



ARAŞTIRMA MAKALESİ (Research Article)

**KÜTAHYA İLİ GÜNEŞ ENERJİ POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI VE ÖRNEK BİR
GÜNEŞ ENERJİ SANTRALİNİN EKONOMİK ANALİZİ**

Zeynep ATALAY AYRAN¹, Yılmaz ASLAN²

¹ Kütahya Belediyesi, Elektrik-Elektronik Mühendisi, Kütahya, zeynep.atalayayran@kutahya.bel.tr,
ORCID: 0000-0002-8488-4178

² Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Kütahya,
yilmaz.aslan@dpu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-8488-4178

Geliş Tarihi:02.12.2019

Kabul Tarihi:10.06.2020

ÖZ

Dünya’da artan nüfusla beraber enerji ihtiyacı da artmaktadır ve tükenbilir kaynaklara alternatif yenilenebilir enerji kaynakları önem kazanmaktadır. Bu çalışmada yenilenebilir enerji için büyük öneme sahip fotovoltaik yapılarla bölgesel olarak çalışılmıştır. Kütahya Belediyesi tarafından, İnköy mahallesi, Suluöz mevkiinde, Şehzade Park içerisinde yer alan lisanssız 336 kWh güce sahip Güneş Enerji Santrali (GES) için farklı tipte fotovoltaik (FV) paneller kullanılarak, elektrik üretiminin sağlanacağı bir sistem tasarımı ve bu sistemin ekonomik analizi yapılmıştır. Şehzade Park GES’in farklı tipte FV panel tipleri kullanılarak benzetim çalışması, PVsyst; “Photovoltaic Sytems Software (FV Sistem Yazılımı)” programında yapılmıştır. Kullanılan programda elde edilen sonuçlar ile bir yıllık enerji üretiminden elde edilen gerçek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak benzetim programından elde edilen veriler ile gerçek veriler arasında sadece %16’lık bir fark olduğu görülmüş, bu farkın da santralin kurulumunun ilk yılı olması nedeniyle meydana gelen arızalara geç müdahale edilmesi ve üretimin belli zaman aralıklarında durmasından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Elde edilen veriler göz önüne alındığında Kütahya ili gibi karasal iklim özelliklerine sahip illerde kurulacak yeni GES’ler için ince film CdTe yapıda FV panellerin kullanılmasının uygun olabileceği ve 25 ° panel eğim açısının Kütahya İlinde GES’ in kurulduğu saha için en yüksek enerji üretiminin sağlandığı eğim açısı olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: *FV Paneller, FV Sistem Benzetimi, Güneş Enerjisi, Güneş Enerji Santrali (GES).*

**INVESTIGATION OF SOLAR ENERGY POTENTIAL IN KÜTAHYA AND ECONOMIC
ANALYSIS OF A SAMPLE SOLAR POWER PLANT**

ABSTRACT

With the growing population in the world, energy requirement and the importance of the renewable energy resources which are the alternatives of the exhaustible resources is increasing day by day. In this study photovoltaic structures which have great importance for renewable resources have regionally worked on. Besides, a system design for the unlicensed 336 kWh Solar Power Station (SPS) at Şehzade Park of İnköy neighborhood was carried out by Kütahya Municipality to generate

electricity by using different types photovoltaic (PV) panels and then the economic analysis of this system was conducted. The simulation study of Sehzade Park SPS with different PV panel types was done with PVsyst; “Photovoltaic Sytems Software. The data obtained from current program have been compared with the actual results obtained from one-year energy production. Consequently, there is only a 16% difference between the data obtained from the simulation program and the actual data and this gap may be stem from the breakdown of the station as a result of delayed responses to the failures in the very first year of the station. When we consider the obtained data it is obvious that it may be suitable to use PV panels with thin film CdTe types for the new SPSs which are going to be constructed in continental climate provinces such as Kutahya and it is realized that 25° panel slope angle is the highest energy product slope angle for the field in Kutahya where GPS was constructed.

Keywords: *PV Panels, PV System Simulation, Solar Energy, Solar Power Plant (SPP).*

1. GİRİŞ

2019 verilerine göre 7,8 milyarı bulan ve her geçen gün artan Dünya nüfusu beraberinde enerji ihtiyacının da artmasına neden olmaktadır [1]. Enerji İşleri Genel Müdürlüğünün 2019 yılı Ağustos ayın da yayınlamış olduğu Aylık Enerji İstatistikleri Raporunda bahsedildiği üzere Türkiye çapında 2019 yılı elektrik enerjisi tüketim miktarı 24.404.251 MWh olarak tespit edilmiştir. Elektrik enerjisi tüketiminin 2023'te 385 TWh'lara ulaşması öngörülmüştür [2]. Türkiye'nin Kurulu gücüne bağlı enerji kaynakları ise Şekil 1.'de verilmiştir.

Türkiye'nin Kurulu gücüne bağlı enerji kaynakları ise Şekil 1.'de verilmiştir.



Şekil 1. Türkiye’de Kurulu güce göre enerji kaynakları dağılımı [3].

Bu tüketim miktarları göz önüne alındığında önümüzdeki yıllarda elektrik üretim kaynaklarının artan Dünya ihtiyacını karşılamada yetersiz kalacağı öngörülmekte ve bu amaçla sonsuz enerji kaynağı olarak atfedilen güneşten yararlanmak üzere bilim insanları tarafından pek çok araştırma yapılmış ve yapılmaya da devam edilmektedir. Güneş enerjisinden FV (fotovoltaik) panellerle enerji elde edilmesi mümkün olmakta ve bu alanda pek çok çalışma yapılmaktadır. Bu alanda özellikle FV sisteminin saha yerleşimi, iklim ve kurulum yerinin maliyet ve verim üzerine etkileri Beyoğlu tarafından araştırılmıştır [4]. Bunun yanı sıra farklı FV sistemleri ve farklı malzeme türleri kullanılarak bu malzemelerin üretimleri kıyaslaması yapılmak suretiyle enerji üretimi verilerini incelemek için PVsyst, MATLAB vb. programlar kullanılarak farklı senaryolar için ekonomik analizler çalışılmıştır [5-6].

Türkiye’de belirli bölgelerde ve yerleşimlerde yapılan çalışmaların benzerlerine yurtdışında da rastlanmaktadır. Sharma ve Chandel Hindistan’da kurulu bulunan şebekeye bağlı 190 kWp’lik Güneş Enerji Santralini performans analizini PVsyst benzetim programıyla gerçekleştirmişlerdir. Benzetim programıyla elde ettikleri sonuçları gerçek veriler ile karşılaştırmışlardır. Güneş radyasyonun fazla olduğu aylarda enerji üretiminin daha fazla güneş radyasyonun az olduğu aylarda ise daha az olduğunu gözlemlemişlerdir. Yaptıkları çalışma neticesinde de Kurulu Santralin performans değerinin yıllık olarak %55 ile %83 değerleri arasında değiştiğini, ortalama performansının %74’lük bir değere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmalarında GES’inde FV Panellerin eğim açısını takip eden bir sistem ile montajı yapılırsa santrale ekonomik olarak fayda sağlayacağını kanısına varmışlardır [7].

Güneş pilleri yarı iletken maddelerden meydana gelmekte ve güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştürmektedir. Ancak bu sistemlerin en az %10 verimle çalışması gerekmektedir Ayrıca birbirine seri veya paralel bağlanan pek çok güneş pilinin megavat seviyelerine kadar güçlerini arttıracak tasarımlar yapılabilmektedir [8]. Güneş pillerinde kullanılan farklı üretim teknikleri büyük öneme sahiptir. Bu anlamda kullanılan tek kristalli, çok kristalli, ince film ve nano teknoloji olmak üzere dört ana kategoride FV panel kullanılmaktadır. Farklı yapıdaki FV panellerin hepsinin farklı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır [9-10-6].

Güneş Enerji Santrallerinin kurulum aşamasından önce benzetim programları ile güneş santrali kurulacak yer, FV panellerin yerleşimi ve kurulacak santralin ekonomikliği belirlenebilmektedir. Benzetim programları ile ilgili yapılan çalışmalar incelenecek olursa;

Haydaroğlu ve Gümüş çalışmalarında, 250 kWp’lik şebeke bağlantılı Güneş Enerji Santrali için, PVsyst V6.39 benzetim programında; 250 Wp gücünde 1000 adet FV modülü 30⁰ eğim açısı ve 0⁰ derece azimuth açısı ile güneş panellerini konumlandırıklarını düşünerek bu sistemde 1 adet 10 kW, 8 adet 30 kW gücünde inverter kullanıldığını varsayıp benzetimini gerçekleştirmişlerdir. Tüm çalışmalarının sonucu olarak santralin kurulduğu alanda yatay düzleme gelen küresel ışınım miktarını 1668 kWh/m² olarak hesaplamışlardır. FV Panellere sabit eğim açısını 30 derece aldıklarında yüzeye gelen ışınımını %11,7 arttığını ispatlamışlardır. Dize kayıplarını %14,9, inverter kayıplarını ise %1,8 olarak hesaplamışlardır. Santrallerinin ise yılda yaklaşık 380,6 MWh üretebileceğini tespit etmişlerdir [11].

