



Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Yerleşkesinde Güneş Enerjisi Santralının Ekonomik Analizi

Economic Analysis of Solar Power Plant in Sivas Cumhuriyet University Campus

Vekil Sarı^{1*}, **Fatih Yavuz Özyiğit¹**

¹ Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sivas, TÜRKİYE
Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: vsari@cumhuriyet.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 22.09.2019

Araştırma Makalesi/Research Article

Kabul Tarihi / Accepted: 07.01.2020

DOI: 10.21205/deufmd.2020226519

Atıf şekli/ How to cite: SARI, V., ÖZYİĞİT, F.Y.(2020). Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Yerleşkesinde Güneş Enerjisi Santralının Ekonomik Analizi. DEUFMD 22(65), 517-526.

Öz

Bu çalışmada Sivas Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesinde yapılabilecek güneş enerji santralının ekonomik analizi yapılmıştır. Santral için gerekli hesaplamalar PVsyst programı yardımıyla elde edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda monokristal modüllerle kurulan sistemin veriminin polikristal modüllerle kurulan sistemin veriminden daha yüksek olduğu, fakat monokristal modüllerle kurulan sistemin daha maliyetli olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmada 30 yıl boyunca gerçekleştirilecek enerji satışından elde edilen getiri monokristal paneller için 4.140.900\$, polikristal paneller için 4.111.100\$ olarak hesaplanmıştır. Sistem ömrü boyunca elde edilen getiri arasındaki fark 29.800\$' dır. Kurulumu düşünülen sistemin monokristal modüllerden oluşması hem modül veriminin daha yüksek olması hem de sistem ömrü sonunda getirdiği kazancın daha fazla olması sebebiyle daha mantıklı olmaktadır. Bu çalışmada elde edilen bulguların, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesinde ileride yapılması muhtemel olan güneş enerjisi santralının kurulumunda faydalı olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Güneş Enerjisi, PVsyst, Ekonomik Analiz

Abstract

In this study, the economic analysis of the solar power plant can be built in the Sivas Cumhuriyet University campus was conducted. The calculations for the power plant to be installed were obtained by means of the PVsyst program. As a result of this study, the efficiency of the system established by monocrystalline modules was found to be higher than the efficiency of the system established with polycrystalline modules. However, the system installed with monocrystalline modules was found to be costlier. In the study, the yield obtained from the sales of energy for 30 years was calculated as \$ 4,140,900 for monocrystalline panels and \$ 4,111,100 for polycrystalline panels. The difference between the yield obtained during the life of the system is \$ 29,800. It is concluded that the system, which is planned to be installed, consists of monocrystalline modules will be a more logical because of the higher module yield and the higher the gain of the system life. It is thought that the results obtained in this study will be useful in the installation of solar power plant to be constructed in Sivas Cumhuriyet University campus.

Keywords: Renewable Energy, Solar Energy, PVsyst, Economic Analysis

1. Giriş

İnsan nüfusunun hızla artması ve enerji ihtiyacının doğru bir şekilde planlanamaması birçok soruna sebep olmaktadır. İşsizlik, yoksulluk, çevre kirliliği ve enerji talebi bunlardan bazılarıdır. 1999 yılında 6 milyar olan insan nüfusu 2011 yılında 1 milyar artarak 7 milyara ulaşmıştır. 2050 yılında ise 11,2 milyar olacağı tahmin edilmektedir [1].

İnsanlık günümüze kadar enerji ihtiyacını büyük oranda fosil kaynaklardan sağlamış ve fosil kaynakların çevreye verdiği tahribatı göz önüne almamıştır. Çevreye etkileri düşünülmeden kullanılan fosil kaynaklar sera gazı emisyonlarına sebebiyet vermekte, bütün canlı hayatını tehdit etmekte ve günümüzün en büyük sorunlarından biri olan iklim değişikliğine neden olmaktadır. Fosil kaynaklar savaşların da ana unsurlarındandır. Politika yapımcıların artık önem verdiği bir konu haline gelen yenilenebilir enerji, ülkemizi de enerjide dışa bağımlılıktan kurtaracak çözümlerden birisidir. Fosil kaynakların ömrü sınırlıdır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın 01 Ocak 2017 tarihinde yayınladığı Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü belgesine göre; dünyadaki toplam petrol rezervleri 1,7 trilyon varil civarında olup bu miktar, yaklaşık 51 yıllık tüketimi karşılamaktadır. Dünya doğalgaz rezervi 2015 yılı sonunda 187 trilyon m³ olarak belirlenmiş olup bu miktar küresel üretimi 53 yıl gibi bir süre boyunca karşılayabilmektedir. Dünya kömür rezervleri ise küresel üretimi 114 yıl boyunca karşılayabilmektedir [2]. Bu durum yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişi zorunlu kılmaktadır.

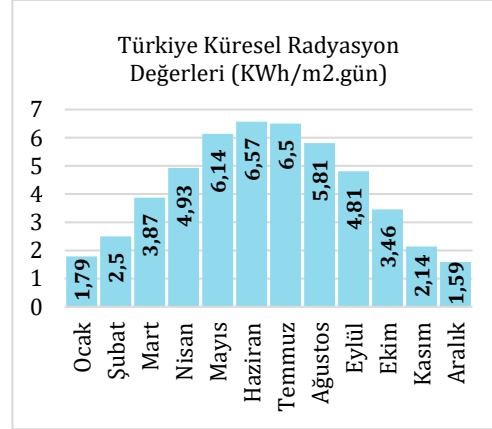
Ülkemizde 2017 verilerinden hareketle petrolde ithalata bağımlılığımız %94,6, doğalgazda ise %99,4 olarak gerçekleşmiştir [3]. 2018 yılında elektrik üretimimizin %37,3'ü kömürden, %29,8'i doğalgazdan, %19,8'i hidrolik enerjiden, %6,6'sı rüzgârdan, %2,6'sı güneşten, %2,5'i jeotermal enerjiden, ve %1,4'ü diğer kaynaklardan elde edilmiştir [4]. Bulduğumuz coğrafya yenilenebilir enerji kaynakları açısından oldukça verimli olmasına rağmen, bu kaynaklar yeterince kullanılmamaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile fosil kaynakların

kullanımı azalacaktır. Böylelikle enerjide dışa bağımlılığımızda azalacaktır.

