

Güneş Enerji Santralının Temizlik Sonrası Üretim Verilerinin İncelenmesi

Mustafa Tahir AKKOYUNLU^{1*}  Enes POLAT¹  Recep ÖZKILIÇASLAN¹ 
Veli KELEŞ¹  Yousef ABDALLATIF¹  Ahmet SAMANCI¹ 

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi

Geliş Tarihi: 16.05.2024
Kabul Tarihi: 02.08.2024
Yayın Tarihi: 31.12.2024

Anahtar Kelimeler:

Güneş enerjisi,
Fotovoltaik panel,
Üretim verileri,
Konya.

ÖZET

Güneş panelleri dünya çapında en yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Bu santraller de temiz ve sürdürülebilir enerji üretimi gerçekleştirilmektedir. Üretilen bu güç sanayi başta olmak üzere, tarımsal sulama sistemlerinde ve evsel enerji tüketiminde kullanılmaktadır. Fotovoltaik sistemin verimliliğini hava sıcaklığı, rüzgâr hızı ve yönü, bağıl nem, güneş radyasyonu, toz birikimi ve gölge gibi birçok faktör etkilemektedir. Bu çalışmada, Konya–Meram ilçesinde enerji üretimi yapan fotovoltaik bir sistem ele alınmıştır. Konya ve çevresi güneş enerjisi potansiyeli bakımından oldukça zengin bir ildir ve bu bölgede birçok santral faaliyet göstermektedir. Çalışmada Meram bölgesinde enerji üreten santralin haziran, temmuz, ağustos ve eylül aylarındaki güç üretimi FusionSolar takip sistemi kullanılarak gözlemlenmiştir. Takip sisteminden alınan veriler incelendiğinde, haziran ayında santralin ürettiği güçte önemli ölçüde güç düşüşü tespit edilmiş ve bu düşüşün toz etkisinden yani santralin kirlenmesi kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Temmuz ayında yani temizlik yapıldıktan sonra santralin ürettiği güç artmıştır. Temizlik sonrası güç üretimi, temizliğin yapılmadığı önceki aylara kıyasla %17,5 oranında artmıştır. Fakat santralin ağustos ayında tekrar kirlendiği tespit edilmiş ve santral bir kez daha temizlenmiştir. İkinci temizlikten sonra da santral performansında iyileşme gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, güneş enerjisi santrallerinin takip sistemleri ile düzenli bir şekilde izlenmesi ve kirlilik kaynaklı güç üretimindeki düşüş görülmesinden sonra santralin temizlenmesi ihtiyacını gözler önüne sermiştir. Çalışmadaki veriler, üretimde önemli bir başlangıç artışının ardından kademeli bir düşüş olduğunu göstermiş ve ortalama iki ayda bir periyodik temizlik ihtiyacını vurgulamıştır. Böylece bu santrallerden hem daha fazla güç elde edilecek hem de fosil kaynakların daha az kullanımı sağlanacaktır.

Investigation of Production Data of Solar Power Plant after Cleaning

Article Info

Received: 16.05.2024
Accepted: 02.08.2024
Published: 31.12.2024

Keywords:

Solar energy,
Photovoltaic panel,
Production data,
Konya.

ABSTRACT

Solar panels are one of the most widely used renewable energy sources worldwide. These power plants are also clean and sustainable energy production. This power is used primarily in industrial irrigation systems and domestic energy consumption. The efficiency of the photovoltaic system is influenced by many factors such as air temperature, wind speed and direction, relative humidity, solar radiation, dust accumulation, and shade. This study discussed a photovoltaic system that produces energy in the Konya–Meram district. Konya and its surroundings are rich in solar energy potential, and many power plants are operating in this region. The study also observed the power generation of the power plant in the Meram region in June, July, August, and September using the FusionSolar tracking system. When the data obtained from the follow-up system was examined, a significant power drop in the power produced by the plant was detected in June and it was determined that this decrease was due to the dust effect, that is, the contamination of the plant. In July, after cleaning, the power produced by the plant increased. Power generation after cleaning increased by 17.5% compared to previous months when cleaning was not done. However, it was found that the plant was polluted again in August and the plant was cleaned once more. After the second cleaning, the plant performance improved significantly. As a result, it has revealed the need to clean the plant after regular monitoring of solar power plants with monitoring systems and the decline in pollution-induced power generation. The data in the study showed a gradual decline in production following a significant initial increase, highlighting the need for periodic cleaning every two months on average. Thus, more power will be obtained from these plants and less use of fossil resources will be provided.

To cite this article:

Akkoyunlu, M.T., Polat, E., Özkılıçaslan, R., Keleş, V., Abdellatif, Y. & Samancı, A. (2024). Güneş enerji santralının temizlik sonrası üretim verilerinin incelenmesi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(3), 583-591. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.67>