Kumar ve arkadaşları çalışmalarında, 323 adet 310 Wp güce sahip Polikristal FV modül ve her biri 20 kW güce sahip 5 adet inverter kullanarak 100 kWp kurulu güçteki şebekeye bağlı güneş enerji santralini tasarlayıp, PVsyst V6.78 programında benzetimini gerçekleştirmişlerdir. Benzetimini gerçekleştirdikleri santral yıllık 165,38 MWh ürettiğini 161,6 MWh kadarının da şebekeye

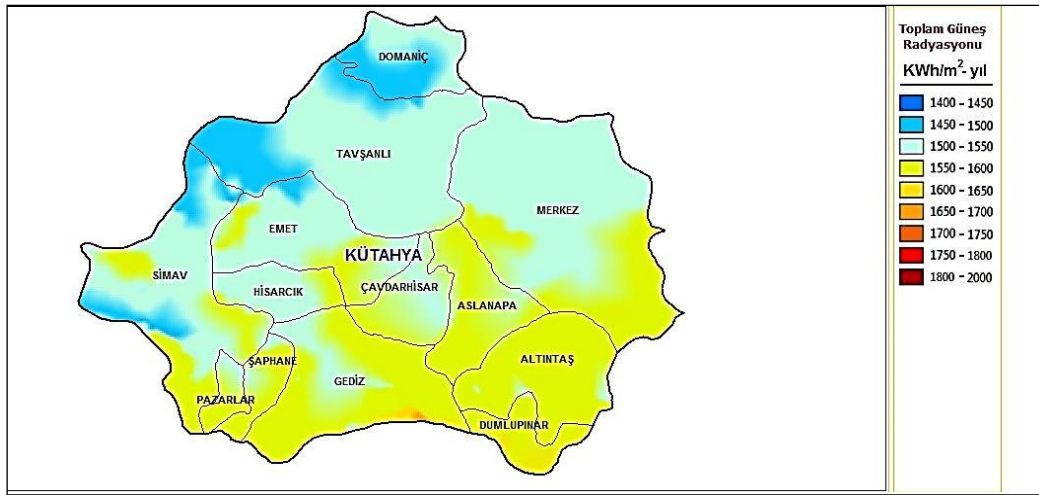
aktarılabileceğini hesaplamışlardır ve GES'nin yıllık performansının %80 oranında olduğunu tespit etmişlerdir [12].

Sağlam çalışmasında, Ülkemizin altı farklı şehrinde yer alan (Adana, Osmaniye, Niğde, Mersin, Karaman, Konya) Güneş Enerji Santralleri için PVsyst programında benzetim çalışmalarını yapıp bir yıllık üretim verileri ile benzetim programından elde edilen enerji üretim verilerini karşılaştırmıştır. Yaptığı çalışma neticesinde üç şehirde bulunan GES'nin benzetim sonuçlarının, gerçek sonuçlara yakın olduğunu tespit etmiş ve diğer üç şehirde bulunan GES'nin enerji üretim verileri benzetim programından elde edilen enerji üretim verileri arasındaki farkın %6 ile %12 arasında olduğunu tespit etmiştir [13].

Bu çalışmada CdTe ince film yapıda FV paneller tercih edilmiş ve farklı tasarımlara göre yerleştirilen sistemin analizleri literatürde yapılan çalışmalar göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir

2.DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE DEĞERLENDİRME

Çalışmanın ilk aşamasında Türkiye ve Kütahya ili güneş enerji potansiyelleri tespit edilmiştir. Kütahya ili güneş enerji potansiyeli Meteoroloji Genel Müdürlüğü bilgileri doğrultusunda 2004-2018 yılları arası ortalama güneş radyasyonu değeri 4,245 kWh/m²-yıl olmakla birlikte en yüksek güneş radyasyonuna sahip olduğu ay 6,917 kWh/m²-ay değeriyle Temmuz ayı olarak tespit edilmiştir [14]. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Genel Müdürlüğü'nden alınan veriler kullanılarak Şekil 2'de Kütahya ilinin güneş enerjisi potansiyeli haritası verilmiştir [15].



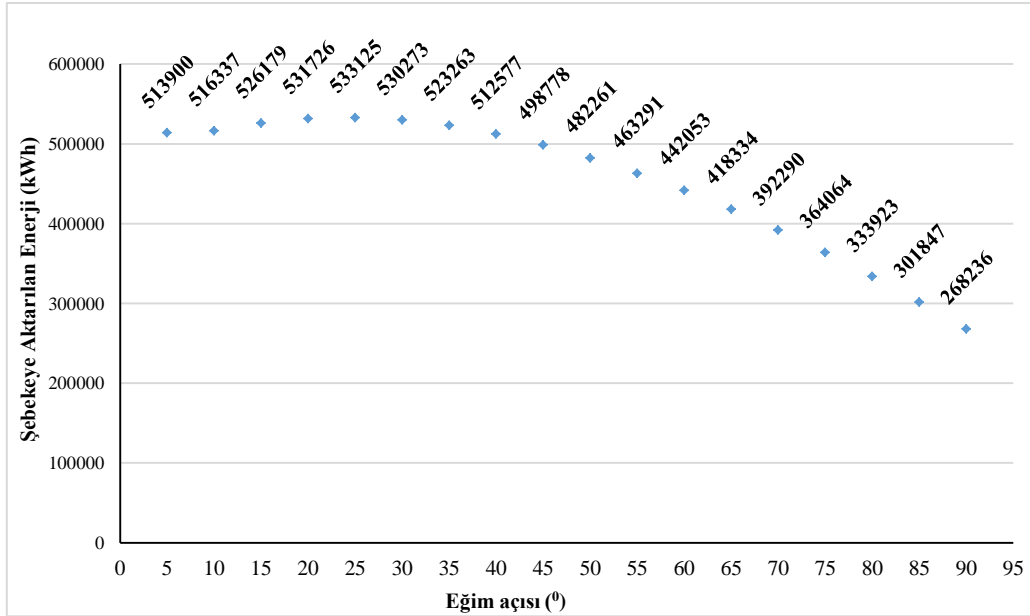
Şekil 2. Kütahya ili güneş enerjisi potansiyeli haritası

2016 yılında OEDAŞ, TEDAŞ ve Zafer Kalkınma Ajansı'na yapılan proje onayı hibe başvurularından alınan olumlu sonuçlar neticesinde Kasım ayında santral kurulumuna başlanmıştır. Öncelikle FV panellerinin montajının yapılacağı çelik konstrüksiyonlar yapılmıştır. 2017 Ekim ayında ihalesi sonuçlanan Şehzade Park GES 120 gün içerisinde tamamlanmış, 2018 Şubat ayında devreye alınmış ve halen de üretime devam etmektedir.

2.1. PVsyst V6.78 Benzetim Programı

PVsyst benzetim programı şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız FV sistemleri, FV sulama ve DA şebekelerinin kurulumunun yapılmadan önce tasarımlarının yapılmasını sağlayan bir yazılım programıdır. PVsyst benzetim programında veritabanında bulunan sentetik meteorolojik verilerin kullanılabilmesi gibi gerçek verilerin benzetim programında kaydedilip kullanılması da mümkündür. FV sistemlerinin tasarımının yapılmasında PVsyst programı büyük avantaj sağlamaktadır [16].

Program kurulacak GES santralleri için panel ve inverter değerlerini üretici ve nominal güç değerlerine göre seçim imkânı sağlamaktadır [17]. Benzetim programından elde edilen verilerden çıkan sonuçlara göre şebekeye aktarılan enerji 25° eğim açısı ile maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Bu sebeple Güneş Enerjisi santralının kurulduğu sahada FV paneller 25° eğim açısıyla montaj edilmiştir. Şekil 3'te santralde FV panellerin farklı eğim açısı ile kurulumu için şebekeye aktarılan enerji miktarları (kWh) gösterilmiştir.



Şekil 3. Farklı eğim açıları kullanılarak yıllık olarak şebekeye aktarılan enerji miktarı.