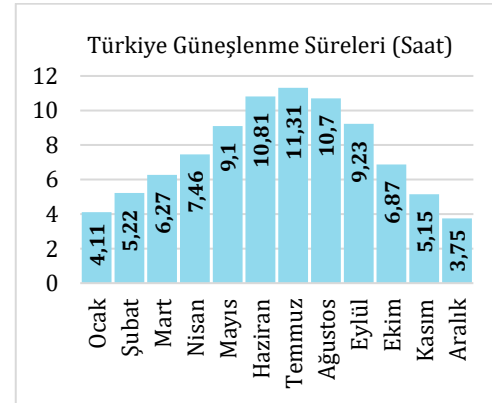
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının hazırladığı Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat (günlük ortalama 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m².yıl (günlük ortalama 4,18 kWh/m².gün) olmaktadır [5].

Türkiye'nin ay bazında sahip olduğu küresel radyasyon değerleri ve güneşlenme süreleri Şekil 1 ve Şekil 2'deki grafiklerde gösterilmektedir.

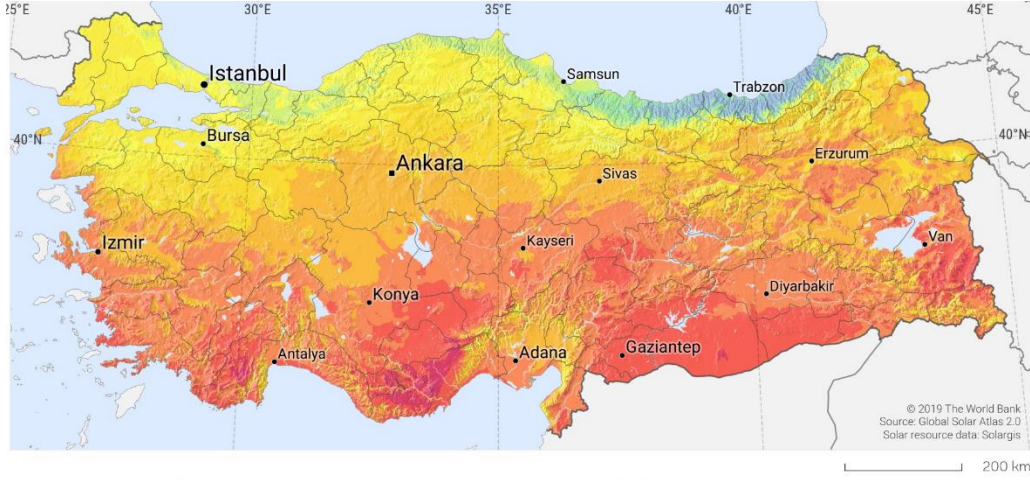
Şekil 3'de ise Türkiye fotovoltaik güç potansiyel haritası gösterilmektedir. Haritadan da görüldüğü gibi ülkemiz güneş enerji potansiyeli bakımından oldukça verimli bir konumdadır.



Şekil 1. Türkiye küresel radyasyon değerleri [6].



Şekil 2. Türkiye güneşlenme süreleri [6].



PV çıkışının uzun vadeli ortalaması, 1994'ten (doğuda 1999) 2018 yılına kadar geçen süre

Günlük toplam	3.0	3.4	3.8	4.2	4.6	5.0
Yıllık toplam	1095	1241	1387	1534	1680	1826

Şekil 3. Türkiye fotovoltaik güç potansiyel haritası [7].

Ülkemizin sahip olduğu güneş enerjisi potansiyelinin yüksek olması sebebiyle daha önce bu alanda birçok çalışmalar yapılmıştır.

Bu alanda yapılan bir çalışmada [8], Uşak ilinde bulunan derbent köyünde 24.100 m² lik bir araziye güneş enerjisi santrali için fizibilite çalışması gerçekleştirilmiştir. Kurulu gücü 1.950 kW olarak 25° sabit açılı taşıyıcı sistemin ışınım ve elektrik üretim değerleri PVGIS verileri yardımıyla hesaplanmıştır. Yıllık 3.150.000 kWh elektrik üretileceğini, sistemin ömrünün 25 yıl olacağını ve sistemin 15 yıl kâr edeceğini öngörülmüştür.

Yapılan başka bir çalışmada [9], Erzincan ili için tasarlanan 50 kW kurulu gücünde güneş enerjisi santralinin ekonomik analizi incelenmiştir. Sistem analizi için PVSyst programı kullanılmıştır. Tasarım sabit eğik sistem olarak gerçekleştirilmiştir. PVSyst programı ile ışınım miktarının 1.481 kWh/m² olacağı ve elde edilecek gücün 44,5 kW olacağı tespit edilmiştir. Şebekeye yıllık 70.459 kWh enerji verileceği öngörülmüştür. Yatırım maliyetinin 76.641\$ ve sistemin yıllık net gelirinin 8.915,5\$ olacağı hesaplanmıştır.

