibilite analizi, *Tesisat Mühendisliği*, 22-27.
- EL-Shimy M., Abdelraheem M.A. ve 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.
- Erkınay, P.U. (2012). Yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr enerjisinin Türkiye'de binalarda kullanımı üzerine bir inceleme. Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Ertürk, M. (2012), The Evaluation of feed-in-tariff regulation of Turkey for onshore wind energy based on the economic analysis, *Energy Policy*, 45, 359-367.
- Frølund, S. G. ve Obling, P. E. (2010). Valuation models for wind farms under development: A real options perspective. Master's Thesis, Copenhagen Business School, Denmark.

- Göker, O. (1996). *Yatırım projelerinin değerlendirilmesi teori ve uygulama*. Atlantis İletişim.
- GWEC (2021). Global Wind Report. Global Wind Energy Council.
- Hamamcıoğlu, V. (2010). Rüzgâr enerjisi kaynaklı elektrik üretiminin teknik/ekonomik analizi ve yöresel uygulaması. Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- IEA (2011). World Energy Outlook 2011. (Çev. Birol,F.), TÜSİAD Yayınları , No: T/2011/12/521. Ankara.
- IEA (2020). Trends in photovoltaic applications report. IEA PVPS T1-38:2020.
- IRENA (2019). Renewable Energy Statistics 2019, The International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- Khindanova, I. (2013). A monte carlo model of a wind power generation investment. *The Journal of Applied Business and Economics*, 15(1), 94-106.
- Kılavuz, T. (2013). Türkiye’de rüzgâr enerjisi yatırımlarındaki devlet teşviklerinin gerçek opsiyonlar ile değerlendirilmesi. Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Koç. E., Şenel. M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu genel değerlendirme. *Mühendis ve Makine*, 54(639), 32-44.
- Liberman, E. J. (2003). A life cycle assessment and economic analysis of wind turbines using monte carlo simulation. Theses and Dissertations. 4227.
- Loncar, D., Milovanovic, I., Rakic, B. ve 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.
- López Prol, J. Ve Steininger, K. W. (2018). The social profitability of photovoltaics in Germany. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 26(8), 631-641.
- Moran, D. ve Sherrington, C. (2007). An economic assessment of windfarm power generation in Scotland including externalities. *Energy Policy*, 35(5), 2811-2825.
- Özçelik, B. D. (2016), Türkiye’de rüzgâr enerjisinin durumu: Karaburun, Urla, Samandağ ve Hereke rüzgâr enerjisi santralleri fizibilite analizi. *Maliye Finans Yazıları*, 106, 49-72.
- Özerdem, B., Özer, S. ve Tosun, M. (2006). Feasibility study of wind farms: A case study for Izmir, Turkey. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 94(10), 725-743.
- Pan, J., Tian, L. ve Shan, H. (2016). The valuation of photovoltaic power generation based on real options. *International Journal of Nonlinear Science*, 21(1), 31-36.
- Ross vd. (2010) *Corporate finance*, Dokuzuncu Baskı, ISBN: 978-007-131308-7,

- Sarıaslan, H. (2006). Yatırım Projelerinin Hazırlanması ve Değerlendirilmesi Planlama-Analiz-Fizibilite, Ankara.
- Simoës, M. G. ve Farret, F. A. (2008). Alternative energy systems design and analysis with induction generators, CRC Press, İkinci Baskı, ISBN. 978-1-4200-5532-0, USA.
- Şen, D., Tunç, M. ve Özilhan, T. (2013). Investment analysis of a new solar power plant. *International Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 2(6), 229-241.
- Tekin, Z. (2014). Sermaye bütçelemesinde geleneksel yöntemlere alternatif olarak reel opsiyonlar yöntemi. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Balıkesir.
- Toptaş, B. (2016). Rüzgâr enerjisi santrali (RES) yatırımlarının değerlemesinde reel opsiyon yaklaşımı ve örnek bir uygulama. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Balıkesir.
- TÜREB (2020, Ocak). Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu. <https://tureb.com.tr/lib/uploads/66fc52919051a660.pdf> (Erişim Tarihi: 19.04.2021).
- Valmala, R. (2017). Project finance: financing of a photovoltaic plant of 750 kW. Master's Thesis, Universidad Pontificia Comillas ICADE Business School, Madrid.
- Vardar, A. ve Çetin, B. (2007). Cost assessment of the possibility of using three types of wind turbine in Turkey. *Energy Exploration & Exploitation*, 25(1), 71-82.
- Vardar, A. ve Çetin, B. (2009), Economic assessment of the possibility of using different types of wind turbine in Turkey, *Energy Sources, Part B*, 4(2), 190-198.
- Venetsanos, K., Angelopoulou, P. ve 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.
- Williams, S. K., Acker, T., Goldberg, M. ve Greve, M. (2008), Estimating the economic benefits of wind energy projects using Monte Carlo simulation with economic input/output analysis. *Wind Energy*, 11(4), 397-414.
- Yanıktepe, B., Kara, O. ve 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.
- YEGM, Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. <http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>, (Erişim Tarihi: 15.09.2015).
- Yılmaz, Z. (2000). *Yatırım projeleri analizi ve yönetimi*, Bursa: Vipaş Yayın.
- http1:

<https://globalsolaratlas.info/download/world> [Erişim Tarihi:22.02.2021]