Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi
Third Sector Social Economic Review
56(4) 2021, 2177-2197
doi: 10.15659/3.sektor-sosyal-ekonomi.21.10.1575

Araştırma Makalesi

Güneş Enerjisi Santrali Yatırımlarının Ekonomik Analizi[1]

Economic Analysis of Solar Power Plant Investment

Melek AKSU	**Şakir SAKARYA**
Araş.Gör. Dr. Balıkesir Üniversitesi	Prof. Dr. Balıkesir Üniversitesi
İİBF Çağış Yerleşkesi,	İİBF Çağış Yerleşkesi
maksu@balikesir.edu.tr	sakarya@balikesir.edu.tr
https://orcid.org/0000-0003-2906-1117	https://orcid.org/0000-0003-2510-7384

Makale Gönderme Tarihi	**Revizyon Tarihi**	**Kabul Tarihi**
22.03.2021	09.08.2021	02.10.2021

Öz

Yenilenebilir enerji kaynakları küresel ısınma ve ülkelerin enerji güvenliği sorunlarının çözümünde önemli bir role sahiptir. Bu nedenle ülkeler enerji üretimlerinde yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmekte ve enerji kaynağı çeşitliliğini artırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi diğer enerji kaynaklarına göre hem daha erişilebilir hem de daha az kirliliğe neden olmaktadır. Bu bağlamda güneş enerjisi yatırımlarının ekonomik açıdan değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada Türkiye'de hipotetik bir fotovoltaik enerji santrali yatırımının ekonomik bağlamda yapılabilirliğinin değerlendirilmesi için indirgenmiş nakit akımı yöntemi kullanılmıştır. İndirgenmiş nakit akımı yöntemi sonucunda hesaplanan yapılabilirlik göstergeleri yatırımın politika mekanizmalarıyla desteklendiği durumda yapılabilir olduğunu gösterirken, yatırımların desteklenmemesi durumunda ekonomik açıdan fotovoltaik yatırımların yapılamayacağı sonucuna ulaşılmıştır. Monte Carlo simülasyonu sonucunda yatırımın net bugünkü değerinin pozitif olma olasılığı yatırımın desteklendiği durumda %64,1, destek olmaması durumunda ise %30,1 olarak tespit edilmiştir.

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

Abstract

Renewable energy sources have an important role in dealing global warming and energy security problems of countries. Therefore, the countries support renewable energy sources in their energy production and increase the diversity of energy sources. Solar energy, one of the renewable energy sources, is more accessible and causes less pollution compared to other energy sources. In this context, it is very important to evaluate solar energy investments economically. In this study, the method of discounted cash flow has been used to evaluate economic viability of a hypothetical large scale photovoltaic investment in Turkey. The results of the discounted cash flows method demonstrate that the investment is economically viable when it is supported by the government incentive, 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.

Keywords: *Solar Power Investments, Capital Budgeting, Economic Analysis*

---

[1] Bu makale Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalında Melek AKSU tarafından Prof. Dr. Şakir SAKARYA danışmanlığında hazırlanan "*Güneş Enerjisi Santrali Yatırımlarının Ekonomik Analizi*" başlıklı doktora tezinden türetilmiştir

Önerilen Atıf /Suggested Citation
Aksu, M., Sakarya, Ş. 2021 Güneş Enerjisi Santrali Yatırımlarının Ekonomik Analizi, *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi*, 56(4), 2177-2197.

1. Giriş

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). 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 ise yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Yenilenemeyen enerji kaynakları bir kez kullanılabilen ve tükenen enerji kaynaklarıdır. 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 ekonomi kalkınma hedeflerine ulaşmalarını zorlaştırmakta ve gelecek nesilleri büyük bir tehlike ile karşı karşıya bırakmaktadır (Batı, 2014, s.28). Yaşanması muhtemel enerji krizlerinin önlenebilmesi noktasında ise 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 dünyada giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Yamamoto, 2018, s.1).Yenilenebilir enerji kullanımının ülkelerde işsizliği düşürmesi, dış ticaret dengelerini olumlu etkilemesi ve çevrenin korunmasını desteklemesi sonucunda ülkelerin ekonomik büyümeleri üzerinde önemli etkisi vardır (Yıldırım ve Kaya, 2020).

Güneş enerjisi, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla daha az çevre kirliliğine neden olmakta ve erişilebilirliğinin yüksek olması nedeniyle de enerji üretiminde ön plana çıkmaktadır. 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).

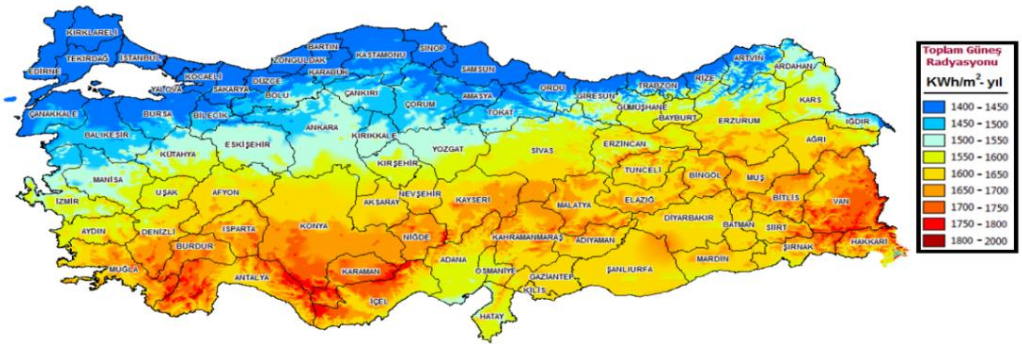
Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığı 2018 yılında %74 civarında gerçekleşmiştir. Enerji kaynakları bazında bakıldığında ise doğalgaza bağımlılığın %99, petrol ürünlerine bağımlılığın ise %95 civarında olduğu görülmektedir (Eurostat). Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığının azaltılabilmesi için yenilenebilir enerji yatırımlarını artıracak politika ve stratejiler oluşturulmalıdır.

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 yatırımlarının ekonomik analizinin yapılması oldukça önemlidir. Bu amaçla hazırlanan bu çalışma altı bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünü takip eden ikinci bölümde Türkiye'de güneş enerjisinin durumu ve yatırımları ele alınmıştır. Üçüncü bölümde dünyada ve Türkiye'de güneş enerjisi yatırımlarının analiz edildiği çalışmalar incelenmiştir. Dördüncü bölüm yöntem bölümü olup bu bölümde araştırmanın amacı, problemi, modeli, grubu, veri toplama araç ve teknikleri ile verinin toplanma süreci yer almaktadır. Beşinci bölüm bulgular bölümü olup verinin analiz sonuçlarını içermektedir. Sonuç bölümünde ise Türkiye'de güneş enerjisi santrali yatırımlarının yapılabilirliği analiz sonuçları doğrultusunda değerlendirilmiş ve önerilerde bulunulmuştur.