*Sorumlu Yazar: Mustafa Tahir Akkoyunlu, makkoyunlu@erbakan.edu.tr



GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde enerji talebinin hızla artması, sürdürülebilir ve çevre dostu enerji kaynaklarına olan ihtiyacı önemli ölçüde artırmıştır. Bu bağlamda güneş enerjisi, temiz ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak giderek daha fazla tercih edilmektedir. Güneş panelleri, güneş ışınlarını elektrik enerjisine dönüştürerek elektrik üreten sistemlerdir. Üretilerek şebekeye verilen bu elektrik sanayide, evlerde ve tarımsal sulama sistemlerinde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır [1]. Güneş panellerinin verimliliği çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu faktörler FV teknolojisi, güneş ışınımı, ortam ve hücre sıcaklığı, eğim açısı ve yönlendirme, gölgelenme ve kirliliktir (toz birikimi). Günümüzde çok sayıda güneş santrali kurulmuş ve enerji üretmektedir. Sahadan alınan veriler neticesinde zamanla üretim kaybı olduğu görülmüştür. Bunun en önemli sebebi ise güneş panellerinin zamanla çevresel nedenler kaynaklı kirlenmesidir. Bu kirlenmenin en önemli sebebi ise toz oluşumudur. Toz, kaya oluşumlarının jeolojik aşındırılmasından kaynaklı, katı parçacık madde olarak karakterize edilir. Araştırmalar, temel bileşenin silikon olduğunu göstermektedir, ancak belirli organik bileşenler de bileşimine katkıda bulunabilir. Bu organik bileşenler, partikülleri bağlayan yapışkan ajanlar olarak hareket eder ve onların rüzgârla taşınmasını kolaylaştırır, böylece kirliliğe neden olur [2]. FV verimini düşüren en önemli parametrelerden biri de panel yüzeyinin kısmen veya tamamen toz nedeni ile kirlenmesidir [3]. Fotovoltaik modüller üzerinde toz birikmesi birbiriyle ilişkili üç değişkene bağlıdır. Bunlar çevresel koşullar, tozun özellikleri ve FV modülünün kurulum yöntemidir [4,5].

Yılda yaklaşık olarak 2000 milyon ton toz küresel olarak salınırken, bunun %75'i karasal yüzeylere çökmekte, kalanı ise denizlerin üzerine dağılmaktadır [6,7]. Denizlerin üzerine gelen toz birikimi karbon emilimini ve tutma süreçlerini artırırken, kara üzerine gelen toz ise güneş enerjisi santrallerinin veriminin düşmesine hatta panellerin bozulmasına neden olmaktadır [8,9].

Kirli bir yüzey, güneş ışınlarının panel içine nüfuz etmesini engeller ve bu da verimliliği azaltır. Düzenli temizlik, bu kaybın minimize edilmesine yardımcı olurken, temizlenmiş paneller daha fazla güneş ışığını emerek daha yüksek elektrik üretimi sağlar. Farklı etkileri incelemek ve bunları üretilen gerçek miktarla karşılaştırmak için güneş enerjisi santrallerinden enerji üretim miktarını tahmin etmenin yollarını bulmak da gereklidir [10].

Güneş panellerinin temizlenmesi ve kirlilik etkisinin azaltılması son zamanlarda üzerine çalışılan bir araştırma alanıdır. Irak'ın Bağdat şehrinde yapılan deneysel bir çalışma da, güneş paneli üzerindeki kirliliğin verime etkisi analiz edilmiştir. Kirlilik kaynaklı verim azalması bir gün, bir hafta ve bir ay için gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda panel verimindeki azalma %6.24, %11.8 ve %18.74 olarak belirlenmiştir [11]. Yapılan başka bir çalışmada ise Kuzey Umman'da, toz birikimine bağlı olarak panel verimindeki azalmanın %5.5 ile %18 arasında olduğu gözlemlenmiştir [12]. Benzer şekilde, Hindistan'ın Surat şehrinde sekiz haftalık bir süre boyunca biriken toz, sistemin elektriksel verimliliğinde %44.14 gibi yüksek verim azalmasına yol açmıştır [13]. Aynı şekilde, Nepal'in Lalitpur şehrinde beş ay süren toz birikimi %29.76'ya varan verimlilik azalmalarına yol açmıştır [14]. Kuzey Polonya'da yapılan gözlemlere sonucunda, doğal olarak biriken toz nedeniyle FV modüllerinin verimliliğinin, ortalama olarak %25.5 azaldığı belirlenmiştir. Benzer şekilde, Çin'in Xi'an şehrinde kirlilik nedeniyle güç üretim oranı %79.38'e düşmüştür [15]. Birleşik Arap Emirlikleri'n de yapılan başka bir çalışmada ise güç kaybının %1.7 azaldığı belirlenmiştir [16]. İran'ın Tahran şehrinde yağışsız geçen 70 günlük periyot sonucunda FV panel güç kaybının %21.47 tespit edilmiştir [17]. Jung ve arkadaşları, Şili'deki tarım arazileri üzerinde kurulan güneş santralindeki toz birikiminden kaynaklı kirlenmenin etkilerini incelemiş ve çalışma sonucunda kirliliğin santral performansını %40 oranında düşürdüğünü tespit etmiştir [18].