Bu alanda yapılan diğer bir çalışmada [10], Diyarbakır bölgesinde yenilenebilir enerji kullanımının artması ve elektrik giderlerinin

önemli bir oranda azaltılması amaçlanmış ve buldukları kuruma 250 kWp gücüne sahip güneş enerjisi santrali kurulumu gerçekleştirilmiştir. Kurum içerisinde 3.500 m² alana 245-255 W arasında değişen polikristal panellerle bir güneş tarlası oluşturulması planlanmıştır. Elde edilen enerjinin kurum trafosu üzerinden aktarımı gerçekleştirilecektir. Planlanan sistem 6 yılda kendini amorti etmektedir.

Başka bir çalışmada [11], Artvin Çoruh Üniversitesi Seyitler Yerleşkesinin elektrik ihtiyacını karşılamak üzere güneş paneli ve rüzgâr türbinlerinden oluşan hibrit bir sistemin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada RETScreen programı yardımıyla optimum koşullarda ne kadar fayda sağlanacağı belirlenmiştir. Ayrıca hibrit sistem kullanımının artıları irdelenmiş ve yatırımcıya mali tablo ve fiziki koşullarla ilgili ön bilgi sunulmuştur.

Diğer bir çalışmada [12], yıllık küresel radyasyon miktarı farklı olan 5 farklı bölgede enerji birim maliyet hesapları gerçekleştirilmiştir. Bu 5 bölgede 10 MW'lık kurulu güce sahip güneş enerjisi santralinin yatırım maliyetleri ve elde edilen elektrik enerjisi miktarları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar PVSyst programı ile gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak Türkiye' de

günün koşullarında yeterli olmayan teşvikler nedeniyle yatırımcıya zarar ettireceğini fakat Almanya ve İspanya' da ise uzun vadede kâr edebilecekleri ortaya çıkmıştır. Ayrıca monokristal panel kullanımının polikristal panellere göre daha fazla enerji üreteceği ama sistem maliyetini de artırdığı sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmalardan başka güneş enerjisi sistemlerinin panel açıları ile ilgili çalışmalarda yapılmıştır. Panel açısı ile ilgili yapılan bir çalışmada [13], güneş panellerinin açısının verime etkisi araştırılmış ve mevcut konuma göre en uygun açı belirlenmiştir. Başka bir çalışmada [14], İstanbul, Ankara, Erzurum ve Adana illeri için yılın her ayında kullanılacak optimum eğim açıları, teorik hesaplama ve Hottel & Woertz metotları ile ayrı ayrı belirlenmiş ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Sivas iline ait toplam küresel radyasyon değeri yaklaşık olarak Türkiye ortalamasıdır ve güneşlenme süresi de oldukça iyidir. Bu çalışmada bu durum göz önünde bulundurularak üniversite yerleşkesine kurulması muhtemel bir güneş enerji santralının ekonomik fizibilitesi incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Güneş enerjisi üretim sistemlerinin simülasyonunu, hesaplamalarını ve analizini yapan PV*SOL, Helioscope, Polysun, PVsyst gibi birçok program ve PVGIS gibi online veritabanı platformu vardır [15]. Bu çalışmada, kurulumu muhtemel bir güneş enerjisi santralının iklimsel ve ekonomik analizi için PVsyst programı kullanılmıştır. PVsyst programı fotovoltaik sistemlerin ayrıntılı çalışmasını, boyutlandırmasını ve saatlik simülasyonlarını yapabilmektedir. PVsyst programında ayrıca:

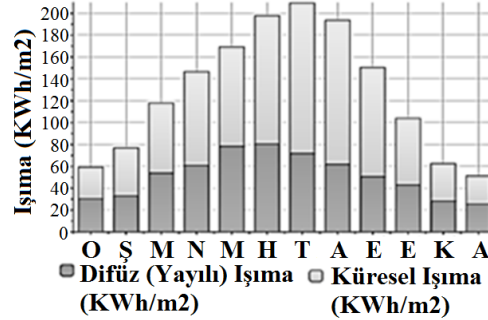
- Ayrıntılı güneş ışınım değerleri
- Bölge kirlilik oranları ve yer yansıma oranları
- Yerleşim planları
- Meteorolojik veriler
- Güneş panelleri ve evirici özellikleri
- Güneş panellerinin yıllık güç düşümü oranları
- Şebeke özellikleri
- Kablo mesafeleri

gibi detaylar bulunmaktadır. PVsyst programı benzer programlara göre gerçek değerlere oldukça yakın sonuçlar verebilmektedir. Ayrıca programın hesaplama sonuçlarına finans kuruluşları kredi sağlamaktadır [16]. PVsyst güneş enerjisi simülasyon programı ile aynı

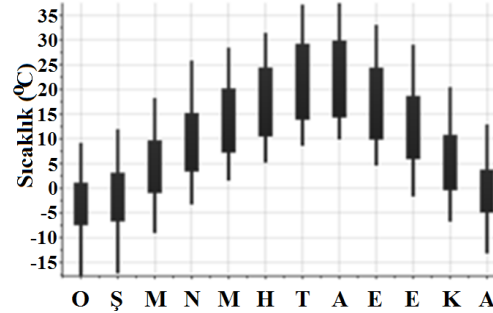
zamanda 3 boyutlu modellemeler yapılarak gölgelenme durumları analiz edilebilmektedir [17]. Küresel güneş ışınım şiddeti, güneşlenme süresi ve hava sıcaklığı verilerinin analizi için başka yöntemlerde kullanılabilir [18].