2. Türkiye'de Güneş Enerjisinin Genel Görünümü

EPIA (European Photovoltaic Industry Association, 2010) tarafından hazırlanmış olan rapora göre Türkiye Güneş Kuşağı ülkeleri arasında yer almaktadır. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan ülkeler arasında yerini alması Türkiye'de güneş enerjisi yatırımlarının değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır.

Ülkelerin güneş enerjisi potansiyeli yüzölçümlerine ve konumlarına göre değişmektedir. Şekil 1'de 36° – 42° Kuzey paralelleri ile 26° – 45° Doğu meridyenleri arasında bulunan Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli atlası yer almaktadır. Şekil 1'den de görüleceği gibi güneş enerjisi potansiyeli bakımından bölgelerin sıralaması sırasıyla Güneydoğu Anadolu, Akdeniz, Doğu Anadolu, İç Anadolu, Ege, Marmara ve Karadeniz Bölgesi şeklindedir.



Şekil 1. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası

Kaynak: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes (Erişim Tarihi: 10.12.2020).

Türkiye yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahip olmasına ve güneşlenme süresinin uzun olmasına rağmen güneş enerjisi potansiyelini değerlendirmekte bir hayli gecikmiştir. Tablo 1'de Türkiye'nin güneş enerjisinde kurulu gücünün 2015 yılına kadar çok düşük olduğu, sonrasında ise yükselişe geçtiği görülmektedir. Güneş enerjisi sektörüne yapılan yatırımların artması sonucunda Tablo 2'de görüldüğü gibi Türkiye fotovoltaik enerjide dünyada 2016, 2017 ve 2018 yıllarında ilk 10 ülke arasında yerini almıştır.

Tablo 1. 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**
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			

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

Türkiye'de 2017 yılında YEKDEM[2] (Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması) kapsamında güneş enerjisi lisanslı kurulu güç 12,9 MW iken 2019 yılında 81,66 MW büyüklüğe ulaşmıştır. Lisanssız kurulu güç ise 2.350,15 MW'dan 5.552,97 MW'a ulaşmıştır (EXIST Şeffaflık Platformu). Bu bağlamda Türkiye hızlı büyüyen güneş enerjisi piyasalarından biridir.

[2] 5346 sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanunu ile başlayan yenilenebilir enerji kaynaklarını destekleme mekanizmasıdır.

Güneş enerjisinde lisanslı ve lisanssız kurulu güçte yaşanan bu hızlı artış güneş enerjisi yatırımlarının finansal açıdan değerlendirilmesinin Türkiye'nin yenilenebilir enerji sektöründe sürdürülebilir kalıcılık sağlaması açısından oldukça önemlidir.

Tablo 2'de dünyada fotovoltaik enerji piyasasında 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 enerji piyasasındaki konumunu koruyamamıştır.

Tablo 2. İlk 10 Fotovoltaik 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
AB Sıralaması	**3.**	**4.**	**5.**	**4.**	**2.**
	675	818	944	1.621	3.130

Kaynak: IEA PVPS (International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme), 2020 Trends in Photovoltaic Applications Report IEA PVPS T1-38:2020.

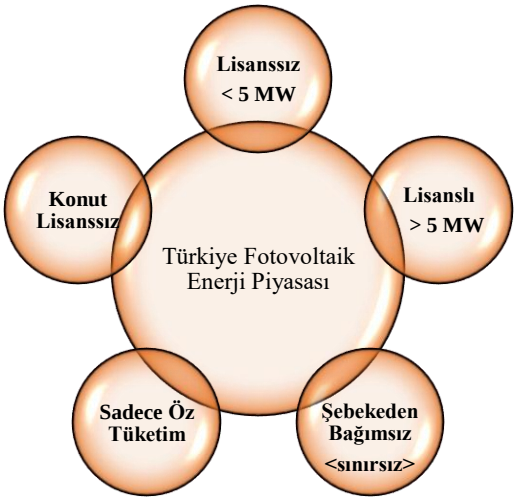
Uluslararası danışmanlık ve denetim şirketi Ernst&Young tarafından hazırlanan Yenilenebilir Enerji Ülke Çekiciliği Endeksi'nde (RECAI) Türkiye Tablo 3'te görüldüğü üzere 2013 yılından 2018 yılına kadar sıralamada 24'ten 18'e gelmiş fakat 2020 yılında 30. sıraya gerilemiştir. Fotovoltaik enerji skorunda ise 37,4'ten 48,3'e bir yükseliş görülmektedir. Fotovoltaik enerji skorundaki bu yükseliş Türkiye'nin fotovoltaik enerji alanında yatırımcıların ilgisini çektiğini göstermektedir. Yenilenebilir enerji özelinde güneş enerjisi alanında yatırım ve uygulamalar için artan bu ilgi güneş enerjisi yatırımlarının ekonomik analizini önemli kılmaktadır. Bu amaçla çalışmada Türkiye'de yapılacak olan bir güneş enerjisi santrali yatırımı finansal açıdan değerlendirilmektedir.

Tablo 3. Yenilenebilir Enerji Ülke Çekiciliği Endeksi (RECAI)

Yıl	Ay	Sıra	RECAI Skoru	Fotovoltaik Enerji Skoru
2013	Mayıs	24	45,9	46,7
2013	Ağustos	24	47,3	37,4
2013	Kasım	24	47,7	47,4
2014	Şubat	23	48,3	48,2
2014	Haziran	20	50,6	26
2014	Eylül	19	50,7	26
2015	Mart	18	51,5	28
2015	Haziran	17	52,0	26
2018	Mayıs	17	51,2	16
2018	Kasım	18	54,6	48
2019	Mayıs	22	53,2	46
2019	Kasım	25	53,0	16
2020	Mayıs	34	45,8	40,1
2020	Kasım	30	52,6	48,3

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

Şekil 2'de Türkiye fotovoltaik enerji piyasasında yapılan yatırım alanları görülmektedir. Lisanslı, lisanssız, konut lisanssız, şebekeden bağımsız ve sadece öz tüketim amacıyla güneş enerjisi sektöründe yatırımlar yapılmaktadır.



Şekil 2. Türkiye Fotovoltaik Enerji Piyasası

Kaynak: Orta Karadeniz Kalkınma Ajansı Çorum Yatırım Destek Ofisi, 2018.

3. Literatür

Büyük ölçekli GES yatırımlarının ekonomik analizine ilişkin literatürde yer alan çalışmalar ile Türkiye'de fotovoltaik enerji yatırımlarının incelendiği çalışmalardan bazıları Tablo 4'te özetlenmiştir.