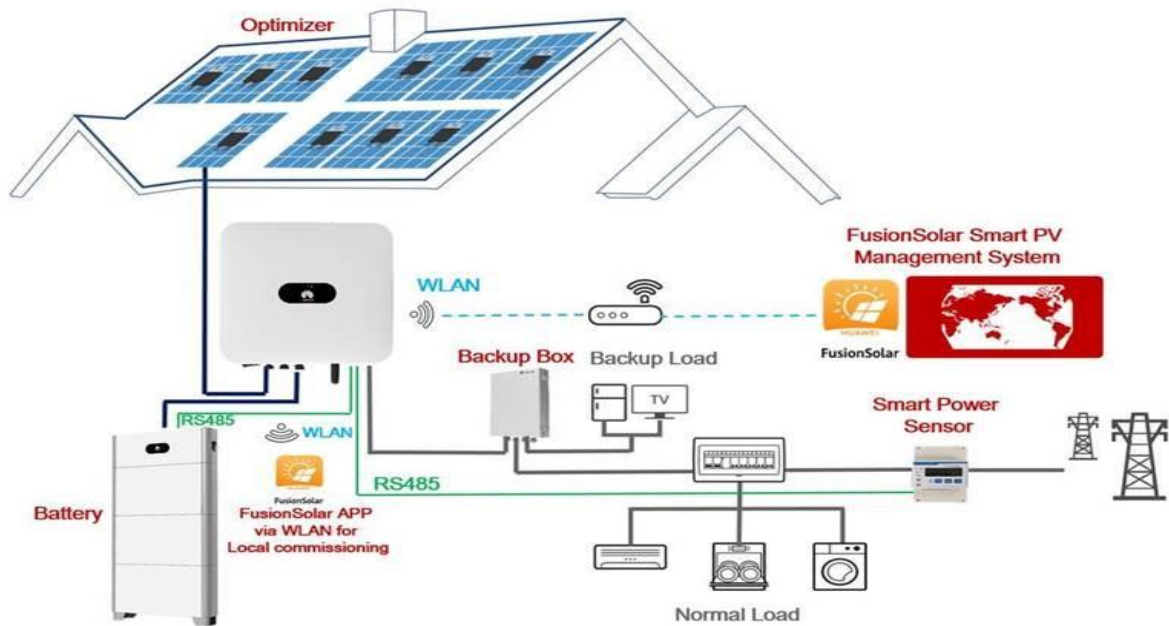
Ayrıca Selvaganes ve arkadaşları, Hindistan Silarpatti bölgesindeki bir tesiste kirli FV panelini, tasarladıkları bir robotik sistem ile temizlemiş ve yapılan işlemin panel verimliliğini %93 oranında

artırdığını ifade etmişlerdir [19]. Chailoet ve Pengwang tarafından yapılan çalışma, uzunluğu 1-4 metre arasında değişen güneş panellerini temizlemek için tasarlanmış modüler bir robotik sistem sunmakta ve robotik temizliğin elektrik üretimini %3.40'a kadar artırabileceğini ve çok kirli panellerde daha fazla verimlilik potansiyeli olduğunu göstermektedir [20].

Bu çalışmada Konya ili Meram ilçesinde bulunan bir ev tipi FV santral incelenmiştir. Santralden alınan veriler kaydedilmiş ve güç düşüşü olduğu gözlemlenmiştir. Bu düşüşün sebebi güneş panellerinin kirlenmesindedir. Çalışma sonucunda paneller temizlenmiş ve takip sisteminden alınan sonuçlar analiz edilmiştir. Böylece kirliliğin güç kaybına olan etkisi belirlenmiştir.

MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

Bu makale çalışması, FusionSolar izleme sisteminden alınan verilerle gerçekleştirilmiştir. İncelenen sistem, 6 kWp'lık güneş enerjisi santralini içermektedir. Çalışma kapsamında bir yıllık veriler incelenmiş ve bu santralde iki kez temizlik yapılmıştır. İlk olarak, analiz için seçilen güneş enerjisi santrali Konya İli, Meram ilçesinde bulunmaktadır. Bu seçim, bölgede mevcut güneş enerjisi santrallerinin varlığı ve çalışmanın, güneş enerjisi santrallerinde oluşan kirlenmenin ve temizlik sonrası verimlerinin etkilerine ışık tutma amacına dayanmaktadır. Konya İli, fotovoltaik panellerin yüksek bir kirlenme potansiyeline sahip olduğu bir bölge olarak bilinmektedir. Konya Türkiye'nin en büyük sanayi ve tarım şehirlerinden biridir. Bu nedenle tarımda ve sanayide kullanılan güneş santrallerinin güç üretiminin ve verimlerinin düzenli takip edilmesi, enerji verimliliği ve kaynakların sürdürülebilirliği açısından oldukça önemlidir [21]. Aşağıdaki şekilde ele alınan santralde kullanılan Fusion solar takip sisteminin çalışma yöntemi şematik olarak gösterilmiştir. Bu sistem güneş enerji santrallerinin işletme ve bakımını sağlamak için geliştirilmiş bir takip sistemidir.