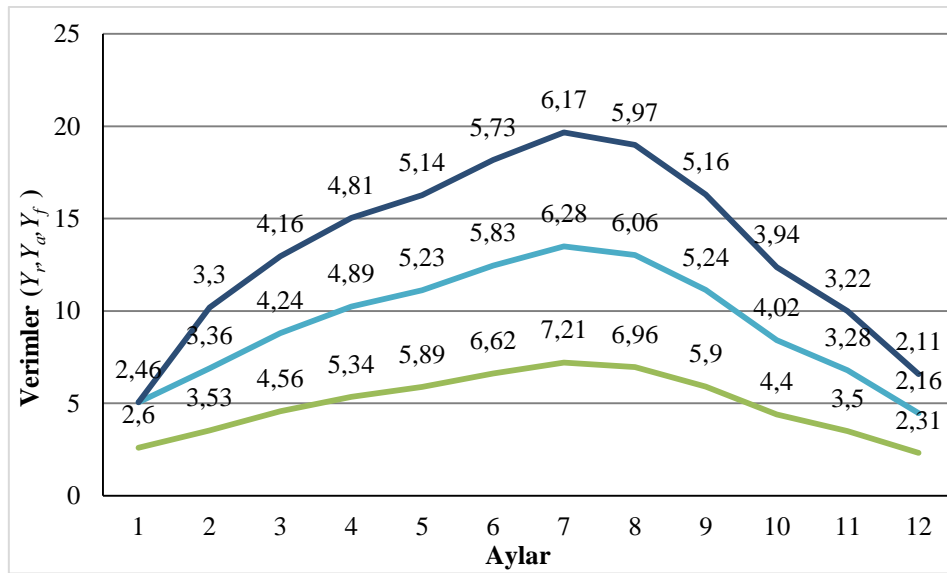
Uluslararası IEC 61724 standardı güneş enerji santrallerinin performansını incelemek için kullanılır. Çalışmada, Şehzade Park GES'nin performans parametreleri de IEC 61724 standardına göre değerlendirilmiştir.

2.2. Şehzade Park Güneş Enerji Santralının PVsyst Benzetim Programı ile Enerji Üretim Değerlendirilmesi

Yapılan çalışmada, 336 kWp (280 kWe) kurulu güçteki, Şehzade Parkı Güneş Enerji Santralının PVsyst V6.78 programı üzerinden farklı firmalara ait farklı yapıda (CdTe yapıda ince film, Monokristal ve Polikristal) panel ve inverter tipleri ile benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

PVsyst V6.78 benzetim programında, A firmasına ait İnce film (CdTe) yapıda 120 Wp gücünde FV panel ile D firmasına ait 409 kW gücündeki merkez inverter kullanılarak benzetim yapılmış, aylara göre ışım, enerji ve sıcaklık değerleri belirlenmiştir. Güneş enerji santrallerinde performans kriterlerinden olan Performans oranı (PO) Nihai verimin (Y_f), Referans verime (Y_r) oranı olarak hesaplanmaktadır [18].

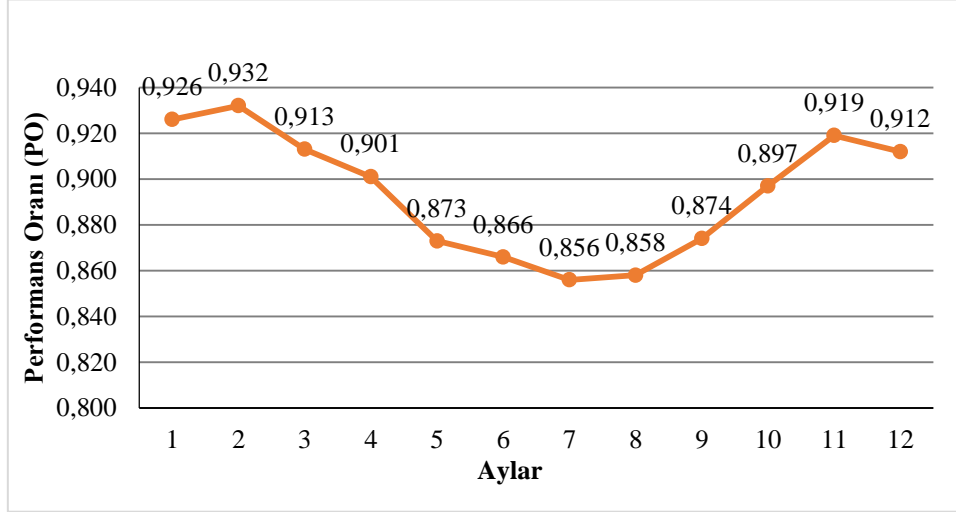
Benzetim Programında elde edilen günlük referans (Y_r), dize (Y_a) ve Nihai (Y_f) verimlerinin aylık ortalama değerleri Şekil 6'da verilmektedir. İnce film FV kullanılmış santralde en düşük referans (Y_r), dize (Y_a) ve Nihai (Y_f) verim değeri ise Aralık ayında olmakla birlikte en yüksek referans (Y_r), dize (Y_a) ve Nihai (Y_f) verim Temmuz ayındadır.



Şekil 4. Referans (Y_r), dize (Y_a) ve nihai (Y_f) verim.

Şekil 6' da referans verimin (Y_r) en yüksek temmuz ayında 7,21 olarak almaktadır. Nihai verimde Nihai (Y_f) en yüksek temmuz ayında 6,17 değerini almaktadır. Bu sebeple Performans Oranı nihai verimin (Y_f), referans verime (Y_r) oranı ile hesaplandığı için temmuz ayında 0,856 değeriyle en düşük şubat ayında ise 0,935 en yüksek değerini almıştır.

Benzetim programında elde edilen performans oranları Şekil 5.'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Aylara göre performans oranı (PO) değişimi.

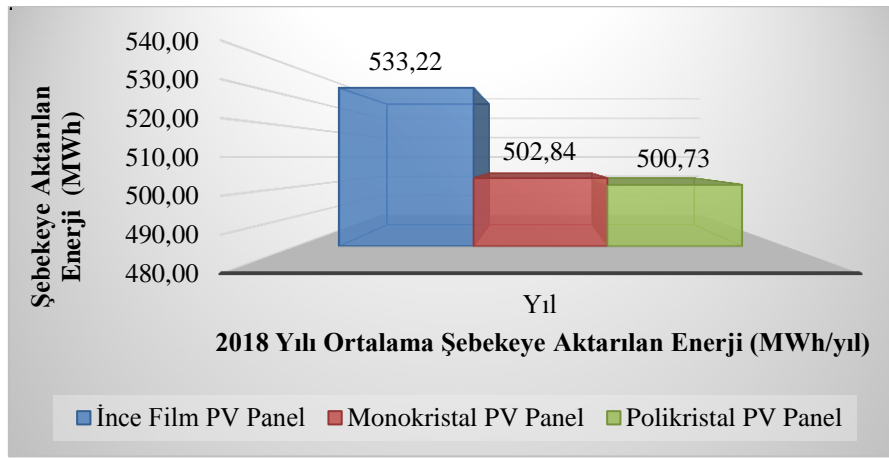
Benzetim programında elde edilen performans oranları değerlendirildiğinde santral en büyük performans oranına 0,935 değeri ile Şubat ayında ulaşmıştır. En alçak değerine de 0,856 değeri ile Temmuz ayında ulaştığı görülmektedir. Benzetim programında yapılan çalışma sonucu elde edilen sistem kayıp diyagramında santralin kurulduğu alanda yatay küresel ışınlanma 1594 kWh/m² olarak hesap edilmiştir. FV Paneller 25.⁰ eğim açısı ile yerleştirildiği zaman yatay küresel ışınlanma değerine göre FV Panel yüzeyine gelen ışın miktarı % 12,3 olarak artmaktadır. Dize kayıpları toplamda %4,4 ve inverter kayıpları ise %1,8 olarak hesap edilmiştir. Santralde dize (L_c) ve Sistem (L_s) kayıplarının en yüksek Temmuz ayında en az ise Aralık ayında meydana gelmektedir.

PVsyst V6.78 programında B firmasına ait, monokristal yapıda, 120 Wp gücünde FV Panel ile D firmasına ait 409 kW gücündeki merkez inverter kullanılarak benzetim yapılmıştır. Benzetim programında Monokristal FV panel kullanıldığında en düşük referans (Y_r), dize (Y_a) ve Nihai (Y_f) verim değerlerine Aralık ayında ulaşılmış ve en yüksek referans (Y_r), dize (Y_a) ve Nihai (Y_f) verim değerine ise Temmuz ayında ulaşılmıştır. Benzetim programında elde edilen performans oranları değerlendirildiğinde santralin en büyük performans oranına 0,89 değeri ile Şubat ayında ulaşmış, en alçak değerine ise 0,80 değeri ile Temmuz ayında ulaşmıştır. Benzetim programında yapılan çalışma sonucu dize kayıpları toplamda % 9,8 ve inverter kayıpları ise %1,8 olarak hesap edilmiştir. Monokristal FV Panel ile yapılan benzetimde; Dize (L_c) ve sistem (L_s) kayıpları değerlendirildiğinde; Santralde dize (L_c) ve Sistem (L_s) kayıplarının en yüksek Temmuz ayında en az ise Aralık ayında meydana geldiği görülmüştür.