Türkiye'de GES yatırımlarının ekonomik analizinin yapıldığı çalışmalarda net bugünkü değer (NBD), iç kârlılık oranı (İKO) ve geri ödeme süresi (GÖS) gibi ortak yöntemler kullanmıştır. Ertürk (2011) bu üç yönteme ek olarak seviyelendirilmiş enerji maliyetine (LCE/LCOE) göre GES maliyetini hesaplamış olup Monte Carlo ile yatırımların belirsizlik analizini yapmıştır. Şen, Tunç ve Özilhan (2013) ayrıca yatırımın kârlılığı ve minimum kabul edilebilir getiri oranı yöntemlerine göre de santral yatırımlarını değerlendirmiştir. Cebeci (2016) de Ertürk (2011)'ün çalışmasına paralel olarak seviyelendirilmiş enerji maliyetine göre GES maliyetini hesaplamış ve indirgenmiş geri ödeme süresi (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 1000 KW'lik ölçekler arasındaki ilişkiyi incelemiş olup ölçek büyüklüğünün yatırımın getiri oranı üzerinde oldukça etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Hacıbebekoğlu, Oğuz Yiğitbaşı ve Çetinel (2011) ve Ertürk (2011) çalışmalarında negatif NBD hesaplarken 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)'ın çalışması GES yatırımların da lokasyon ve panel verimliliğinin önemli kriterler olduğunu ortaya koymuştur.

Tablo 4. Literatür Taraması

> 5 MW Fotovoltaik Enerji Santrali Yatırımları Değerleme Çalışmaları					Türkiye'de Yapılan Fotovoltaik Enerji Yatırımları Değerleme Çalışmaları					
	Yazar	**Yıl**	**Ülke**	**Ölçek**		**Yazar**	**Yıl**	**Ülke**	**Ölçek**	**Yöntem**
	Awerbuch	2000	Hawai	50 MW		Şen, Tunç ve Özilhan	2013	Türkiye (Konya)	10 MW	NBD, ROI, MARR
	El-Shimy	2009	Mısır	10 MW		Ertürk	2011	Türkiye	279,075MW 65,925 MW	NBD, İKO, LCE, GÖS, Kapanış fiyatı, Belirsizlik Analizi (Monte Carlo)
	Aldali ve Ahwide	2013	Libya	50 MW		Hacıbebekoğlu, Oğuz Yiğitbaşı ve Çetinel	2011	Türkiye (Diyarbakır)	1,0285 MW	NBD
	Aguilar	2015	Gana	100 MW		Cebeci	2016	Türkiye (Konya)	1 MW	NBD, İKO, LCOE, İGÖS
	Bustos, Toledo, Contreras ve Fuentes	2016	Şili	30 MW		Yanıktepe, Kara ve Özalp	2017	Türkiye (Osmaniye)	1 MW	NBD, GÖS, İKO
	Pan, Tian ve Shan	2016	Çin	10 MW		Ertuğrul ve Saldı	2020	Türkiye	250KW, 500KW ve 1000KW	ROI, GÖS
	Harris	2017	Kuzeydoğu Nevada (ABD Eyaleti)	10 MW						
	EL-Shimy, Abdelraheem ve Said	2017	Mısır	10 MW						
	Bigoni	2018	İtalya (Sicilya Adası)	10 MW						

4. Yöntem

4.1. Araştırmanın Amacı ve Problemi

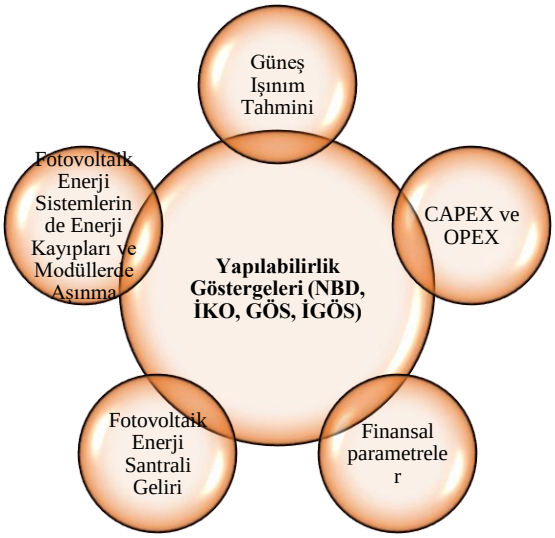
Bu araştırmanın amacı Türkiye'de 2021 yılında 10 MW ölçeğinde kurulacağı varsayılan bir fotovoltaik enerji santrali yatırımının finansal açıdan değerlendirilerek proje değerleme yöntemlerinden net bugünkü değer, iç karlılık oranı, statik ve dinamik geri ödeme süresi yöntemlerine göre yatırımların yapılabilirliğinin ortaya konulmasıdır.

Bu amaç doğrultusunda araştırmanın problemleri aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

1. Türkiye'de yapılacağı düşünülen bir fotovoltaik enerji santrali yatırım projesi sermaye bütçelemesi yöntemleri arasında yer alan net bugünkü değer ve iç karlılık oranı yöntemlerine göre yapılabilir mi?
2. Türkiye'de yapılacağı düşünülen bir fotovoltaik enerji santrali yatırım projesinin geri ödeme süreleri statik ve dinamik geri ödeme süresi yöntemlerine göre kaç yıldır?
3. Güneş enerjisi üretimini YEKDEM kapsamında destekleyen uygulamaların olmaması durumunda da santral yatırımları ilk iki problemde bahsi geçen yöntemlere göre yapılabilir mi?

4.2. Araştırmanın Modeli ve Grubu

Bu araştırmanın modeli Şekil 3'te görüldüğü gibi hazırlanmıştır. Fotovoltaik enerji santral yatırımlarının yapılabilirlik göstergelerinin hesaplanabilmesi için bazı verilerin sağlanması ve hesaplanması gerekmektedir. Bu kapsamda santralin kurulduğu lokasyonun güneş ışınım tahmininin yapılması, enerji kayıplarının ve modüllerde yıllar itibariyle meydana gelecek aşınma oranının belirlenmesi, sermaye harcamaları (CAPEX-Capital Expenditures) ile operasyonel harcamaların (OPEX-Operational Expenditures) 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 v.b. finansal parametrelerin belirlenmesi gereklidir.



Şekil 3. Araştırmanın Modeli

Türkiye'de güneşlenme süresi ve ışınımı açısından verimliliği yüksek illerin başında Konya gelmektedir. Konya'da yeryüzü şekillerinin engebesiz olması aynı zamanda santral kurulum maliyetlerini de azaltmaktadır. Bu nedenlerle Türkiye'de fotovoltaik enerji santrali sayısı bakımından Konya ili Türkiye'de ilk sıradadır (http-1). Bu nedenler doğrultusunda çalışmanın araştırma grubunu oluşturan santral yatırımının Konya ili, Ereğli ilçesi, Zengen Köyü'nde yapılacağı varsayılmıştır. Fotovoltaik enerji santrallerinin ekonomik analizi için 10 MW ölçeğinde 30 yıl ekonomik ömre sahip şebeke ölçeğinde hipotetik bir santral yatırımı çalışmanın araştırma grubunu oluşturmaktadır.