2.1. İklimsel veriler

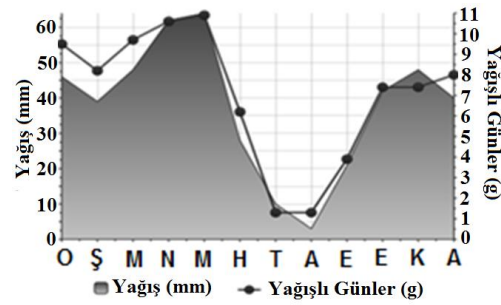
Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6' da Sivas ilinin Meteororm programı ile elde edilmiş iklimsel verileri gösterilmektedir. Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6' da yatay ekseninde ay isimlerinin baş harfleri verilmiştir.



Şekil 4. Sivas ilinin aylık ışınım grafiği.



Şekil 5. Sivas ilinin aylık sıcaklık grafiği.



Şekil 6. Sivas ilinin aylık yağış grafiği.

2.2 Yer seçimi

Güneş enerjisi santralının kurulması için üniversite yerleşkesinde, yakın gölgeleme unsurlarının bulunmadığı, arazi eğiminin %2

olduğu, sulama alanı dışında, engebeli olmayan, ulaşımın kolay olduğu ve enerji nakil hattına yakın 18.000 m² lik bir arazi seçimi yapılmıştır. Şekil 7’ de güneş santralının kurulacağı arazi görülmektedir.

Hava sirkülasyonunun panel verimi üzerine doğrudan etkisi vardır. Panellerin yerleştirileceği arazinin çevresinde rüzgarı kısıtlayan bir engel bulunmamaktadır. Böylelikle rüzgar, panellerin sıcaklığının azalmasına yardımcı olarak sistemin verimini artırmaktadır.



Şekil 7. Güneş santralının kurulacağı arazi.

2.3 Tasarım

Santralin lisanssız olarak kurulumu düşünüldüğünden ve mali nedenlerden dolayı santralin gücü 1 MW düşünülmüştür.

Sistem tasarımı için; yaygın olarak kullanılan ve tedarik kolaylığı bakımından Canadian Solar ve Yingli Solar firmalarının panelleri tercih edilmiştir [19]. İntertör tercihinde ise şebeke beslemeli güneş enerji sistemlerinde dünyanın en büyük üreticilerinden olan, yaygın kullanımı ve tedarik kolaylığı bakımından Kaco New Energy markasının invertörü tercih edilmiştir [20].

Santralin kurulacağı araziye gölgeleme etkisi gözönünde bulundurularak 3224 adet panel yerleştirilmiştir. Paneller arası mesafe 5,8 metredir. 806 adet sehpa ve her sehpa 4 adet panel vardır. 15 adet inverter kullanılmıştır. Şekil 8’ de panellerin yerleşimi görülmektedir.



Şekil 8. Panellerin yerleşimi [21].

Kablo olarak aşağıda özellikleri verilen kablolar seçilmiştir.

- 4 mm² solar kablo 12.000 metre
- 6 mm² solar kablo 10.000 metre
- 4X16 mm² YXV-R (N2XY) kablo (miktar 1000-1 set)
- 4X70 mm² YXV-R (N2XY) kablo (miktar 1000-1 set)
- 4X95 mm² YXV-R (N2XY) kablo (miktar 1000-1 set)
- 1x120 mm² NYY (miktar 1000-1 set)
- XLPE 1x240/35 kablo (miktar 1000-1 set)

Kurulum yapılacak arazinin küresel radyasyon miktarı yıllık 1.573 kWh/m² dir. Panel eğim açısı 35° ve azimuth açısı 0° olarak sabit eksenli tasarım ile optimum verim sağlanmaktadır.

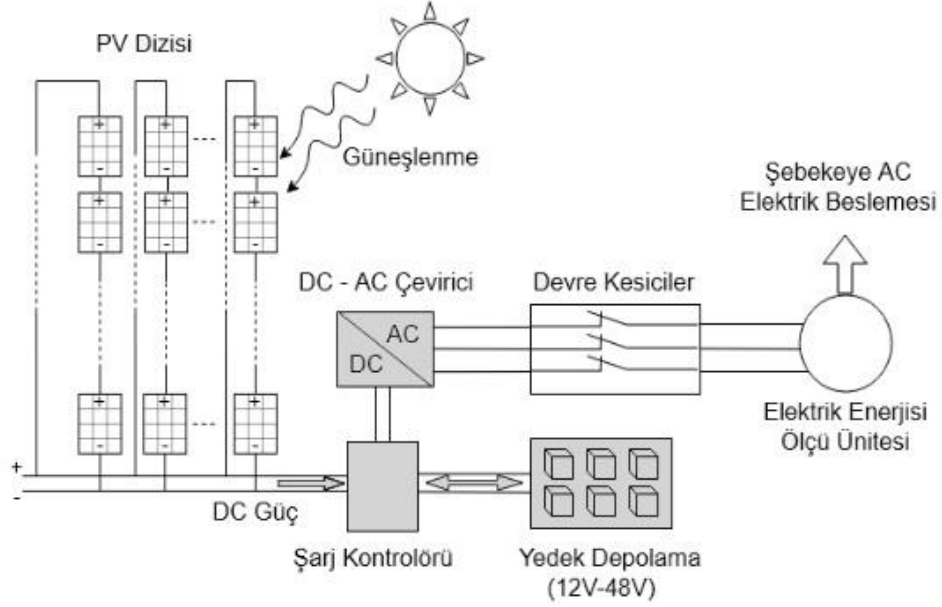
Tablo 1. Kullanılacak FV panel özellikleri.