PVsyst V6.78 Programında C firmasına ait polikristal yapıda, 120 Wp gücünde FV Panel ile D firmasına ait 409 kW gücündeki merkez inverter kullanılarak benzetim yapılmıştır. Benzetim programında elde edilen günlük referans (Y_r), dize (Y_a) ve Nihai (Y_f) verimlerinin aylık ortalama değerleri incelendiğinde; Monokristal FV kullanılmış bir santralde en yüksek referans (Y_r), dize (Y_a) ve Nihai (Y_f) verime Temmuz ayında ulaşılmıştır. En düşük referans (Y_r), dize (Y_a) ve Nihai (Y_f) verim değeri ise Aralık ayındadır. Santral en büyük performans oranına 0,92 değeri ile Şubat ayında ulaşmış olup en alçak değerine de 0,77 değeri ile Temmuz ayında ulaşmıştır. Benzetim Programında yapılan

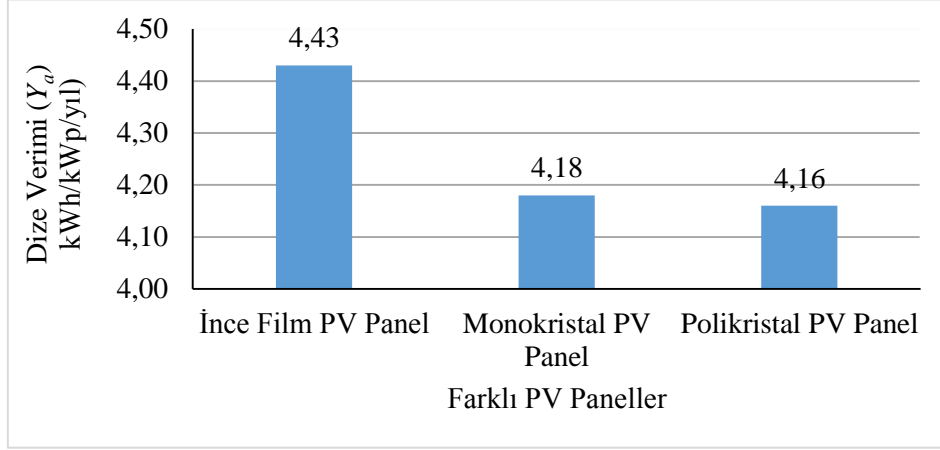
çalışma sonucu dize kayıpları toplamda % 9,1 ve inverter kayıpları ise %1,8 olarak hesap edilmiştir. Santralde dize (L_c) ve Sistem (L_s) kayıp oranlarının en yüksek Temmuz ayında, en az ise Aralık ayında meydana gelmektedir. Temmuz ayında kayıplarının en fazla olmasının sebebi santralin maksimum üretim seviyesine ulaşmış olmasıdır [18].

Şehzade Park GES için farklı panel tiplerinin enerji üretimleri, dize verimleri ve sistem kayıpları karşılaştırıldığında üç farklı panel tipinde şebekeye aktardığı enerji farklılık gösterdiği görülmektedir. Şekil 6'da üç farklı FV Panel tipinin 2018 yılı için ortalama şebekeye aktardıkları enerji gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi en fazla şebekeye aktarılan enerji ince film FV'de sağlanmaktadır.



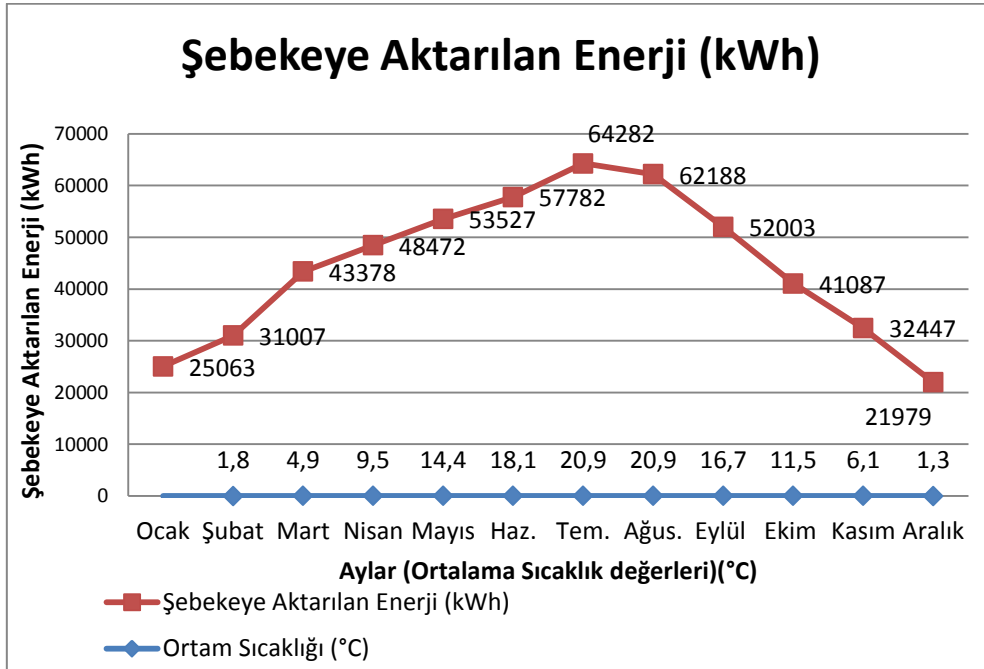
Şekil 6. Farklı FV panel tipleri için şebekeye aktarılan enerji.

Şekil 7'de üç farklı FV Panel tipinin 2018 yılı yıllık ortalama dize verimi (Y_a) gösterilmektedir. Şekilde de gösterildiği üzere ince film FV panel dize verimi polikristal ve monokristal FV panel tiplerine göre daha yüksek olmaktadır. İnce film FV panellerin tercih edilmesinin bir nedeni de Kütahya İli' nin iklimsel yapısından dolayı enerji üretiminde yüksek verime sahip olmalarıdır. Şöyle ki; santralde tercih edilen CdTe yapıdaki ince film FV panel gün ışığının az olduğu kış mevsiminde bile enerji üretimi oldukça yüksektedir.



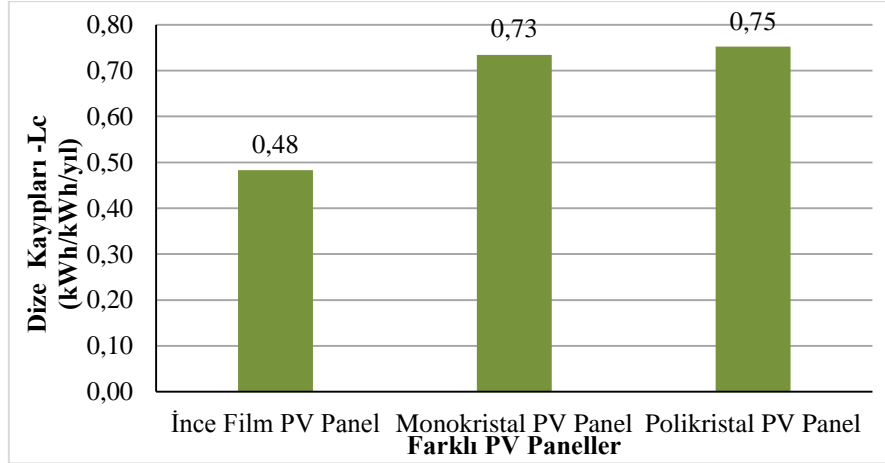
Şekil 7. Farklı FV panel tipleri için dize verimi (Y_d).

Şekil 8’de ince film FV panelin aylık ortalama sıcaklığa göre şebekeye aktarılan enerji miktarları verilmektedir. Şekilde de gözüktüğü gibi temmuz ayında sıcaklık maksimum seviyeye ulaşması sebebiyle şebekeye aktarılan enerjide en yüksek seviyeye ulaşmaktadır.