4.3. Araştırmanın Verileri

Çalışmanın bu bölümünde Şekil 3'te gösterilen araştırma modeline ilişkin verilerin toplanma süreci yer almaktadır. Araştırmanın varsayımları Tablo 5'te gösterilmektedir.

Tablo 5. Araştırmanın Varsayımları

Maliyete İlişkin Varsayımlar:				
	Varsayım	**Birim**	**Değer**	**Kaynak**
1	İlk Kurulum Maliyeti	$/MW	649.895	IRENA (2020)
2	İşletmeden Çıkarma Maliyeti (2051)	$/MW	70.256	Weaver (2020)
3	OPEX	$/MW/yıl	CAPEX'in %1,5	IRENA Global Atlas
4	OPEX artışı (t=15)	$/MW/yıl	CAPEX'in %0,35	NREL (National Renewable Energy Laboratory)
Gelire İlişkin Varsayımlar:				
5	Yerli Aksam Teşviği	₺/MWh	8	Resmi Gazete
6	Elektrik Fiyatları	$/MWh	İlk yıl satış fiyatı için EPIAŞ EXIST 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.		
Elektrik Üretimine İlişkin Varsayımlar:				
7	Modül Düzlemindeki Enerji	MW	135.721	SOLARGIS güneş ışınım verisine bağlı olarak hesaplanmıştır.
8	Enerji Kayıp Oranı	%	21,1	IEA (2017)
9	Modül Verimlilik Oranı	%	19,6	Yingli Solar
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.	
Finansal Varsayımlar:				
12	Özsermaye Oranı	%	25	Dünya Bankası (2014)
13	Borç Oranı	%	75	Dünya Bankası (2014)
14	İskonto Oranı (AOSM)	%	11,04	Damodaran Online veri setlerine dayalı olarak hesaplanmıştır.
15	Kurumlar Vergisi Oranı	%	20	GİB (2020) (Gelir İdaresi Başkanlığı)
16	Amortisman Süresi	yıl	10	GİB (2020)

17	Amortisman Oranı	%	10	GİB (2020)
18	Borçlanma Faiz Oranı (US$ Ticari Kredi-2021)	%	5,76	TCMB (2020) (Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası Elektronik Veri Dağıtım Sistemi)
19	Borç Ödeme Süresi	yıl	10	
20	Risksiz Faiz Oranı	%	5,75	US900123CM05 (11.05.2047 Eurobond)
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) (International Monetary Fund)
24	ABD doları ortalama alış kuru (2015-2020)	$/₺	4,48	TCMB (2020)

Diğer Varsayımlar:

25İşletme sermayesi ihmal edilmiştir.

26 Hurda değer ihmal edilmiştir.

27 Yatırım dönemi santralin ekonomik ömrü olarak varsayılan 30 yıldır.

28 Karbon gelirleri ihmal edilmiştir.

4.3.1. Enerji Üretim Miktarının Hesaplanması

SOLARGIS Prospect uygulamasından Zengen Köyü yakınlarında yer alan 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 açı elde edilmiş olup ilgili veriler Tablo 6'da gösterilmiştir.

Küresel eğimli ışınım verisinden yola çıkarak modül düzlemindeki enerji miktarı hesaplanmıştır. Çalışmada modüllerin verimlilik oranı olarak şebeke ölçeğinde santral kurulumlarında tercih edilen Yingli Solar marka fotovoltaik modüllerin arasında verimliliği en düşük olan modülün verimlilik oranı olan %19,6 kabul edilmiştir. Verimliliği en düşük modelin seçilme nedeni çalışmada varsayılan santral ölçeğine yakın ölçekte faaliyet gösteren Konya'da kurulu lisanslı fotovoltaik santrallerin yaklaşık 19.000 MWh/yıl elektrik üretmesinden dolayı bu üretim miktarının varsayımlar altında en düşük performansa sahip modüller ile yapılan üretimde gerçekleşeceğinin düşünülmesidir. Bu verimlilik oranı hesaba katıldığında santralde üretilen enerji miktarının 26.601 MW olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 6. Modül Düzlemine Düşen Enerji Miktarı

Ay	GTI (küresel eğimli ışınım) (kWh/m^2/gün) *	Gün/Ay	Aylık güneş ışınımı (kWh/m^2)	Yüzeye 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
Kurulu modüllerin toplam alanı (m^2)*	64.680			
Fotovoltaik modüllerinin geometrisi*	Azimut: 180° • Eğim: 33°			
Modül düzlemindeki enerji (MW)***	135.721			
Üretilen enerji (MW)****	26.601			

Yazarlar 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^2)*Kurulu modüllerin toplam alanı (m^2)/1.000 formülü ile hesaplanmıştır.

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

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

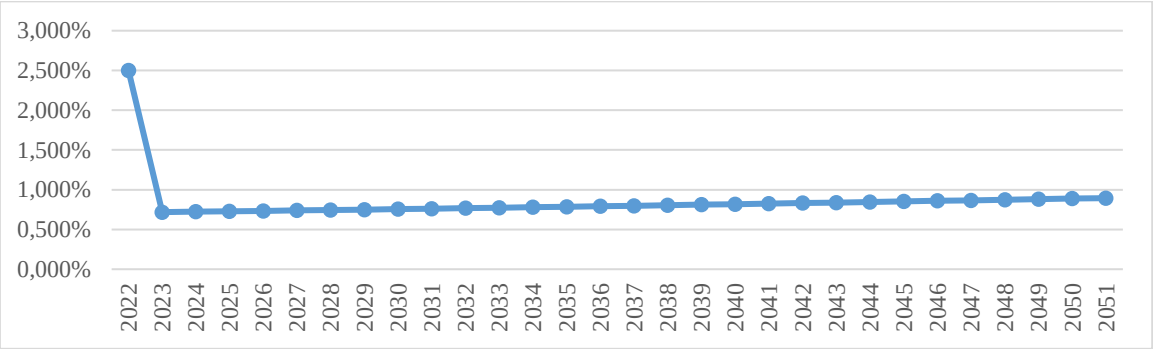
Fotovoltaik enerji santrallerinde üretilen enerji gölgelenme, yansıma, tozlanma, kablo kayıpları ve uyumsuzluk gibi birçok faktöre bağlı olarak kayba uğramaktadır. Çalışmada IEA (2017)'nın Tablo 7'de görülen enerji kayıp oranı varsayımları kullanılmış olup kayıplardan sonra şebekeye verilen enerji miktarı hesaplanmıştır. Tablo 7'de görüldüğü üzere %21,10 oranında enerji kaybından sonra şebekeye verilen enerji miktarı 21.484 MWh olarak hesaplanmıştır.