Üretici	Canadian Solar Inc.	Yingli Solar
Ürün	Monokristal FV modül	Polikristal FV modül
Model	CS6X-310M	YL310P-35b
Verim	% 16.14	% 15.98
Çıkış Gücü	310W	310W
Hücre Sayısı	72 hücreli	72 hücreli
Çalışma sıcaklığı	-40°C~, +85	-40°C~, +85
Ürün Garantisi	10 yıl	10 yıl

Tablo 2. Kullanılacak invertör özellikleri.

Üretici	Kaco New Energy
Ürün	Powador 72.0 TL3 Park XL
Verim	% 98.0
Mpp Aralığı	200V - 850V
Mpp Takipçi Sayısı	3
Max.Güç/Takipçi	24kW
Ürün Garanti	10 yıl

Tablo 1 ve Tablo 2’ de panellerin ve invertörün özellikleri gösterilmiştir. Tasarım şebekeye bağlı sistem olarak düşünülmüştür. Şekil 9’ da şebekeye bağlı sistemin genel yapısı görülmektedir.



Şekil 9. Şebekeye bağlı sistemlerin genel yapısı [21].

2.4 Finansal analiz

18.11.2019 tarihli Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası kur verileri baz alınarak pazar araştırması yapılmış ve maliyet tablosu oluşturulmuştur. Tablo 3' de kur değerleri ve Tablo 4' de maliyet tablosu verilmiştir. Ekonomik analiz için Tablo 5' deki kabuller yapılmıştır. Burada 10 yıllık alım garantisi sonunda elektrik birim fiyatında % 40' lık bir düşüş öngörülmüştür.

Tablo 3. Kur değerleri.

ABD doları/TL	Euro/TL
5.7407	6.3492

Tablo 4. Maliyet Tablosu.

FV Modül Monokristal	320416	\$
FV Modül Polikristal	300018	\$
İnverter	106230	\$
Arazi	122000	\$
Personel Binası	8760	\$
Personel Giderleri	24300	\$/yıllık
Kablolar DC- AC	65000	\$
Konstrüksiyon	85000	\$
Koruma Ekipmanları	25000	\$
Trafo, beton köşk vs.	38300	\$
Bakım-Onarım-Temizleme	9740	\$/yıllık
İşçilik+Nakliye	66000	\$
Diğer (Arazi düzenlemesi, sigorta, projelendirme, onay bedeli, kamera	110000	\$

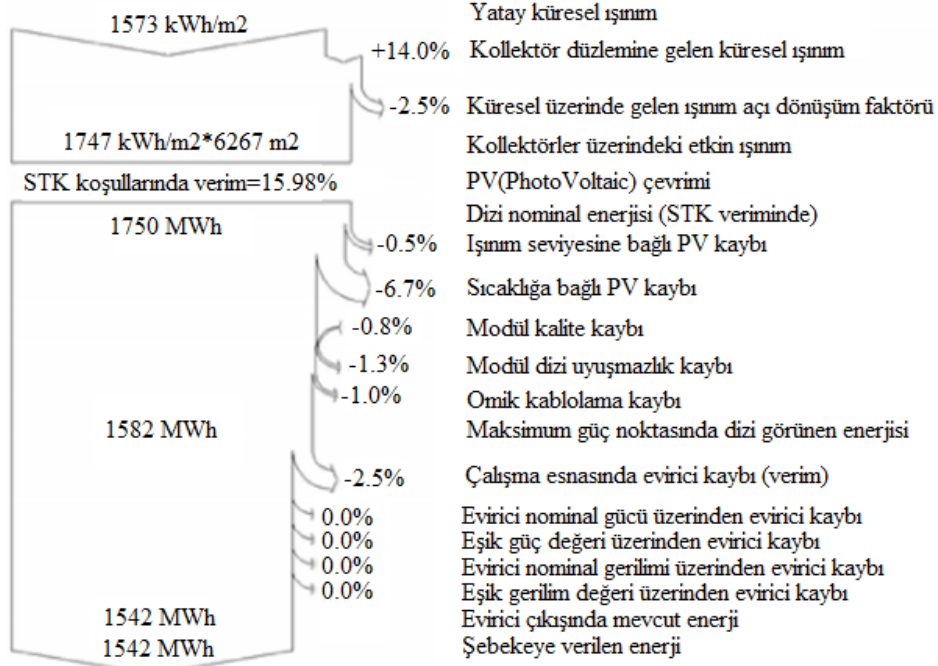
sistemi, merkezi kontrol odası vs.)

Tablo 5. Yapılan kabuller.

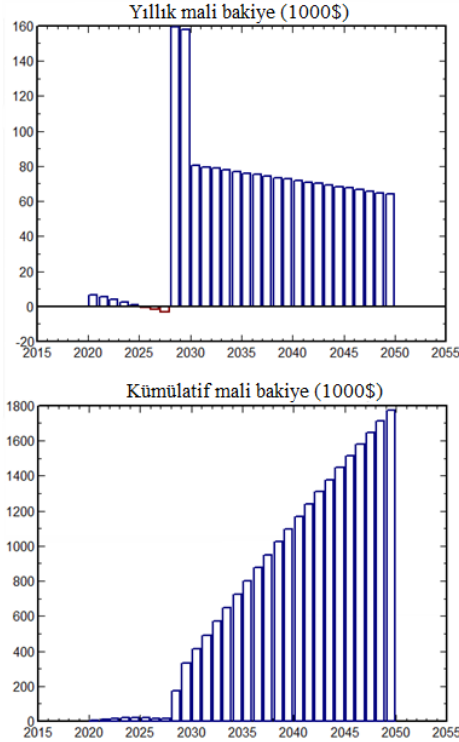
YEKDEM alış fiyatı (10 yıllık)	0.133 ABD doları/kWh
Alım garantisi sonunda satış fiyatı	% 40 düşüş öngörülmekte
Elektrik satış oranı	% 100
Kredi süresi	8 yıl
Kredi faiz oranı	% 8.5 / yıllık
Yıllık üretim azalması	% 0.7
KDV	% 0