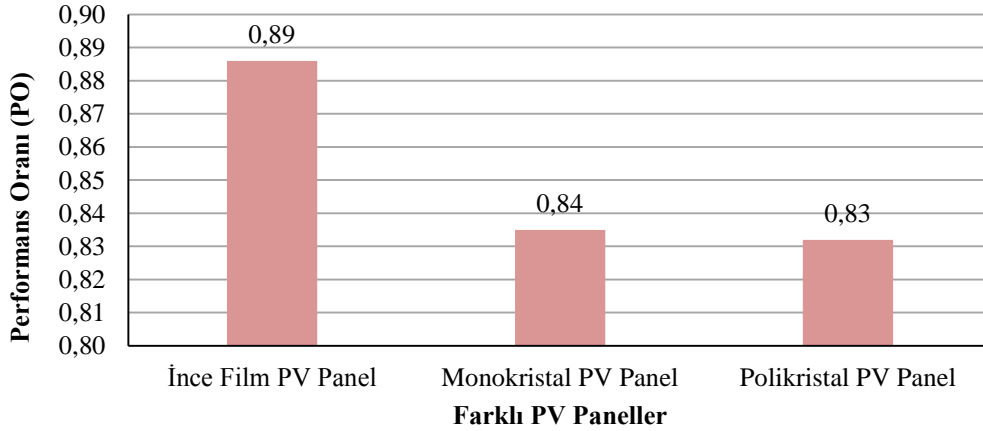


Şekil 8. İnce Film FV panelin aylık ortalama sıcaklık değerine göre şebekeye aktarılan enerji (kWh).

Şekil 9’da üç farklı FV Panel tipinin 2018 yılına ait yıllık ortalama dize kayıpları (L_c) gösterilmektedir. Şekilde de gösterildiği gibi en az dize kaybına sahip ince film FV panel kullanılan GES’ de gerçekleşmektedir.



Şekil 9. Farklı FV panel tipleri için dize kayıpları (L_c).



Şekil 10. Farklı FV panel tipleri için performans oranı (PO).

Şekil 10’ da 2018 yılı için üç farklı FV panel tipine ait yıllık performans oranları (PO) gösterilmektedir. Şekilde de gösterildiği üzere ince film FV panelin performans oranının oldukça iyi olmasından dolayı Şehzade GES Projesinde kullanılması tercih edilmiştir.

Benzetim programından elde edilen veriler haricinde Şehzade Park GES projesinde CdTe yapıda ki ince film FV panellerin tercih edilmesinin sebepleri arasında; Mükemmel düşük ışık kaynağı tepkisidir. Yani kadmiyum tellürit, tam spektrum için yüksek emilime sahip doğrudan bant boşluğu olan bir malzemedir. Düşük ışık koşullarında, şafak vakti, gün batımı veya dağınık bir aydınlatmada, CdTe ince film güneş panelinin güç üretim performansının kristal silikon malzemeye sahip panellerden

üstün olduğu kanıtlanmıştır. İnce film FV panellerde düşük ışık koşullarında elektron hareketliği devam ettiği için enerji üretimi de devam etmektedir. CdTe ince film yapıları panelin sıcak nokta efektini azaltmaya yardımcı olur ve bu da güç üretim kapasitesinin artırmaktadır. Ayrıca İnce film FV panelleri kaplayan cam, güneş ışığını yansıtmayan özelliğindedir [19]. CdTe FV panellerin gerek enerji üretim verimliliği ve CdTe tip ince film FV panellerin dize kayıpları az ve dize verimliliği de fazladır. Bu yüzden diğer FV (Monokristal ve Polikristal) panellere göre daha avantajlı yapıya sahip olmasından dolayı tercih edilebilir.

Çizelge 1’de Üç farklı FV panel tipi için Performans Oranı (PO) , Kapasite Faktörü (KF) ve Verim verilmektedir.

Çizelge 1. Üç farklı FV panel için- *PO* (Performans Oranı), *KF* (Kapasite Faktörü) ve verim.

	Nihai Verim	Referans Verim	Bir Yıl Boyunca Üretilen Toplam Enerji (kWh)	Sistemin Ürettiği AC güç (kWe)	Kurulu FV Gücü (kWp)	Sisteme Gelen Işınım (kWh/m ²)	Sistemin Yüzey Alanı (m ²)	Performans Oranı	Kapasite Faktörü %	Verim %
FV Paneller	Y_f	Y_r	$E_{AC,a}$	E_{AC}	$P_{(FV, rated)}$	H_t	A_a	$PO=(Y_f/Y_r)$	$KF=E_{AC,a}/(8760 * P_{FV, rated})$	$\eta_{(SYS, m)} = \frac{E_{AC}}{E_{AC} * A_a}$
İnce Film	4,34	4,91	533215	542793	336	1791,8	2016	0,89	18	15
Monokristal	4,1	4,91	502844	512066	336	1791,8	2836	0,84	17	10
Polikristal	4,08	4,91	500732	509771	336	1791,8	2805	0,83	17	10

Çizelge 1’de de görüldüğü üzere, ince film panel Kapasite faktörü (KF), verim ve Performans Oranı (PO) açısından, Monokristal ve Polikristal FV panel tiplerine göre üstünlük göstermektedir.

2.3. Şehzade Park Güneş Enerji Santralinin Ekonomik Analizi

Bu çalışmada Şehzade Park GES’ in farklı panel tipleri kullanılarak PVsyst V6.78 benzetim programında çalışmaları yapılmış ve üretim verileri ortaya konulmuştur. Benzetim Programından elde edilen veriler gerçek verilerle karşılaştırılmış ve Şehzade Park GES’ in ekonomik analizi yapılmıştır. Çizelge 2’de farklı FV Panel tipleri kullanılarak şebekeye aktarılan enerji ve Şehzade Park GES’ de şebekeye aktarılan enerji miktarı gösterilmektedir. Çizelgede gerçek üretim ile benzetim programından elde edilen üretimler arası epeyce fark olduğu görülmektedir. Enerji üretimleri arasındaki farkın sebebi; Şehzade Park GES Projesi için OEDAŞ ile yapılan bağlantı sözleşmesi gereği santralimizin üretim kapasitesi 280 kWe değerinde sınırlandırılmaktadır. Bu nedenle şebekeye aktarılan enerji %83 düzeyindedir.

Çizelge 2. Şehzade park GES' in üretim verileri.

Aylar	PVsyst V6.78 Benzetim Programı Üretim Sonuçları			Gerçek Üretim Sonuçları
	İnce Film FV Şebekeye Aktarılan Enerji (MWh)	Monokristal FV Şebekeye Aktarılan Enerji (MWh)	Polikristal FV Şebekeye Aktarılan Enerji (MWh)	İnce Film FV Şebekeye Aktarılan Enerji (MWh)
Ocak	25,06	23,84	24,73	
Şubat	31,01	29,49	30,45	6,78
Mart	43,38	41,12	41,98	40,94
Nisan	48,47	45,91	46,73	54,51
Mayıs	53,53	50,42	49,94	46,76
Haziran	57,78	54,28	53,13	36,62
Temmuz	64,28	60,21	57,58	9,93
Ağustos	62,19	58,29	55,83	39,85
Eylül	52,00	48,89	48,02	47,77
Ekim	41,09	38,74	39,01	40,76
Kasım	32,45	30,76	31,65	20,58
Aralık	21,98	20,90	21,69	10,56
Toplam	533,22	502,84	500,73	355,06

Çizelge 2'ye göre ince film FV panelde şebekeye aktarılan enerjinin fazla olduğu görülmektedir. İnce film FV panelin özellikleri sebebiyle FV panel verimi oldukça yüksek, kayıplar ise en az düzeyde olması sebebiyle şebekeye aktarılan enerji diğer FV panel tiplerine göre fazladır.

Çizelge 3' te sınırlı düzeyde şebekeye aktarılan enerji ve Şehzade Park GES' in kurulumundan itibaren aylık olarak şebekeye aktarılan enerji miktarları verilmiştir.