Tablo 7. Şebekeye Verilen Elektrik Miktarının Hesaplanması

Üretilen enerji	**MWh/yıl**	**26.601**
Gölgelenmeye bağlı ışınım kaybı	2%	26.069
Yansıma kaynaklı modül kaybı	3%	25.287
Tozlanma kaynaklı ışınım kaybı	2%	24.781
Dizi nominal enerji	**MWh/yıl**	**24.781**
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
Maksimum güç noktasında gerçekleşen dizi dc-çıktısı	**MWh/yıl**	**22.366**
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
Şebekeye verilen enerji	**MWh/yıl**	**21.484**

Yazarlar tarafından hazırlanmıştır.

Modüllerin aşınma oranı santralin elektrik üretiminin hesaplanması noktasında büyük önem taşınmaktadır. Bu çalışmada modüllerin aşınma oranı Yingli Solar marka modül performanslarının 25 yıllık verisine dayalı olarak hesaplanmış olup sonraki 5 yıllık süreçte de aşınmanın benzer oranlarda artacağı varsayılmıştır. Santralin 30 yıllık ekonomik ömrü boyunca modüllerde meydana gelecek aşınma oranları Grafik 1'de görülmektedir.



Grafik 1. Modüllerde Meydana Gelecek Aşınma Oranları

4.3.2. Fotovoltaik Enerji Santrali Gelirlerine İlişkin Parametreler

Fotovoltaik enerji santrallerinde toplam gelir elektrik satışından elde edilen gelir ve 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 fotovoltaik santrallerin desteklenmesi hususunda 30.01.2021 tarihli Cumhurbaşkanı 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 (Enerji Piyasaları İşletme A.Ş.) EXIST 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.

4.3.3. Sermaye Harcamaları (CAPEX) ve Operasyonel Harcamalar (OPEX)

Türkiye'de 2019 yılı fotovoltaik enerji üretim santrali kurulumlarının sermaye harcamalarına ilişkin veri IRENA (2020)'dan elde edilmiş olup araştırmada kurulması planlanan santralin kurulacağı 2021 yılına kadar maliyetlerin IRENA maliyet veri tabanında son üç yılda Türkiye'de şebeke ölçeğinde fotovoltaik enerji santrali kurulum maliyetinin ortalama %16 azaldığı ve son yılda %24 oranında azalış olduğu verisine dayanarak yılda %16 oranında düşeceği varsayılmıştır. 2021 yılı fotovoltaik enerji santrali kurulum maliyeti bileşenleri Tablo 8'de detaylı olarak gösterilmektedir.

Tablo 8'de yer alan CAPEX'lere ilaveten santralin ekonomik ömrünün sonunda işletmeden çıkarma maliyetinin olacağı varsayılmıştır. Fotovoltaik sistemlerde 2020 yılı işletmeden çıkarma maliyetini Weaver (2020) 35.000 $/MW olarak tahmin etmiştir. Ekonomik ömrün sonunda nakit çıkışı yaratacak olan işletmeden çıkarma maliyetinin 2020 yılı değerinin 2021-2025 yılları arasında beklenen ABD doları ortalama enflasyon oranı kullanılarak 2051 yılındaki değeri 70.256$/MW olarak hesaplanmıştır.

Tablo 8. Türkiye'de Şebeke Ölçeğinde Fotovoltaik Santral Kurulum Maliyetinin Bileşenleri*

		Birim	Değer
Modül ve invertör	Modül	$/MW	252.981
	İnvertör	$/MW	44.676
Sistem dengeleyicileri donanımı	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
Kurulum	Mekanik kurulum	$/MW	34.964
	Elektriksel kurulum	$/MW	22.651
	Kontrol	$/MW	3.980
Yumuşak maliyetler	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

*IRENA (2020) fotovoltaik enerji santrali kurulum maliyeti verisi ve kurulum maliyetlerinde yıllar bazında gerçekleşen azalma verisine dayalı olarak Yazarlar 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). Yıllar içerisinde OPEX'te beklenen ABD doları ortalama enflasyon oranı ölçüsünde her yıl artış olacağı öngörülmüştür.

4.3.4. Finansal Parametreler

Çalışmada kullanılan finansal parametreler ve değerleri Tablo 5'te gösterilmiştir.

Fotovoltaik enerji santrali 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.

Fotovoltaik enerji santrali yatırımlarının ağırlıklı ortalama sermaye maliyetinin hesaplanması için öncelikle özsermaye ve borç sermaye maliyetinin hesaplanması gerekmektedir. Özsermaye maliyetinin hesaplanmasında Sermaye Varlıklarını Fiyatlama Modeli (Ross, Westerfield and Jaffe, 2003, s.279)'nden yararlanılmış olup Denklem 1 aracılığıyla hesaplanmıştır.

$$k_e = r_f + \beta \times r_p \quad \textbf{(1)}$$

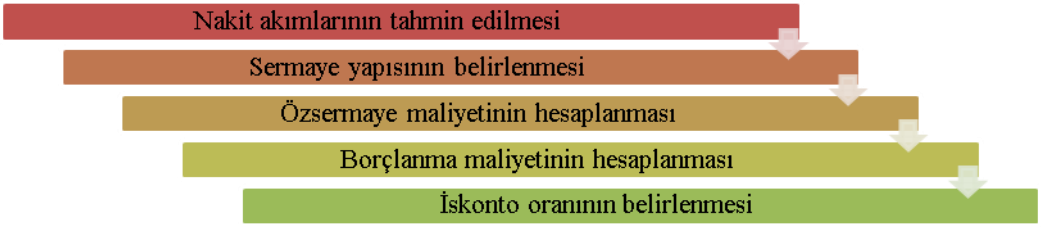
Denklemde yer alan risksiz faiz oranı olarak 2047 vadeli US900123CM05 kodlu Eurobond'un faiz oranı kullanılmıştır. Beta (β) varsayımı ise Damodaran Online'da Sektör Bazında Beta veri setinde yer alan Avrupa'da yeşil ve yenilenebilir enerji sektöründe faaliyet gösteren 49 şirketin ortalama kaldıraçsız betasının çalışma kapsamında değerlendirilen fotovoltaik enerji santrali yatırımının sermaye yapısına göre düzeltilmesi sonucunda hesaplanmıştır. Risk primi (r_p) olarak da Damodaran Online'da Risk Primi veri setinde Türkiye için hesaplanmış olan oran kullanılmıştır.