3. Bulgular

Çalışmada ilk olarak polikristal paneller kullanılarak 0,999 MW kurulu güce sahip sistemin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yıllık 1.573 kWh/m² olan küresel ışınımın %14' ü kollektör üzerine gelmekte %2,5' i açılı dönüşüm faktörü olarak kayıplara dönüşmektedir. Standart Test Koşullarında (STK) verim %15,98 olmaktadır. Işınım seviyesine bağlı PV kaybı, sıcaklığa bağlı PV kaybı, modül kalite kaybı, kablolar kayıpları vs. dahil edildiğinde yıllık şebekeye verilen enerji 1.542 MWh olmaktadır. Şekil 10' da polikristal paneller kullanılarak oluşturulan santral için programdan elde edilen yıllık üretilen enerji kayıp diyagramı verilmektedir.

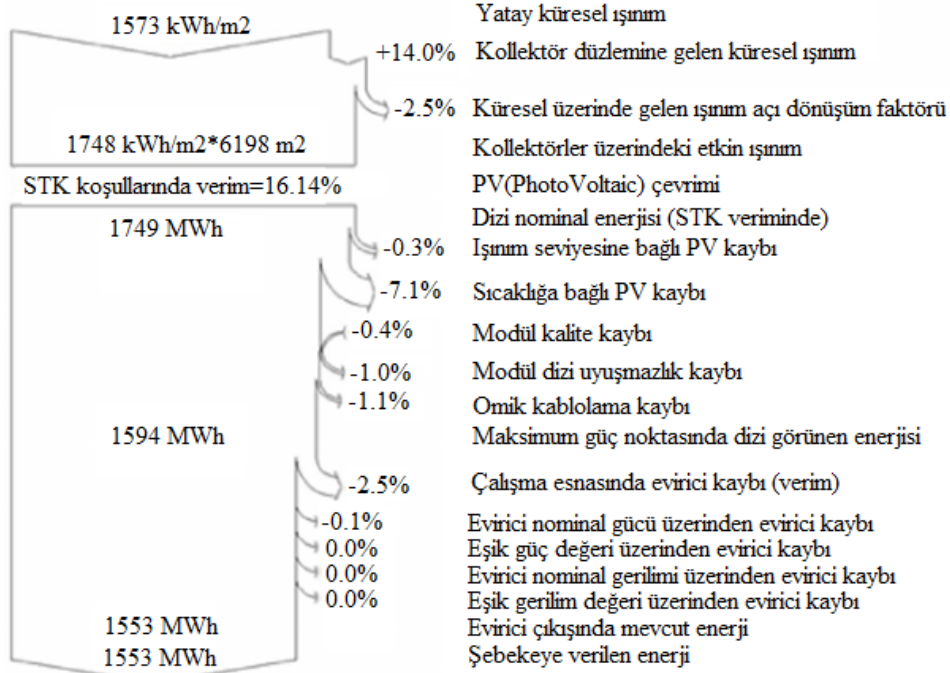


Şekil 10. Polikristal paneller kullanıldığında yıllık üretilen enerji kayıp diyagramı.