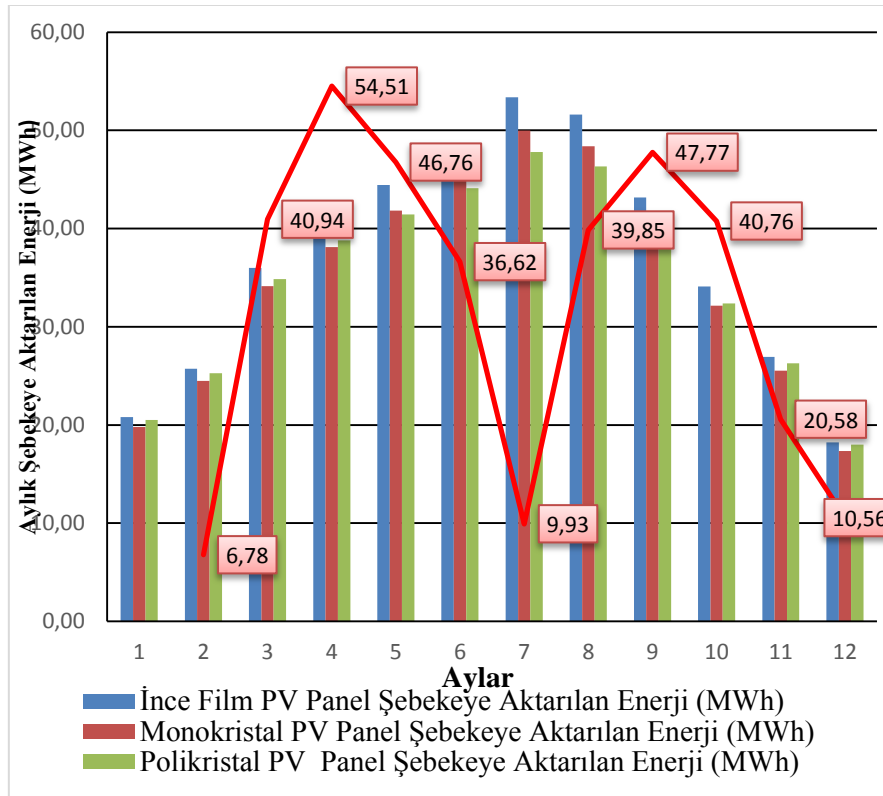
Çizelge 3. Şehzade park GES üretim verileri (280 Kwp kapasite için sınırlandırılmış şebekeye aktarılan enerji miktarları).

Aylar	PVsyst V6.78 Benzetim Programı Üretim Sonuçları			Gerçek Üretim Sonuçları
	İnce Film FV Panel Şebekeye Aktarılan Enerji (MWh)	Monokristal FV Panel Şebekeye Aktarılan Enerji (MWh)	Polikristal FV Panel Şebekeye Aktarılan Enerji (MWh)	İnce Film FV Panel Şebekeye Aktarılan Enerji (MWh)
Ocak	20,80	19,79	20,52	
Şubat	25,74	24,48	25,27	6,78
Mart	36,00	34,13	34,85	40,94
Nisan	40,23	38,11	38,79	54,51
Mayıs	44,43	41,84	41,45	46,76

Haziran	47,96	45,05	44,10	36,62
Temmuz	53,35	49,97	47,79	9,93
Ağustos	51,62	48,37	46,34	39,85
Eylül	43,16	40,58	39,86	47,77
Ekim	34,10	32,15	32,38	40,76
Kasım	26,93	25,53	26,27	20,58
Aralık	18,24	17,35	18,00	10,56
Yıl	421,77	397,57	395,08	355,06

Çizelge 3’de İnce film FV panelde şebekeye aktarılan enerji fazla olmakla birlikte gerçek sonuç ile arasında 66,71 MWh’lik fark bulunmaktadır. Bu farkın sebebi ise santralin 21 Şubat 2018 tarihi itibariyle üretime başlamasından dolayı Ocak ayında üretimin gerçekleşmemesidir. Bir diğer sebebi ise santralin Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında zaman zaman arıza meydana gelmesi nedeniyle bu aylarda üretilmesi gereken değerlerin altında enerji üretmesidir.

Şekil 8’de benzetim programında farklı FV Panel tipleri, şebekeye aktarılan enerji ve gerçek şebekeye aktarılan gerçek enerji değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 11. Benzetim programı ve santral enerji üretim değerleri.

Şekil 11’de Gerçek üretim değerleri ile benzetim programında elde edilen değerler benzerlik göstermektedir. Şekilde bazı aylarda üretimde azalma olduğu görülmektedir. Ocak ve Şubat aylarında üretimlerin az olmasının sebebi santralin 21 Şubat 2018 tarihinden itibaren üretime başlamış olmasıdır. Bu sebeple benzetim programında elde edilen değerler gerçek üretim değerleriyle uyuşmamaktadır. Yaz aylarında üretimde meydana gelen azalmanın sebebi ise, santralde Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında arızalar meydana gelmesi ve santralde üretim durmasıdır [17].

Çizelge 4’te Şehzade Park GES’ in günlük şebekeye aktarılan gerçek enerji değerleri verilmiştir.

Çizelge 4. Şehzade park GES' in günlük şebekeye aktarılan enerji miktarı (kWh).

Gün	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
1	0	1327	1784	1998	1677	0	0	2050	698	713	163
2	0	1199	1743	1806	2102	0	0	2125	1944	396	579
3	0	1258	2200	2049	2171	235	62	2071	2002	218	394
4	0	933	2211	1663	2357	2207	229	1985	1995	250	202
5	0	651	2177	1828	1550	0	1650	1292	1869	1051	37
6	0	1473	1992	790	1963	9	1841	1692	1601	295	108
7	0	1419	2021	1457	1887	48	1848	1737	1529	1686	316
8	0	1074	93	680	2004	2017	1842	1643	946	1646	1278
9	0	791	1571	1091	2228	1654	613	1180	1154	1391	776
10	0	2043	2177	1149	1790	1593	455	1696	531	1169	347
11	0	1714	1113	1525	2056	2165	0	1934	628	719	485
12	0	2034	1492	883	2340	0	0	1238	1522	1109	264
13	0	1562	2103	2374	2297	0	0	693	1495	1503	751
14	0	1129	2130	2330	1543	0	0	868	1482	795	85
15	0	920	1424	2341	1439	0	234	1761	1343	486	750
16	0	1732	1858	1931	57	0	2152	1433	758	316	308
17	0	1580	1433	1895	723	0	1592	1588	710	250	228
18	0	546	2031	1631	0	0	1914	1892	867	1051	356
19	0	1527	1760	1520	968	0	2167	2063	1325	385	129
20	457	1741	668	1421	0	0	2205	2009	1311	346	222
21	858	1940	1473	1574	0	0	1692	2006	190	507	598
22	884	1243	2289	1144	0	0	2000	1982	1854	201	500
23	714	622	2253	1896	1184	0	1860	1983	1813	745	270
24	1109	1083	2255	1307	1737	0	1737	690	1727	1211	1039
25	324	1467	2144	919	142	0	1825	276	1752	544	0
26	807	774	2008	1143	174	0	1929	1537	1555	342	0
27	1171	1431	1559	1119	0	0	1806	1815	1528	365	0

Atalay Ayran, Z. ve Aslan Y., *Journal of Scientific Reports-C, Sayı 1, 17-37, Haziran 2020.*
Atalay Ayran, Z. and Aslan Y., *Journal of Scientific Reports-C, Number 1, 17-37, June 2020.*

28	452	1617	2245	1286	0	0	2018	2017	1648	32	74
29	0	188	2249	1384	234	0	2104	1114	1679	61	18
30	0	1952	2050	1192	0	0	2176	1401	1301	0	22
31	0	1968	0	1436	0	0	1901	0	0	0	256
TOPLAM	6776	38970	54506	45326	34623	9928	37951	47771	40757	19783	10299

Çizelge 4’de Şubat ayından itibaren üretime başladığı için çizelgede Ocak ayı göz önünde tutulmamıştır. Çizelgedeki sıfır değerleri ise santralin üretiminin durduğunu ifade etmektedir.

Çizelge 5’ de Şehzade Park GES’ in kurulumundan itibaren 2019 yılı Mayıs ayı sonuna kadar üretimin dâhil olduğu ekonomik veriler gösterilmektedir.

Çizelge 5. Yıllara göre aylık toplam üretim miktarı ekonomik verileri.

Yıllara Göre Aylık Toplam Üretim Miktarı Ekonomik Verileri						
YIL	AY	Miktar (kWh)	Birim Fiyat (TL/kWp)	Tutar (TL)	KDV (%18)	Toplam Tutar (TL)
2018	Şubat	6775	0,50	3406	613	4019
	Mart	40940	0,52	21133	3804	24936
	Nisan	54507	0,54	29349	5283	34631
	Mayıs	46764	0,58	27256	4906	32162
	Haziran	34624	0,61	21109	3800	24908
	Temmuz	9928	0,62	6107	1099	7206
	Ağustos	39852	0,78	31184	5613	36798
	Eylül	47771	0,84	40307	7255	47562
	Ekim	40761	0,78	31712	5708	37470
	Kasım	20577	0,72	14770	2659	17428
	Aralık	10557	0,71	7443	1339	8782
	2019	Ocak	12086	0,71	8609	1550
Şubat		26388	0,70	18456	3322	27779
Mart		45211	0,73	32858	5914	38772
Nisan		37719	0,77	28809	5204	34113
Mayıs		50864	0,80	40873	7357	48231
TOPLAM=						434957

Çizelge 5’de belirtilen değerlere göre santralimizin benzetim programı ile tespit edilen değerle kazanılan değer arasında 49.173 TL’lik bir fark vardır. Bu farkın nedeni ise GES’in arızalı olduğundan enerji üretiminin durması ve santralin enerji üretimine Şubat ayında başlanmasından dolayıdır. Bu değere göre santralin, yaklaşık olarak bir ay boyunca enerji üretmemiştir.