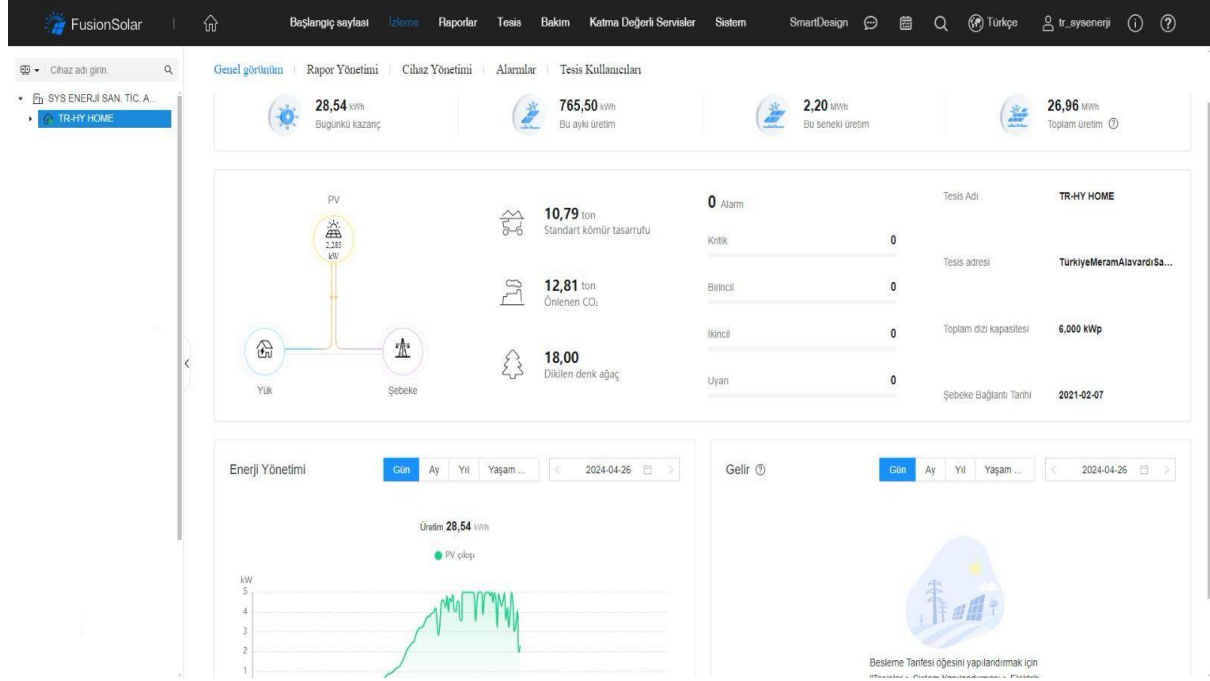
Şekil 1

FusionSolar takip sisteminin akış şeması

Veri toplama sürecinde, FusionSolar takip sistemi kullanılmış ve güneş enerjisi santralinin temizlik öncesi ve sonrası performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme, temizlik sıklığı, enerji üretim verimliliği ve panel yüzeyinin temizlik durumu gibi faktörleri içermektedir. Elde edilen veriler, güneş enerjisi santrallerindeki kirlenme ve temizlik uygulamalarının

etkilerini anlamak amacıyla detaylı bir analiz sunmaktadır.

Alınan veriler incelenerek santralin temizlik öncesi ve sonrası güç üretimindeki değişimler analiz edilmiştir. Bu analizler kirliliğin santral üzerindeki olumsuz etkilerini göstermektedir. Şekil 2 Fusionsolar takip sisteminin arayüz ekranını göstermektedir.



Şekil 2
Fusionsolar takip sistemi arayüz ekran görüntüsü

BULGULAR (RESULTS)

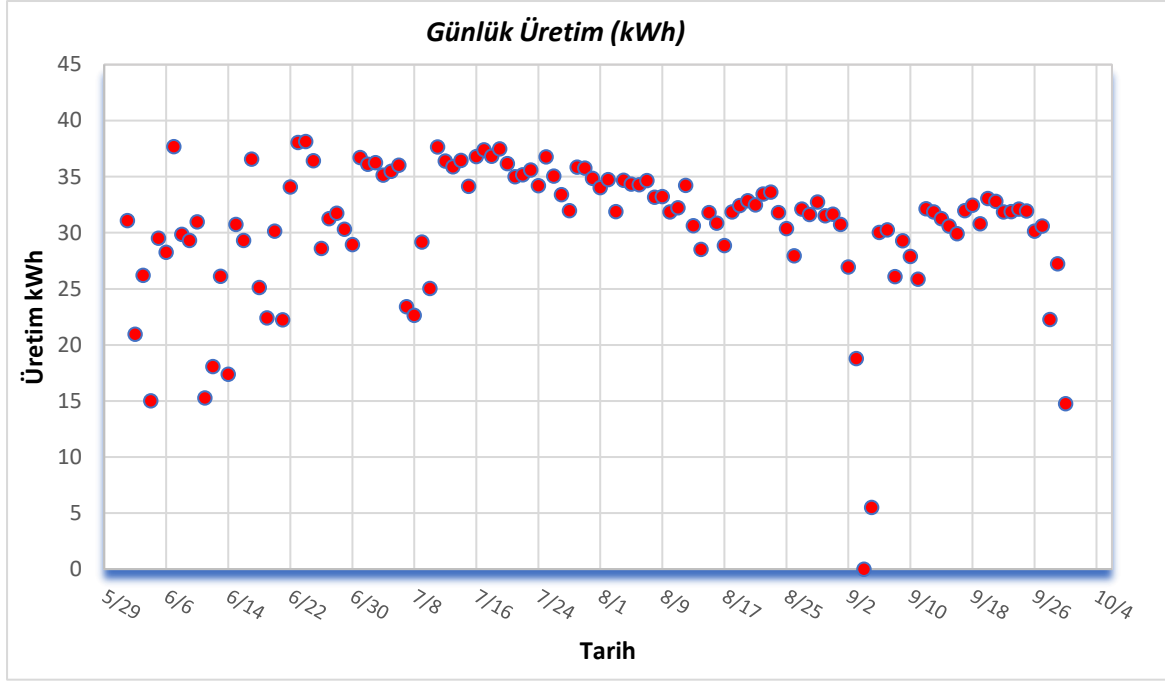
Bu bölümde, enerji üretimi, performans ve kayıplar gibi FV sisteminin analizi yapılmıştır. Fusionsolar takip sisteminden alınan veriler doğrultusunda Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarındaki güç üretimi izlenmiş ve sonuçlar kaydedilmiştir. Kirlenmenin etkisi arttıkça enerji santralinde üretilen gücün azaldığı gözlemlenmiştir. Bundan dolayı da kirlilik etkisini azaltmak amacı ile 30 Haziran ve 11 Eylül'de temizlik işlemi yapılmıştır.