Özsermaye ve borç sermayenin maliyetlerinin sermaye yapısı içerisindeki ağırlıkları ile ağırlıklandırılması sonucunda ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti hesaplanmıştır.

4.4. Fotovoltaik Enerji Santrali Yatırımlarının Finansal Modellemesinde Kullanılan İndirgenmiş Nakit Akım Yöntemi

İndirgenmiş nakit akımı yöntemine göre bir projenin değeri, projenin yarattığı nakit akımı, nakit akımlarının zamanlaması ve nakit akımı ile ilişkili risklerden oluşan üç değişkenin fonksiyonu (Sipahi, Yanık ve Aytürk, 2016, s.102) olarak belirlenmektedir.

Proje değerlemede indirgenmiş nakit akım yönteminin uygulanması için Şekil 4'te yer alan adımlar izlenmektedir.



Şekil 4. İndirgenmiş Nakit Akımlarının Hesaplanma Aşamaları

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). Projenin NBD'si Denklem 2 aracılığıyla hesaplanmaktadır (Beninga, 2008, s.6).

$$NBD = \sum_{t=1}^{n} \frac{C_t}{(1+k)^t} + C_0 \qquad \textbf{(2)}$$

C:Nakit Akımı; C_0: Yatırım Tutarı (çoğu durumda $C_0<0$); k: iskonto oranı

İndirgenmiş nakit akım değerleme tekniklerinden bir diğeri nakit akımlarının net bugünkü değeri üzerine kurulu iç kârlılık oranı (İKO) yöntemidir. İç kârlılık oranı projenin nakit giriş ve çıkışlarının bugünkü değerini birbirine eşitleyen iskonto oranıdır.

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

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 bu durumda iskonto oranı İKO'ya eşittir (Arnold ve Nixon, 2011, ss.81-82).

5. Bulgular

Fotovoltaik enerji santrali yatırımlarının analizi için toplanan veri Microsoft Excel uygulamasında analiz edilmiştir. Hipotetik santral yatırımının yapılabilirlik göstergeleri arasında yer alan NBD, İKO, GÖS ve İGÖS değerlerine ilişkin elde edilen sonuçlar Tablo 9'da sunulmuştur. 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 de Tablo 9'da yer verilmiştir. Destek olmaması durumunda yatırımın yapılamayacağı kararının verilmesi nedeniyle ilave göstergeler hesaplanamamıştır.

Tablo 9. Fotovoltaik Enerji Santrali Yatırımı Yapılabilirlik Göstergeleri

	Destek Var	Destek Yok
NBD (ABD doları)	496.253	-618.618
İKO (%)	12,16	10
GÖS (yıl)	7,24	9,15
İGÖS (yıl)	18,62	0,00

	Destek Var
Anapara geri alınma süresi (yıl)	7,24
Anapara+faizin geri alınma süresi (yıl)	18,62
Faizlerin geri alınma süresi (yıl)	11,38
Santralin kârlı çalıştığı süre (yıl)	11,38
Santralin zaman riski (%)	0,62

Fotovoltaik enerji santrali yatırımlarının YEKDEM kapsamında desteklendiği durumda pozitif NBD, hiçbir politika aracı ile desteklenmediği durumda ise negatif NBD hesaplanmıştır. Fotovoltaik enerji yatırımının İKO'sunun YEKDEM kapsamında desteklenilen durumda %12,16 ile Tablo 5'te %11,04 olarak belirtilen ağırlıklı ortalama sermaye maliyetinden yüksek olduğu fakat desteklenmediği durumda ağırlıklı ortalama sermaye maliyetinin altında kaldığı tespit edilmiştir.

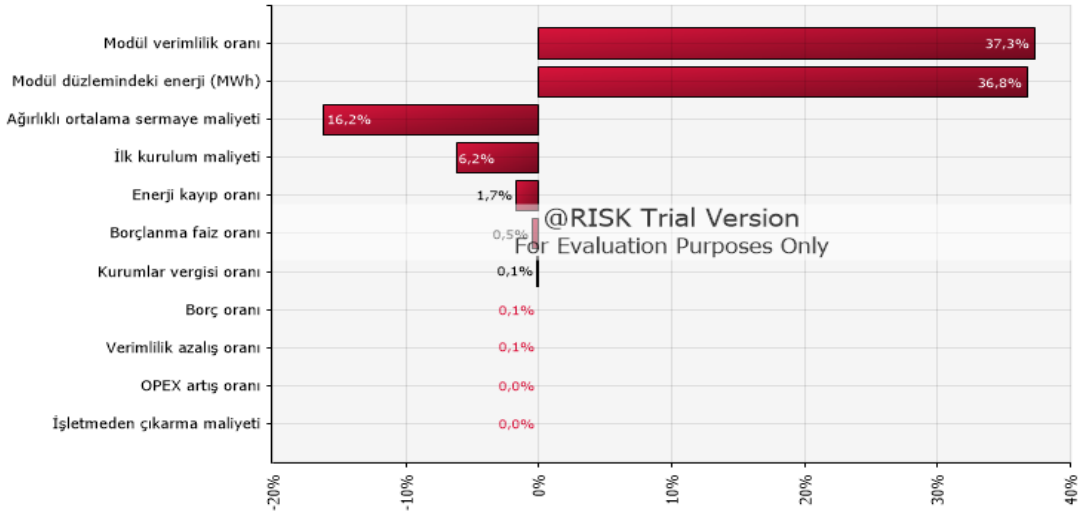
Geri ödeme süreleri ise desteklenilen ve desteklenmeyen durumlarda sırasıyla 7,24 ve 9,15 yıl olarak hesaplanmıştır. İndirgenmiş geri ödeme süresi ise destekten yararlanılan durumda 18,62 yıl olarak hesaplanırken, desteksiz durumda yatırımın yapılmaması kararı sonucunda hesaplanamamıştır. Fotovoltaik enerji santrali yatırımlarının desteklenmesi durumunda 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 hesaplanmıştır.