Çizelge 6’da farklı FV panel tipleri için ilk yatırım maliyetleri gösterilmektedir.

Çizelge 6. Şehzade Park GES'nin ilk yatırım maliyet çizelgesi.

Şehzade Park GES'nin İlk Yatırım Maliyetleri (TL)	
2800 adet ince film FV panel fiyatı toplam	638.087
FV Panel montaj yardımcı donanımlar	185.634
Çelik kondüksiyon fiyatı	178.522
İnverter fiyatı	145.829
Orta gerilim ve alçak gerilim kablolama	37.450
400 kVA trafo fiyatı	17.078
Çift taraflı sayaç fiyatı	900
CCVT-çevre aydınlatma-topraklama	105.000
Saha çevresine tel çit	4.500
Saha düzenleme	82.000
Proje giderleri	15.000
Geçici kabul onay giderleri	10.000
İşçilik ve montaj	65.001
Toplam Maliyet	1.485.000

Çizelge 6’da görüldüğü üzere ince film FV paneller diğer panel tiplerine göre ilk yatırım maliyeti yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Fakat önceki bölümlerde de açıklandığı üzere ince film FV panel ile kurulumu yapılan santralde şebekeye aktarılan enerji maksimum seviyede olmaktadır. Dize (L_c) ve sistem kayıpları (L_s) ise minimum seviyede ve performans oranı ise diğer FV panellere göre daha yüksek bir değere sahip olmasından dolayı Şehzade Park GES’ in kurulumunda ince film FV paneller tercih edilmiştir.

Çizelge 7’de Şehzade Park GES’ in yıllık gider cetveli verilmektedir

Çizelge 7. Şehzade Park GES' in yıllık gider cetveli.

Aylar	Aylık Bakım Gideri	Elektrik Dağıtım Bedeli	Harcanan Enerji Bedeli
	TL	TL	TL
Mart	238	330	60
Nisan	238	1 367	162
Mayıs	238	1 795	128
Haziran	238	1 308	122
Temmuz	238	1 936	103
Ağustos	238	347	29
Eylül	238	1 391	108
Ekim	238	1 694	126
Kasım	238	1 499	126

Aralık	238	725	202
Ocak	238	984	602
Şubat	238	534	316
Mart	238	1 043	256
Toplam	3 094	14 958	2 344

Çizelge 7’de İlk sütun aylık bakım gideri yani işletme sorumlusu olan elektrik mühendisine ödenen bedel, elektrik dağıtım bedeli GES’ in aylık üretim verilerine göre değişiklik gösteren değer, en son sütunda da GES’ in aylık olarak sahasında bulundurduğu gerek aydınlatma gerekse güvenlik sistemleri tarafından harcanan enerji bedeli yer almaktadır. Çizelgede yer alan değerler kullanılarak basit olarak yatırım geri dönüşüm süresi hesabı yapmak mümkündür.

Şehzade Park GES’ in basit olarak yatırım geri dönüşüm süresi:
Geri dönüşüm süresi = İlk yatırım maliyeti / Yıllık kazanç

Eşitliği kullanılarak hesaplanabilir. Burada çok basit bir hesap yapılmaktadır. GES’ in yıllık kayıpları hesaba alınmamıştır. Çünkü farklı FV panel tipleri için üretime bağlı elektrik dağıtım bedeli değişeceği için ve benzetim programından bu değerleri tahmin etmek mümkün olmamaktadır. Bu yüzden de santralde yıllık gider hiç yokmuş gibi hesap edilmiştir.

Çizelge 8’de Şehzade Park GES’nin farklı panel tipleri ile kurulumu yapıldığı düşünülerek santral yatırım geri dönüşüm yılı oranları verilmiştir. Yatırım geri dönüşüm yılı hesapları yapılırken santralin bir yıllık bakım ve diğer giderleri göz ardı edilmiş olup, ilk yatırım maliyeti yıllık kazanç bölünerek yatırım geri dönüşüm yılı hesaplanmıştır.

Çizelge 8. Farklı FV Panel tipleri için Şehzade Park GES'nin geri dönüşüm süreleri.

FV Panel Tipleri	İlk yatırım maliyeti TL	Yıllık kazanç TL	Geri dönüşüm süresi (YIL)
Şehzade GES ince film FV panel ile kurulumu yıllık gerçek kazanç	1.485.000	277.292,5	5
İnce film FV panel ile kurulumu yıllık kazanç	1.485.000	326.466,5	5
Monokristal FV panel ile kurulumu yıllık kazanç	1.408.491	307.626,1	5
Polikristal FV panel ile kurulumu yıllık kazanç	1.382.478	305.193,5	5

Çizelge 8’de görüldüğü gibi yapılan basit geri dönüşüm süresi hesabında FV panellerin yıllara göre verim değerleri göz ardı edilmiştir. Benzetim programıyla hesaplanan üretim değerleri Monokristal, Polikristal ve İnce Film FV panellerinin şebekeye aktardıkları güç birbirine yakın değerlere sahiptir ve güç ile doğru orantılı olarak tüm FV panellerin yıllık kazançları arasında çok büyük fark olmadığı gözükmemektedir. Her üç FV panel tipinin ilk yatırım maliyetleri birbirine yakın değerler olarak hesaplanmıştır. Tüm bu sebeplerden dolayı Monokristal, Polikristal ve İnce Film PV panel tiplerinin geri dönüşüm süresi 5 yıl olarak aynı çıkmaktadır.

Çizelge 9. Şehzade Park güneş enerji santrali yatırım geri dönüşüm yılı hesabı.

Şehzade Park Güneş Enerji Santrali Yatırım Geri Dönüşüm Yılı Hesabı							
Yıl	Güneş Paneli Verim Kaybı	Güneş Paneli Verimi	Enerji Üretimi MWh/yıl	Yıllık Gelir TL	Yatırım Bedeli (TL)	Yıllık Gider TL	Yatırım Geri Dönüşümü TL
1	100%	100%	391,530	313 841	-1 485 000	-20 397	-1 191 556
2		99%	388,985	256 730		-20 397	-955 222
3		99%	386,440	255 050		-20 397	-720 568
4		98%	383,895	253 371		-20 397	-487 594
5		97%	381,350	251 691		-20 397	-256 299
6		97%	378,805	250 011		-20 397	-26 684
7		96%	376,260	248 332		-20 397	201 251
8		95%	373,715	246 652		-20 397	427 506
9		95%	371,170	244 972		-20 397	652 082
10		94%	368,625	243 293		-20 397	874 979
11	94%	94%	366,081	241 613		-20 397	1 096 195
12		93%	363,536	239 933		-20 397	1 315 732
13		92%	360,991	238 254		-20 397	1 533 589
14		92%	358,446	236 574		-20 397	1 749 767
15		91%	355,901	234 895		-20 397	1 964 265
16		90%	353,356	233 215		-20 397	2 177 083
17		90%	350,811	231 535		-20 397	2 388 222
18		89%	348,266	229 856		-20 397	2 597 681
19		88%	345,721	228 176		-20 397	2 805 460
20		88%	343,176	226 496		-20 397	3 011 560
21		87%	340,631	224 817		-20 397	3 215 980
22		86%	338,086	223 137		-20 397	3 418 720
23		86%	335,541	221 457		-20 397	3 619 781
24		85%	332,996	219 778		-20 397	3 819 162
25	90%	84%	330,451	218 098		-20 397	4016 863

Çizelge 9’da Şehzade Park GES’nde kullanılan A firmasına ait ince film CdTe yapıda FV panelin şartnamesinde, FV panelin veriminin 25 yılın sonunda %84’ün altına düşmeyeceği belirtildiği için çizelgede güneş paneli verim değeri 25 yılın sonunda %84 olarak alınmıştır. Santralde yıllık gelir olarak, 2018 Şubat ile 2019 Şubat ayları arasında kazanılan bir yıllık kazanç baz alınmıştır. Sonraki yıllarda kazanılacak değerler bir yıllık ortalama birim fiyat gerçek sonuçlarının ortalamasından elde edilen değer 0,66 TL her yıl kazanılacak bedel enerji üretim değeri ile çarpılarak elde edilmiştir. Yıllık giderler ise; gider hesap cetvelinde verilen değerler 25 yıl boyunca sabit değer olarak kullanılmıştır. Yıllık geri dönüşümü kazancı ise; ilk yıl için, ilk yatırım bedeli, yıllık gider ve yıllık gelir toplanarak elde edilmiştir. Diğer yılların yıllık geri dönüşüm hesabı da yıllık gelir, yıllık gider ve ilk yıla ait yıllık geri dönüşüm bedeli toplanarak hesap edilmiştir. Ayrıntılı olarak yapılan hesap neticesinde Çizelge 9’ de görüldüğü gibi GES, 6 yılın sonunda kendisini amorti etmektedir [16].