Şekil 3, enerji santralinde Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül ayları için üretilen gücü göstermektedir. Şekilden görüldüğü üzere Haziran ayında üretilen güç sürekli düşmüşken, temizlik sonrasında üretilen gücün arttığı gözlemlenmiştir.

Şekil 4, dâhili şebekeye verilen toplam gücü göstermektedir. 2023'te dört ay boyunca şebekeye verilen toplam enerji 3,737.42 kWh'dir. Bu enerji Haziran ayında 850.18 kWh ile Eylül ayında 821.3 kWh arasında değişmektedir.

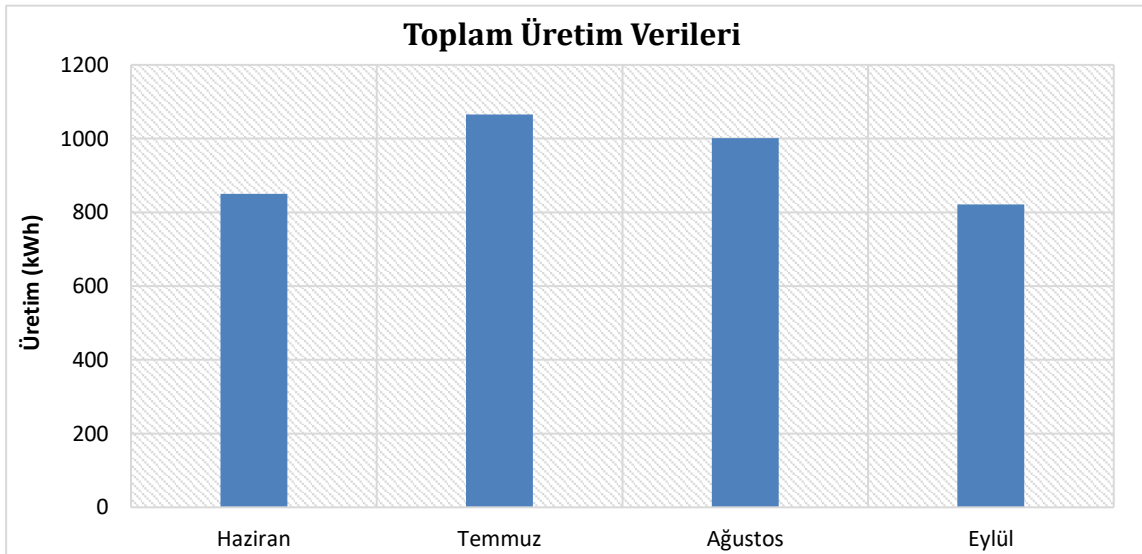
30 Haziran 2023 günü güneş enerji santralinin temizlenme işlemi gerçekleştirilmiştir. Temizlik öncesi ve sonrası üretim verileri aşağıdaki grafikte gösterilmiştir.

Fotovoltaik panellerin 30 Haziran'da temizlenmesinin ardından, Temmuz ayında, Haziran ayına kıyasla güç üretim oranının yaklaşık %17.5 arttığı görülmektedir. Bu oran Temmuz ayında toplam güç üretiminin 215 kWh'e yükselmesinde etkili olmuştur. Ağustos ayında alınan veriler doğrultusunda, temizlendikten sonraki üretim verilerinde ayın sonuna doğru düşüş olduğu görülmüştür. Bunun nedeni ay sonuna doğru kirliliğin yeniden artmasıdır. Şekil 5 ilk temizleme öncesi ve sonrası güç üretim verilerini göstermektedir.