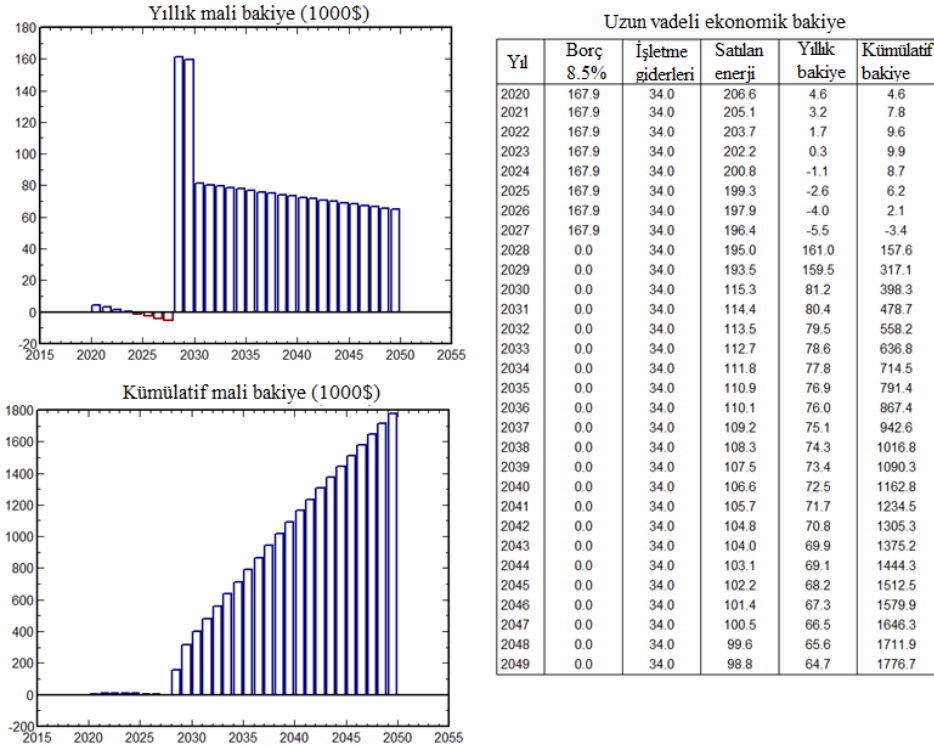


Şekil 11. Polikristal paneller kullanıldığında uzun süreli mali analiz

Uzun vadeli ekonomik bakiye					
Yıl	Borç 8.5%	İşletme giderleri	Satılan enerji	Yıllık bakiye	Kümülatif bakiye
2020	164.3	34.0	205.1	6.8	6.8
2021	164.3	34.0	203.6	5.3	12.1
2022	164.3	34.0	202.2	3.9	16.0
2023	164.3	34.0	200.8	2.5	18.5
2024	164.3	34.0	199.3	1.0	19.5
2025	164.3	34.0	197.9	-0.4	19.1
2026	164.3	34.0	196.5	-1.8	17.2
2027	164.3	34.0	195.0	-3.3	14.0
2028	0.0	34.0	193.6	159.5	173.5
2029	0.0	34.0	192.2	158.1	331.6
2030	0.0	34.0	114.4	80.4	412.0
2031	0.0	34.0	113.6	79.5	491.5
2032	0.0	34.0	112.7	78.7	570.2
2033	0.0	34.0	111.8	77.8	648.0
2034	0.0	34.0	111.0	76.9	724.9
2035	0.0	34.0	110.1	76.1	801.0
2036	0.0	34.0	109.3	75.2	876.3
2037	0.0	34.0	108.4	74.4	950.6
2038	0.0	34.0	107.5	73.5	1024.1
2039	0.0	34.0	106.7	72.6	1096.8
2040	0.0	34.0	105.8	71.8	1168.5
2041	0.0	34.0	105.0	70.9	1239.4
2042	0.0	34.0	104.1	70.1	1309.5
2043	0.0	34.0	103.2	69.2	1378.7
2044	0.0	34.0	102.4	68.3	1447.0
2045	0.0	34.0	101.5	67.5	1514.5
2046	0.0	34.0	100.6	66.6	1581.1
2047	0.0	34.0	99.8	65.7	1646.9
2048	0.0	34.0	98.9	64.9	1711.7
2049	0.0	34.0	98.1	64.0	1775.8



Şekil 12. Monokristal paneller kullanıldığında yıllık üretilen enerji kayıp diyagramı.



Şekil 13. Monokristal paneller kullanıldığında uzun süreli mali analiz.

Şekil 11' de polikristal paneller kullanılarak oluşturulan sistem için programdan elde edilen uzun vadeli mali analiz gösterilmektedir. Güneş enerjisi santrali, bankadan sağlanan 8 yıllık kredi süresi içerisinde kredi ve işletme giderlerini ilk 5 yıl boyunca ödeyebilmekte ve bu ilk 5 yıl kredi ve işletme giderlerini ödedikten sonra ek bir getiri sunmaktadır. Geri kalan 3 yıl boyunca ise panellerin verim kaybından dolayı üretilen enerji azalmakta ve enerji satışından sağlanan getiri düşmektedir. Sistem bu 3 yıl boyunca kredi ve işletme giderlerini karşılayamamakta ve borçlanmaktadır. Sistemin 3 yıllık borçlanması toplamda 5.500\$ olmaktadır. 8 yıllık kredi süresi bittikten sonraki yıl sağlanan getiri ile bu borçlanma fazlasıyla karşılanmaktadır. Santralin ömrü boyunca enerji satışından 4.111.100\$ getiri sağlanmaktadır.

Diğer çalışmada ise monokristal paneller kullanılmış olup, 0,999 MW kurulu güce sahip sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Yıllık 1.573 kWh/m² olan küresel ışınımın %14' ü kolektör üzerine gelmekte ve %2,5' i açılı dönüşüm faktörü olarak kaybolmaktadır. STK verimi %16,14 olmaktadır. Dizi nominal enerjisi (STK veriminde) 1.749 MWh olmakta ve ışınım seviyesine bağlı PV kaybı, sıcaklığa bağlı PV kaybı, modül kalite kaybı, kablolama kayıpları vs. dahil edildiğinde yıllık 1.553 MWh enerji şebekeye verilmektedir. Şekil 12' de monokristal paneller kullanılarak oluşturulan sistem için programdan elde edilen yıllık üretilen enerji kayıp diyagramı verilmektedir.

Şekil 13' de monokristal paneller kullanılarak oluşturulan güneş enerjisi santrali için uzun süreli mali analiz gösterilmektedir. Monokristal panellerden oluşan sistem 8 yıllık kredi ödeme süresi içerisinde, ilk 4 yıl kredi ve işletme giderlerini karşılamakta ve kredi ve işletme giderlerini karşıladıktan sonra ek bir getiri sunmaktadır. Geri kalan 4 yıl boyunca ise panellerin verim kaybından dolayı üretilen enerji azalmakta ve enerji satışından sağlanan getiri düşmektedir. Sistem bu 4 yıl boyunca kredi ve işletme giderlerini karşılayamamakta ve borçlanmaktadır. 4 yıllık borçlanma toplamda 13.200\$ olmaktadır. Kredi süresi bittikten sonraki yıl sağlanan getiri ile bu borçlanma fazlasıyla tolere edilmektedir. Santralin ömrü boyunca sağladığı getiri 4.140.900\$ olmaktadır.