İndirgenmiş nakit akımı modeli Monte Carlo Simülasyonu ile 100.000 kere denenmiş ve simülasyon sonucunda elde edilen olasılık dağılımında yatırımın NBD'sinin 0'dan büyük olma olasılığı desteklenilen 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 5 ve Şekil 6'da destek olması ve

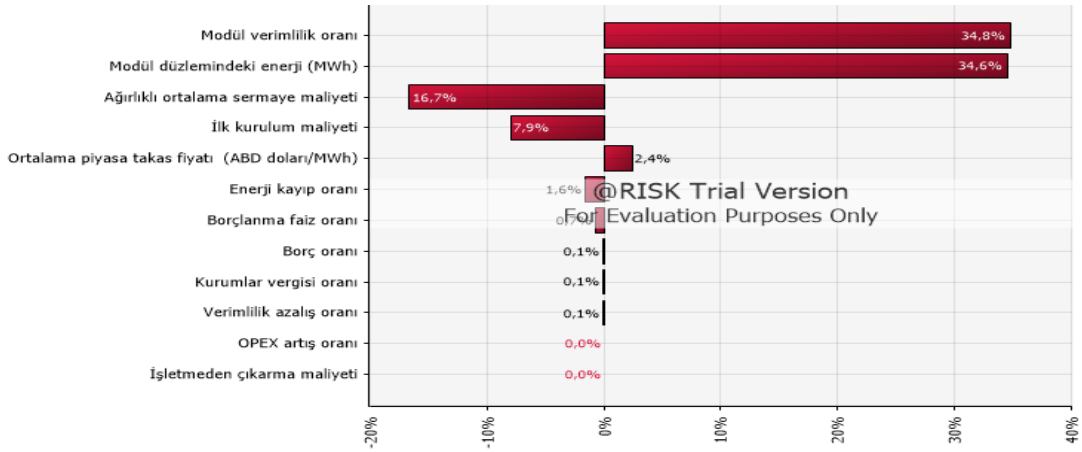
olmaması durumlarında Monte Carlo simülasyonu ile elde edilen duyarlılık analizi sonuçlarına yer verilmiştir.

Şekil 5'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 5. Yatırımın Desteklenmesi Durumunda Duyarlılık Analizi Sonuçları

Şekil 6'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.



Şekil 6. Yatırımın Desteklenmemesi Durumunda Duyarlılık Analizi Sonuçları

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

Duyarlılık analizi sonuçları fotovoltaik enerji santrali kurulumunda modül ve lokasyon seçiminin oldukça önemli olduğunu göstermektedir. Ağırlıklı ortalama sermaye maliyetinin risksiz faiz oranı, risk primi ve beta aracılığıyla hesaplanan bir iskonto oranı olması nedeniyle bu oranın yatırımın NBD'sini etkileyen önemli faktörlerden biri olması ülkenin politik ve finansal istikrarı ile yatırımcılarda güven oluşturmasının gerekliliğini ifade etmektedir.

6. Sonuç ve Tartışma

Türkiye'de enerji ithalatından kaynaklanan yüksek cari açığın kapanması 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. 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 kurulması planlanan hipotetik bir fotovoltaik enerji santrali yatırımının ekonomik analizine yer verilmiştir. Yatırımların ekonomik açıdan yapılabilirliğini araştıran bu çalışmada indirgenmiş nakit akımları yönteminden yararlanılmıştır. İlgili projenin yapılabilirliği Net Bugünkü Değer (NBD), İç Karlılık Oranı (İKO), Geri Ödeme Süresi (GÖS) ve İndirgenmiş Geri Ödeme Süresi (İGÖS) yöntemlerine göre hesaplanmıştır.

Fotovoltaik santral yatırımının yapılabilirliği YEKDEM kapsamında desteklendiği durum ve fotovoltaik santrallerin hiçbir politika aracı ile desteklenmediği durum olarak iki farklı durumda değerlendirilmiştir.

Fotovoltaik enerji yatırımlarında YEKDEM kapsamındaki destekten yararlanılan 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 yararlanılan ve yararlanılmayan durumlarda sırasıyla 7,24 ve 9,15 yıl olarak hesaplanmıştır. İndirgenmiş geri ödeme süresi destekten yararlanılan durumda 18,62 yıl olarak hesaplanırken, desteksiz durumda yatırımın yapılmaması kararı sonucunda indirgenmiş geri ödeme süresi hesaplanamamıştır. Monte Carlo Simülasyonu sonucunda yatırımın NBD'sinin 0'dan büyük olma olasılığı YEKDEM desteğinden yararlanıldığı durumda %64,1, destek olmaması durumunda ise %30,1 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar Türkiye'de fotovoltaik enerji yatırımlarının destekleyici mekanizmalara ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. Duyarlılık analizi sonucunda da yatırımın net bugünkü değerini etkileyen en önemli üç parametrenin üretim parametrelerinden modül verimlilik oranı ve enerji miktarı ve finansal parametrelerden iskonto oranı olarak kullanılan ağırlıklı ortalama sermaye maliyeti olduğu tespit edilmiştir.

Fotovoltaik enerji yatırımlarının politika araçlarıyla desteklenmesi durumunda yatırımların yapılabilirlik noktasında daha yüksek değerlere ve daha kısa geri ödeme sürelerine sahip olması yatırımcıların bu sektöre olan ilgisini artıracak ve Türkiye yüksek güneş enerjisi potansiyeline rağmen yıllarca geri planda kaldığı fotovoltaik enerji piyasasında sürdürülebilir kalıcılık sağlayabilecektir. Türkiye'nin fotovoltaik enerji 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 ulaşılması noktasında hayati önem arz etmektedir.

Kaynakça

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., & 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.

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,

Aldali, Y., & 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.

Arnold, T., & 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.

Awerbuch, S. (2000). Investing in photovoltaics: risk, accounting and the value of new technology. *Energy Policy, 28,* 1023-1035.

Batı, O. (2014). Türkiye'de yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilir kalkınmaya etkisi konusunda bir alan araştırması. *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 16*(2), 27-38.

Beninga, S. (2008). Financial modelling. 3rd ed. The MIT Press. Cambridge, Massachusetts London, England.

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.

Bustos, F., Toledo, A., Contreras, J.& Fuentes, A. (2016). Sensitivity analysis of a photovoltaic solar plant in Chile. *Renewable Energy*, 87, 145-153.

Cebeci, S. (2017). Türkiye'de güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyelinin değerlendirilmesi. Ankara: T.C. Kalkınma Bakanlığı Uzmanlık Tezi.

Damodaran Online, http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datacurrent.html (Erişim Tarihi: 10.01.2021).

Darling, S. B., You, F., Veselka, T. & Velosa, A. (2011). Assumptions and the levelized cost of energy for photovoltaics. Energy & Environmental Science 4(9), 3133–3139.

Dünya Bankası, Sindh Solar Energy Project (P159712). http://pubdocs.worldbank.org/en/115591526379293210/PAD-Annex-P159712-Economic-Financial-Analysis.pdf. (Erişim Tarihi: 10.01.2021).

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.

EPIA (2010). Unlocking the Sunbelt potential of photovoltaics. October, 2010.

Ernst&Young (2013). Renewable energy country attractiveness index, Issue 37, May 2013.

Ernst&Young (2013). Renewable energy country attractiveness index, Issue 38, August 2013.

Ernst&Young (2013). Renewable energy country attractiveness index, Issue 39, November 2013.

Ernst&Young (2014). Renewable energy country attractiveness index, Issue 40, February 2014.

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.

Ertuğrul, M., & 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.

Eurostat, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/t2020_rd320/default/table?lang=en (Erişim Tarihi: 10.01.2021).