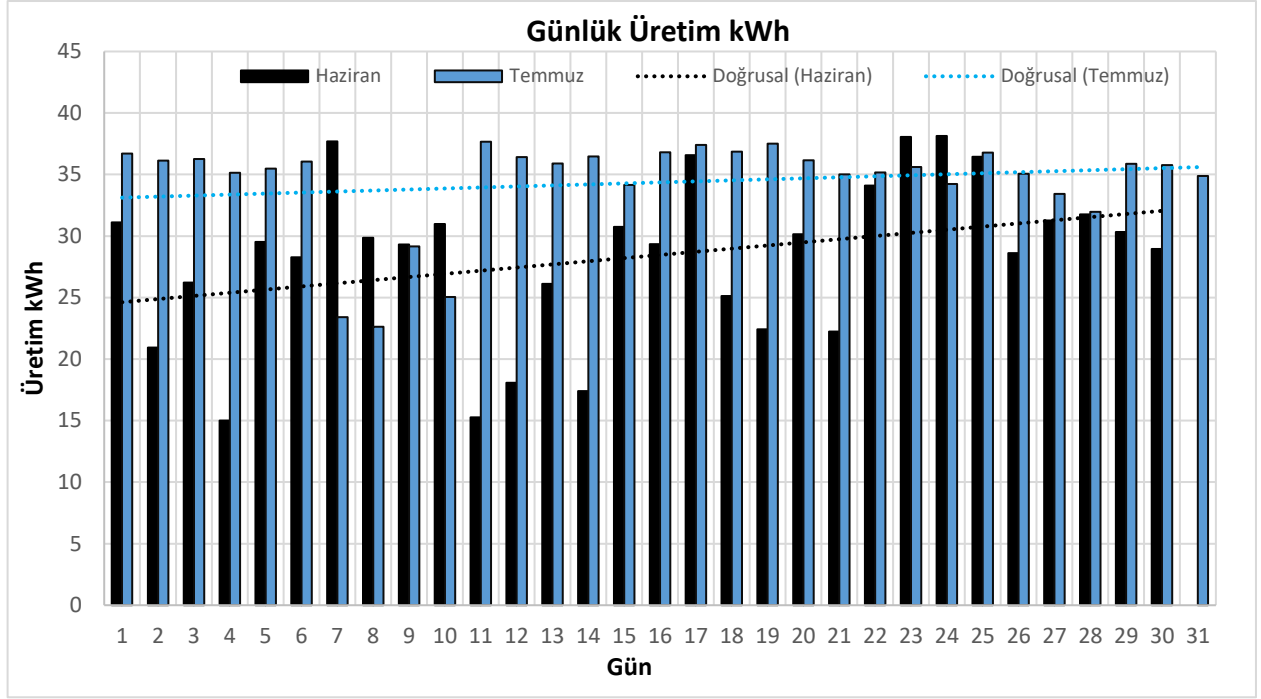
Şekil 3

Haziran, temmuz, ağustos ve eylül ayları için günlük enerji üretim verileri



Şekil 4

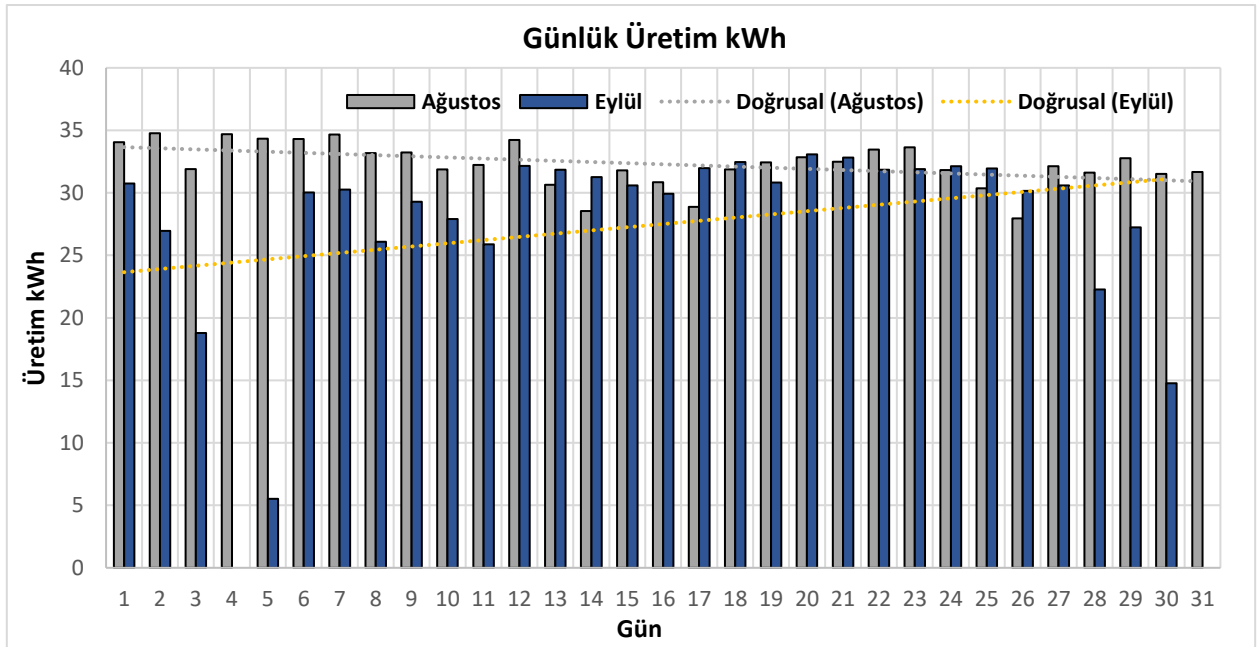
Enerji üretiminin aylık değişimi



Şekil 5

İlk temizleme işlemi öncesi ve sonrası güç üretimindeki değişim

Ağustos ayında toplam enerji üretimi yaklaşık %6 oranında düşmüş ve fotovoltaik enerji üretimi Eylül ayı başında en düşük seviyelerine ulaşmıştır. 4 Eylül'de bakım ve onarım sebebi ile güç üretimi kesilmiştir. Sistem çalışmaya başladıktan sonra güneş panellerinin temizliği 11 Eylül'de gerçekleştirilmiş ve ay boyunca güç çıkışında %21 oranında bir artış gözlenmiştir. Şekil 6 ise ikinci temizleme öncesi ve sonrası güç üretim verileri gösterilmiştir.