4. Tartışma ve Sonuç

Yapılan çalışmada, 30 yıl boyunca gerçekleştirilecek enerji satışından elde edilen getiri monokristal paneller için 4.140.900\$, polikristal paneller için 4.111.100\$ olarak hesaplanmıştır. Her iki sistemden elde edilen getiri arasındaki fark 29.800\$' dir. Monokristal panellerin toplam kurulum masrafı polikristal panellerden 20.398\$ daha fazladır. Buna karşın monokristal modül kullanılması durumunda monokristal modül veriminin daha yüksek olması sebebiyle sistem ömrü sonunda getirdiği kazancın 29.800\$ daha fazla olacağı tespit edilmiştir. Polikristal paneller kullanılarak oluşturulan sistemlerde ise ilk kurulum maliyetlerinin monokristal panellere göre daha düşük olması sebebiyle daha erken dönüşler gözlemlenmektedir. Bu çalışmada elde edilen bulguların, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesinde yapılması muhtemel olan güneş enerjisi santralinin kurulumunda faydalı olacağı düşünülmektedir.

Kaynakça

- [1] United Nations. Population. <https://www.un.org/en/sections/issues-depth/population/index.html> (Erişim Tarihi: 29.11.2019).
- [2] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Dünya ve Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü. https://www.enerji.gov.tr/Resources/Sites/1/Pages/Sayi_15/mobile/index.html (Erişim Tarihi: 29.11.2019).
- [3] Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı. Sektöre Dair. <http://www.tpao.gov.tr/?mod=sektore-dair&contID=42> (Erişim Tarihi: 29.11.2019).
- [4] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Elektrik. <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik> (Erişim Tarihi: 29.11.2019).
- [5] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Güneş. <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes> (Erişim Tarihi: 29.11.2019).
- [6] Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. Güneş Enerji Potansiyel Atlası. <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator> (Erişim Tarihi: 29.11.2019).
- [7] Solargis. Solar resource maps of Turkey. <https://solargis.com/maps-and-gisdata/download/turkey> (Erişim Tarihi: 29.11.2019).
- [8] Taktak, F., İli, M. 2018. Güneş Enerji Santrali (GES) Geliştirme: Uşak Örneği, Geomatik, Cilt. 3(1), s. 1-21. DOI: 10.29128/geomatik.329561
- [9] Küçükgoze, O. M. 2016. Erzincan İlinde Güneş Enerjili Elektrik Üretim Sisteminin Ekonomik Analizi. Erzincan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 108s, Erzincan.
- [10] Atakul, Ş., Kalender, M. A., Gezici, M., Eliçin, A. K. 2015. Güneş Tarlası Kurulumu, Tarım Makinaları Bilimsel Dergisi, Cilt. 11(1), s. 55-60.
- [11] Aydın, E. H., Çunkaş, M. 2019. Artvin Çoruh Üniversitesi Seyitler Yerleşkesi Enerji Talebinin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarıyla Karşılanması, Selçuk University Journal Of Engineering, Science

- and Technology, Cilt. 7(1), s. 241-252. DOI: 10.15317/Scitech.2019.195
- [12] Çolak, Ş. Ç. 2010. Fotovoltaik Paneller Yardımı ile Güneş Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretiminin Maliyet Analizi ve Gelecekteki Projeksiyonu. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 121s, İstanbul.
- [13] Orhun, M., Koca, Y. B., Hocaoglu, F. O. Çınar, S. M. 2012. Farklı Yüzey Açılarındaki Işınım Şiddetlerinin Afyonkarahisar Bölgesi İçin Karşılaştırılması ve Güneş Panellerinden Elde Edilebilecek En Yüksek Elektrik Enerjisi Üretimi İçin Uygun Açıların Tespiti, Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering, Cilt. 12, s. 1-5.
- [14] Çağlar, A. 2018. Farklı Derece-Gün Bölgelerindeki Şehirler İçin Optimum Eğim Açısının Belirlenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt. 22(2), s. 849-854. DOI: 10.19113/sdufbed.94899
- [15] Ceylan, O., Taşdelen, K. 2018. Isparta İli için Fotovoltaik Programlarının Simülasyon Sonuçlarının Doğruluğunun İncelenmesi, Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering, Cilt. 18, s. 895-903. DOI: 10.5578/fmbd.67547
- [16] Girgin, M. H. 2011. Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralının Fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5 MW'lık Güneş Enerjisi Santrali için Enerji Üretim Değerlendirmesi ve Ekonomik Analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 223s, İstanbul.
- [17] Haydaroglu, C. ve Gümüş, B. 2016. Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralının PVsyst ile Simülasyonu ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt. 7(3), s. 491-500.
- [18] Yeşilbudak, M., Çolak, M. Bayındır, R., 2018. Ankara İlinin Uzun Dönem Global Güneş Işınım Şiddeti, Güneşlenme Süresi ve Hava Sıcaklığı Verilerinin Analizi ve Eğri Uydurma Metotlarıyla Modellenmesi, Gazi University Journal of Science, Part C, Cilt. 6(1), s. 189-203. DOI: 10.29109/http-gujsc-gazi-edu-tr.336830
- [19] Pvtech. Top 10 solar module suppliers in 2018. <https://www.pv-tech.org/editors-blog/top-10-solar-module-suppliers-in-2018> (Erişim Tarihi: 29.11.2019).
- [20] Kaco. <https://kaco-newenergy.com/company> (Erişim Tarihi: 29.11.2019).
- [21] Sayed, L., Hasanujjaman, M., Jaman, M. 2018. Performance Analysis of a Grid-Tied Solar PV System. East West University, Faculty of Sciences and Engineering, Department of Electrical and Electronic Engineering, B.Sc Thesis, 60p, Dhaka.