EXIST Şeffaflık Platformu, https://seffaflik.epias.com.tr/transparency/uretim/yekdem/kurulu-guc.xhtml (Erişim Tarihi: 10.01.2021).

GİB (2020). https://www.gib.gov.tr/sites/default/files/fileadmin/user_upload/Yararli_Bilgiler/amortisman_oranlari.pdf. (Erişim Tarihi: 13.12.2020)

Hacıbebekoğlu, M., Oğuz Yiğitbaşı, G. 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. (Erişim tarihi: 10.05.2021).

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.

IEA (2017). Technical assumptions used in pv financial models review of current practices and recommendations. Report IEA-PVPS T13-08:2017. May, 2017.

IEA (2020). IEA PVPS 2020 Trends in photovoltaic applications report IEA PVPS T1-38:2020.

IMF (2020). World Economic Outlook Database. https://www.imf.org/en/Publications/WEO/weo-database/2020/October. (Erişim Tarihi: 13.12.2020).

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

IRENA (2020). Renewable power generation costs in 2019, International Renewable Energy Agency.

Kodukula, P., & Papudesu, C. (2006). Project valuation using real options a practitioner's guide. J. Ross Publishing.

NREL, (2015). Best practices in pv system operations and maintenance, Version 1.0.

Okka, O. (2015). Finansal Yönetim. 6. Basım. Ankara: Nobel Yayıncılık.

Orta Karadeniz Kalkınma Ajansı Çorum Yatırım Destek Ofisi (2018). http://www.investcorum.com/Documents/yenilenebilir-enerji-yatirimlari-16.pdf (Erişim Tarihi: 10.01.2021).

Pan, J., Tian, L., & Shan, H. (2016). The valuation of photovoltaic power generation based on real options. *International Journal of Nonlinear Science, 21*(1), 31-36.

RENAC (Renewables Academy), IET (International Energy Transition) & IRENA (International Renewable Energy Agency) (2014). Economic assessment of pv and wind for energy planning.

Ross, S. A., Westerfield, R. W., & Jaffe, J. (2003). Corporate finance. Sixth Edition. McGraw-Hill Companies

Sipahi, B., Yanık, S., & Aytürk, Y. (2016). Şirket değerleme yaklaşımları ilkeler-yöntemler-uygulamalar. Seçkin Yayıncılık. İkinci Baskı. Mart 2016, Ankara.

SOLARGIS Prospect. apps.solargis.com/prospect.

Şen, D., Tunç, M., & Özilhan, T. (2013). Investment analysis of a new solar power plant. *International Journal of Renewable and Sustainable Energy, 2*(6), 229-241.

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).

Weaver, J. F. (2020). https://commercialsolarguy.com/2020/03/20/what-to-do-with-old-solar-panels/. (Erişim tarihi: 10.01.2021).

Yamamoto, Y. (2018). Feed-in tariffs and the economics of renewable energy. Springer International Publishing AG, Switzerland.

Yanıktepe, B., Kara, O., & 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, https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes (Erişim Tarihi: 10.12.2020).

Yıldırım, U., & Kaya, M. V. (2020). Yenilenebilir enerji: Tarihsel ve teorik bir bakış. *Üçüncü Sektör Sosyal Ekonomi Dergisi, 55*(4). 2420-2433.

http-1, http://www.konyadayatirim.gov.tr/sektor.asp?SayfaID=1. (Erişim Tarihi: 28.01.2021).

Research Article

Güneş Enerjisi Santrali Yatırımlarının Ekonomik Analizi

Economic Analysis of Solar Power Plant Investments

Melek AKSU	**Şakir SAKARYA**
Araş.Gör. Dr. Balıkesir Üniversitesi	Prof. Dr. Balıkesir Üniversitesi
İİBF Çağış Yerleşkesi,	İİBF Çağış Yerleşkesi
maksu@balikesir.edu.tr	sakarya@balikesir.edu.tr
https://orcid.org/0000-0003-2906-1117	https://orcid.org/0000-0003-2510-7384

Extensive Summary

Renewable energy sources have a significant role in preventing potential energy crises. In addition, renewable energy sources are becoming more important in the world, as they provide benefits such as reducing global warming and energy security problems, increasing energy source diversity and creating new business opportunities.

The dependency rate of Turkey on energy import was around 74% in 2018. On the basis of energy resources, it is seen that dependency rate on natural gas import is 99% and dependency on petroleum products is around 95% (Eurostat). To reduce energy dependency of Turkey on the outside energy policies and strategies that increases renewable energy investments should be established.

The number of sunny days and the duration of sunshine in Turkey is higher than many countries that are in the forefront in solar energy sector. Despite this locationally higher solar power, Turkey is late to produce energy from solar. Therefore, economic analysis of solar power plant investment in Turkey is very important.

In order to calculate the viability indicators of photovoltaic power plant investments, several parameters which are the solar radiation estimation of the location where the plant is installed, determination of energy losses and the rate of degradation of the modules over the years, determination of capital expenditures (CAPEX) and operational expenses (OPEX), sales price, capital structure composition, cost of capital, corporate tax rate, interest rate, debt payment period, depreciation period and depreciation rate were determined.

A positive NPV is calculated when the photovoltaic power plant investments are supported by government mechanisms, and negative NPV is calculated if it is not supported by any policy instrument. It has been determined that the IRR of the photovoltaic energy investment is higher than the weighted average cost of capital by 12.16% in the case support, but the IRR of the investment is below the weighted average capital cost when it is not supported.

Static payback periods are calculated as 7.24 and 9.15 years for supported and unsupported cases, respectively. While the dynamic payback period was calculated as 18.62 years in the case of benefiting from the support. The dynamic payback period could not be calculated as a result of the decision not to make the investment without support. It has been calculated that if the photovoltaic power plant investments are supported, the plant must operate for 7.24 years to get the capital, 18.62 years to recover the principal and interests, and the period when the plant operates profitably is 11.38 years.

The discounted cash flow model was simulated 100,000 times with Monte Carlo Simulation. As a result, the probability of NPV of the investment being positive is 64.1% in the supported case and 30.1% in the absence of support. A sensitivity analysis is used to determine how the parameters affect the NPV of the photovoltaic investment. As a result of the sensitivity analysis, efficiency rate of modules, amount of energy production and discount rate (weighted average cost of capital) are the most effective uncertain parameters on the NPV of photovoltaic investment.

Photovoltaic investments are viable having greater NPV and shorter payback periods with government support mechanisms. These support mechanisms have the power to attract investors in the energy sector and a significant role in providing sustainable photovoltaic market in Turkey. The fact that being of Turkey in the forefront of photovoltaic energy markets is significant for the country's green future and sustainable development goals include accessible, safe and sustainable energy to everyone.