Şekil 6

İkinci temizleme işlemi öncesi ve sonrası güç üretimindeki değişim

TARTIŞMA VE SONUÇLAR (DISCUSSION AND CONCLUSIONS)

Bu çalışma, Konya ili, Meram ilçesinde bulunan 6 kWp'lik güneş enerjisi santralının temizlenme işlemi sonrası elde edilen verileri inceleyerek, verimde gözlemlenen değişiklikleri ortaya koymayı amaçlamıştır. Saha verileri, Konya ili için en ideal üretim zaman diliminin Haziran ile Eylül ayları arasında olduğunu göstermiştir. Bundan dolayı bu tarihler arasında iki defa temizlik yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir. Temizlik işlemi, güneş enerjisi santralının veriminde belirgin bir artışa neden olmuştur. İlk temizlik öncesi haziran ayında elde edilen ortalama üretim değeri 28.33 kWh iken, temizlik sonrası temmuz ayında bu değer 35.50 kWh olarak kaydedilmiştir. Bu durum, temizlik işleminin sonrasındaki ilk ayda %20.18 oranında bir verim artışına işaret etmektedir. Ancak, temizlik sonrasındaki ikinci ay olan ağustos ayında bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu durum, güneş enerji santralının kirlilik oranının artmaya başladığını göstermiştir bu da ikinci temizliği gerekli kılmıştır. Bu bulgu, temizlik işleminin düzenli aralıklarla tekrarlanması gerekliliğini vurgulamaktadır. Bundan dolayı santral Eylül ayında bir kez daha temizlenmiş ve ortalama üretim değerine yaklaşması sağlanmıştır. Bu durum, temizlik işleminin etkinliğinin zamanla azaldığını ve ortalama olarak iki ayda bir temizlik yapılması gerektiğini göstermektedir. Literatürde temizlik performansını ve santral verimliliğini artırmaya yönelik çeşitli tahminleme çalışmaları mevcuttur. Gelecek çalışmalarda, farklı güneş enerjisi santrallerindeki temizlik sayısını tahmin etmeye yönelik bir model geliştirmek için de makine öğrenimi kullanımına dayalı tahmin süreçleri geliştirilebilir [22, 23].

Çalışma sonucunda kirliliğin santral performansına olumsuz etkisi gösterilmiş ve güneş santrallerinin verimliliği açısından düzenli periyotlarla temizlenmesi gerekliliği ortaya konmuştur. İleride toz birikme oranını (kirlilik oranı) tahmin etmek için yapay zeka ve makine öğrenimi teknolojilerinin kullanımına dayanan ve fotovoltaik sistemlerin verimliliğini doğrudan ve dolaylı olarak etkileyen çeşitli faktörleri içeren bir matematiksel model üzerine çalışmalar yapılarak sistemler daha da optimum hale gelecektir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışmayı vermiş olduğu desteklerden dolayı SYS ENERJİ firması sahiplerinden Hüdaverdi Yayar Bey'e teşekkür ederiz.

Etik Beyan (Ethical Statement)

Bu makale, yazarların daha önce başka bir yerde yayımlanmamış olan kendi özgün çalışmasıdır. Makale, yazarların kendi araştırma ve analizlerini doğru ve eksiksiz bir şekilde yansıtmaktadır. Sonuçlar, önceki ve mevcut araştırmalar bağlamında uygun bir şekilde ele alınmıştır.

Yazar Katkıları (Author Contributions)

Araştırma Tasarımı (CRediT 1) M.T.A. (%40) – A.S. (%30) – Y.A. (%15) – R.Ö. (%15)

Veri Toplama (CRediT 2) E.P. (%60) – R.Ö. (%30) – V.K. (%10)

Araştırma - Veri Analizi - Doğrulama (CRediT 3-4-6-11) M.T.A. (%30) – A.S. (%20) – Y.A. (%20) – E.P. (%20) – R.Ö. (%10)

Makalenin Yazımı (CRediT 12-13) M.T.A. (%30) – Y.A. (%30) – R.Ö. (%20) – V.K. (%20)

Metnin Tashihi ve Geliştirilmesi (CRediT 14) E.P. (%20) – Y.A. (%30) – A.S. (%30) – V.K. (%10) – M.T.A. (%10)

Finansman (Financing)

Bu çalışma herhangi bir kurum tarafından desteklenmeden yapılmıştır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarların bu çalışma için beyan ettikleri herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SDG)