3.SONUÇLAR

Çalışmada benzetim programından elde edilen sonuçlar ile gerçek sonuçlar arasında %16 fark olduğu görülmektedir. Bu farkın da santralin ilk kurulum yılı olması sebebiyle, meydana gelen arızalara geç müdahale edildiğinden enerji üretiminin belli bir zaman aralığında durması sebebiyle meydana gelmektedir. Aylık bazda tek tek gerçek üretim ile benzetim değerleri karşılaştırılacak olursa, genelde gerçek üretim değerlerinin benzetim değerlerinden yüksek çıktığı görülmektedir. Benzetim programı PVsyst V 6.78'de Kütahya ili için meteorolojik veritabanı olarak SOLARGIS şirketinden alınan 2018 yılına ait güncel veriler kullanılmıştır.

Yapılan çalışmada, Şehzade Park GES' de A firmasına ait CdTe yapıda ince film FV panellerin yapısı gereği gün ışığının minimum olduğu zamanlarda bile FV paneller enerji üretiminde oldukça verimli olmaları ve çevresel etkenlerden (toz, gölge, ve sıcaklık farkları) minimum etkilenmeleri sebebiyle Şehzade Güneş Enerji Santralinde CdTE yapıda ince film FV panel kullanılmıştır. Sonuçta elde edilen veriler göz önüne alındığında; Kütahya ili gibi karasal iklim özelliklerine sahip, gece ile gündüz sıcaklık farklarının fazla olduğu ve güneşlenme süresinin az olduğu illerde kurulacak yeni GES' ler için ince film CdTe yapıda FV panellerin kullanılmasının uygun olabileceği tespit edilmiştir. Paneller verimlilik açısından sahada 25° açı ile yerleştirilmiştir. 25 ° panel eğim açısı Kütahya İlinde GES' in kurulduğu saha için en yüksek enerji üretiminin olduğu eğim açısıdır.

Şehzade Park GES' de meydana gelen arızaların, merkezi inverter sistemi kullanılmasından mı kaynaklandığı yoksa orta gerilim tesisatı arızasından mı kaynaklandığı tam olarak anlaşılamamıştır. Fakat yapılan araştırmalar sonucunda merkezi inverter kullanılan bazı santrallerde özellikle mevsim sıcaklığının fazla olduğu aylarda, inverter çalışma sıcaklığı sınırlarını aşan kabin sıcaklığı nedeniyle inverterin santrali devre dışı bıraktığı görülmüştür. Hatta santralde oluşabilecek herhangi bir bölgesel arıza durumunda bile merkezi inverter sistemi bağlantı yapısı gereği tüm enerji üretiminin durmasına sebebiyet vermektedir.

Çalışmada GES' in yatırım geri dönüşüm yılı hesabı yapılmış; bu hesap doğrultusunda da bu sürenin 6 yıl gibi bir süre olduğu tespit edilmiştir. Önceki çalışmalara bakıldığında FV panel teknolojisindeki hızlı ve olumlu gelişmeler sayesinde güneş enerji santralleri için ilk yatırım maliyetleri zamanla düşmektedir. Bu sebeple de kurulacak santrallerin yatırım geri dönüşüm yılı süresi azalmaktadır. Güneş Enerji Santralleri yenilenebilir kaynaklı çevre dostu bir santrali olması sebebiyle gelecek yıllarda daha fazla önem kazanması ve GES konusunda yatırımların daha da artması beklenmektedir. Çalışmada kullanılan PVsyst V6.78 benzetim programı ve meteorolojik verileri elde etmek için kullanılan SOLARGIS (Güneş Enerjisi Yatırımları İçin Hava Durumu Verileri ve Yazılımı) programı gerçeğe yakın sonuçlar sağlamasından dolayı ileride yapılacak benzetim çalışmalarda da kullanılması önerilebilmektedir.

4.TARTIŞMA

FV panel eğim açısı, hem yapısal faktörler (FV panel tipi ve ışınım) hem de iklimsel faktörler açısından farklılık gösterebilmektedir. Bu nedenle ileri çalışmalarda inşası yapılacak olan GES'lerde; ya en verimli sistem olan güneş takip sistemi kullanılmalı, ya da GES' in yapısal ve iklimsel faktörlere göre FV panel eğim açısı değerlendirilerek kullanılmalıdır.

İleride kurulacak olan GES'lerde kullanılacak inverter tipi, santralin kurulu gücü doğrultusunda ve bölgenin iklimsel şartlarına göre değerlendirilmelidir. Kurulu gücü büyük olan güneş enerji

santrallerinde genelde merkezi inverter kullanılmaktadır. Fakat mevsim sıcaklıkları aşırı artan bölgelerde merkezi inverter kurulması gerekirse, merkezi inverter kabin içi sıcaklığını belirli bir seviyede tutulmasını sağlayacak ilave tedbirler alınması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] www.worldometers.info.(2018, Aralık 01)
- [2] <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/EIGM-Raporlari> (2020, Mayıs 5)
- [3] www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik. (2020, Nisan 01).
- [4] Beyoğlu, M. F. (2011), Balıkesir ilinde çift eksenli güneş takip sistemi ile sabit eksenli pv sistemin verimlerinin karşılaştırılması, Balıkesir üniversitesi fen bilimleri enstitüsü, s.83.
- [5] 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, Doctoral dissertation, Enerji enstitüsü, s. 223.
- [6] Ayaz, R., (2012), Farklı pv teknolojilerinin gerçek ortam verileri kullanılarak modellenmesi ve İstanbul şartlarında optimum eğim açılarının belirlenmesi, Fen bilimleri enstitüsü, Yüksek lisans tezi, İstanbul, s.57.
- [7] Sharma, V., ve Chandel, S. S. (2013), Performance analysis of a 190 kWp grid interactive solar photovoltaic power plant in India. *energy*, 55, 476-485.
- [8] Öztürk, H. (2012), Güneş enerjisi ve uygulamaları, Birsen yayın evi.
- [9] Kantaroğlu, F. (2010), Fotovoltaik sistemler, Tiirk tesisat mühendisleri derneği, 28-34.
- [10] Sayın, S., ve Koç, İ. (2011), Güneş enerjisinden aktif olarak yararlanmada kullanılan fotovoltaik (pv) sistemler ve yapılarda kullanım biçimleri, Selçuk üniversitesi, Mühendislik mimarlık fakültesi dergisi, 89-106.
- [11] Haydaroğlu, C., ve Gümüş, B. (2016). Dicle Üniversitesi güneş enerji santralinin PVsyst ile simülasyonu ve performans parametrelerinin değerlendirilmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Dergisi*, 7.3, 402-500.
- [12] Manoj, N., Kumar, M., Rejoice, P., ve Mathew, M. (2017). Performance analysis of 100 kWp grid connected Si-poly photovoltaic system using PVsyst simulation tool. *ScienceDirect*, 180-189.
- [13] Sağlam, E. (2018), Fotovoltaik sistemlerin kurulum aşamaları ve işletimdeki santrallerin gerçekleşen üretim değerlerinin simülasyon sonuçları ile karşılaştırılması, Yüksek lisans tezi, İstanbul teknik üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü, s.189 .
- [14] www.mgm.gov.tr. (2019, Nisan 12).

- [15] www.yegm.gov.tr (2020, Mayıs 5)
- [16] Mermoud, A., ve Wittmer, B., (January,2014). PVSYST USER'S MANUAL.
- [17] Manoj, N., Kumar, M., Rejoice, P., ve Mathew, M. (2017), Performance analysis of 100 kWp grid connected Si-poly photovoltaic system using PVsyst simulation tool. ScienceDirect, 180189
- [18] Marion, B., Adelstein, J., Boyle, K. E., Hayden, H., Hammond, B., Fletcher, T., ve Rich, G. (2005, January). Performance parameters for grid-connected PV systems. In Conference Record of the Thirty-first The Institute of Electrical and Electronics Engineers Photovoltaic Specialists Conference, 2005. (s. 1601-1606). The Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- [19] www.firstsolar.com (2020, Mayıs 5)
- [20] Atalay Ayran Z. (2019), Kütahya İli Güneş Enerji Potansiyelinin Araştırılması Ve Örnek Bir Güneş Enerji Santralının Ekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü, s.94.