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları: Desteklemiyor

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] M. Atmaca, G. Yusufoglu, A.B. Kurtuluş, Güneş enerjili sulamanın tarım sektöründe uygulaması, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. 3 (2014), 142-153. doi:10.17798/beufen.40454
- [2] J.F. Kok, E.J.R. Parteli, T.I. Michaels, D.B. Karam, The physics of wind-blown sand and dust, *Reports on Progress in Physics*. 75 (2012), 106901. doi:10.1088/0034-4885/75/10/106901
- [3] M. Saidan, A.G. Albaali, E. Alasis, J.K. Kaldellis, Experimental study on the effect of dust deposition on solar photovoltaic panels in desert environment, *Renewable Energy*. 92 (2016), 499–505. doi:10.1016/j.renene.2016.02.031
- [4] R. Khilar, G.M. Suba, T.S. Kumar, J.S. Isaac, S.K. Shinde, S. Ramya, V. Prabhu, K.G. Erko, Improving the efficiency of photovoltaic panels using machine learning approach, *International Journal of Photoenergy*. 2022 (2022), 1–6. doi:10.1155/2022/4921153
- [5] M.S. El-Shobokshy, F.M. Hussein, Effect of dust with different physical properties on the performance of photovoltaic cells, *Solar Energy*. 51 (1993), 505–511. doi:10.1016/0038-092x(93)90135-b
- [6] Y. Shao, K.-H. Wyrwoll, A. Chappell, J. Huang, Z. Lin, G.H. McTainsh, M. Mikami, T.Y. Tanaka, X. Wang, S. Yoon, Dust cycle: An emerging core theme in Earth system science, *Aeolian Research*. 2 (2011), 181–204. doi:10.1016/j.aeolia.2011.02.001
- [7] P. Ginoux, J.M. Prospero, T.E. Gill, N.C. Hsu, M. Zhao, Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products, *Reviews of Geophysics*. 50 (2012), RG3005. doi:10.1029/2012rg000388
- [8] K. Pabortsava, R.S. Lampitt, J. Benson, C. Crowe, R. McLachlan, F. a. C.L. Moigne, C.M. Moore, C. Pebody, P. Provost, A.P. Rees, G.H. Tilstone, E.M.S. Woodward, Carbon sequestration in the deep Atlantic enhanced by Saharan dust, *Nature Geoscience*. 10 (2017), 189–194. doi:10.1038/ngeo2899
- [9] X. Li, D.L. Mauzerall, M.H. Bergin, Global reduction of solar power generation efficiency due to aerosols and panel soiling, *Nature Sustainability*. 3 (2020), 720–727. doi:10.1038/s41893-020-0553-2
- [10] M. Hacibeyoglu, M. Çelik, Ö.E. Çiçek, K en yakın komşu algoritması ile binalarda enerji verimliliği tahmini, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 5(2) (2023), 65–74. doi:10.47112/neufmbd.2023.10
- [11] M. Saidan, A.G. Albaali, E. Alasis, J.K. Kaldellis, Experimental study on the effect of dust deposition on solar photovoltaic panels in desert environment, *Renewable Energy*. 92 (2016), 499–505. doi:10.1016/j.renene.2016.02.031
- [12] H.A. Kazem, M.T. Chaichan, The effect of dust accumulation and cleaning methods on PV panels' outcomes based on an experimental study of six locations in Northern Oman, *Solar Energy*. 187 (2019), 30–38. doi:10.1016/j.solener.2019.05.036
- [13] S. Vaishak, P.V. Bhale, Effect of dust deposition on performance characteristics of a refrigerant based photovoltaic/thermal system, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 36 (2019), 100548. doi:10.1016/j.seta.2019.100548
- [14] B.R. Paudyal, S.R. Shakya, Dust accumulation effects on efficiency of solar PV modules for off grid purpose: A case study of Kathmandu, *Solar Energy*. 135 (2016), 103–110. doi:10.1016/j.solener.2016.05.046
- [15] Y. Guan, H. Zhang, B. Xiao, Z. Zhou, X. Yan, In-situ investigation of the effect of dust deposition on the performance of polycrystalline silicon photovoltaic modules, *Renewable Energy*. 101 (2016), 1273–1284. doi:10.1016/j.renene.2016.10.009
- [16] A.A. Hachicha, I. Al-Sawafta, Z. Said, Impact of dust on the performance of solar photovoltaic (PV) systems under United Arab Emirates weather conditions, *Renewable Energy*. 141 (2019),

287–297. doi:10.1016/j.renene.2019.04.004

- [17] A. Gholami, I. Khazaei, S. Eslami, M. Zandi, E. Akrami, Experimental investigation of dust deposition effects on photo-voltaic output performance, *Solar Energy*. 159 (2017), 346–352. doi:10.1016/j.solener.2017.11.010
- [18] D. Jung, G. H. Gareis, A. Staiger, and A. Salmon, Effects of soiling on agrivoltaic systems: Results of a case study in Chile in *AIP Conference Proceedings*, American Institute of Physics Inc., 2022. doi: 10.1063/5.0107943
- [19] V. Selvaganesh, P. S. Manoharan, V. Seetharaman, Cleaning solar panels using portable robot system, *International Journal of Control Theory and Applications*. 10 (2017), 195-203.
- [20] K. Chailoet, E. Pengwang, Assembly of Modular Robot for Cleaning Various Length of Solar Panels, in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, 2019. doi: 10.1088/1757-899X/639/1/012014
- [21] S. Bulbul, E. Ayhan, H. Gökmeşe, Termik santral atığı olan kömür külünün SBR matrisli bileşiklere ilave edilmesinin mekanik özelliklere etkisi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 5(2) (2023), 135–146 doi: 10.47112/neufmbd.2023.14
- [22] F. Özen, R.O. Kabaoğlu, T.V. Mumcu, Deep learning based temperature and humidity prediction, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 5(2) (2023), 219–229. doi:10.47112/neufmbd.2023.20
- [23] S.E. Rusen, A. Hammer, B.G. Akinoglu, Estimation of daily global solar irradiation by coupling ground measurements of bright sunshine hours to satellite imagery, *Energy*. 58 (2013), 417–425. doi:10.1016/j.energy.2013.05.062