

Fotovoltaik Panellerin Kirliliğinin Görüntü İşleme ile Belirlenmesi

Determination of Pollution on Photovoltaic Panels by Image Processing

Fırat DİŞLİ
Bilişim Teknolojileri Alanı
Eğil Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi
Diyarbakır, TÜRKİYE
dislifirat@gmail.com

Mehmet GEDİKPINAR
Teknoloji Fakültesi
Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü
Fırat Üniversitesi
Elazığ, TÜRKİYE
mgedikpinar@gmail.com

Abdulkadir ŞENGÜR
Teknoloji Fakültesi
Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü
Fırat Üniversitesi
Elazığ, TÜRKİYE
ksengur@firat.edu.tr

Özet— Her geçen gün enerji talebindeki artış, alternatif enerji kaynaklarına yönelimi zorunlu kılmaktadır. Fotovoltaik (FV) sistemler alternatif enerji yöntemlerinin başında gelmektedir. FV sistemlerin verimliliği, sıcaklık ve panel kirliliği gibi çevresel faktörlerden önemli ölçüde etkilenmektedir. FV sistemlerin performanslarının arttırılmasında olumsuz etkenlerin tespiti önemlidir. Bu çalışmada FV panellerdeki kirlilik görüntü işleme teknikleri kullanılarak tespit edilmiştir. FV sistemde biri doğal kirlenmeye bırakılan, diğeri ise referans değerler için kullanılmak üzere sürekli temiz tutulan iki adet özdeş panel kullanılmıştır. Elde edilen elektriksel verilerden yapılan hesaplamalar ile görüntü işleme sonuçları tablo ve grafiklerle ayrı ayrı gösterilmiş ve aralarındaki ilişki değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler— Fotovoltaik sistem, sayısal görüntü işleme, panel kirliliği

Abstract - The increase in energy demand every passing day necessitates a shift towards alternative energy sources. Photovoltaic (PV) is one of the alternative energy methods. The efficiency of PV systems is significantly affected by environmental factors such as temperature and panel pollution. It is important to identify adverse factors in improving the performance of PV systems. In this study, the determination of the contamination on the PV panels by using image processing techniques has been achieved. In the PV system, two identical panels were used, one of which was left to be contaminated naturally and the other was kept clean to be used for reference values. The calculations made from the obtained electrical data and the image processing results are shown separately with tables and graphs and the relation between them is evaluated.

Index Terms—Photovoltaic system, digital image processing, panel pollution

I. GİRİŞ

Küresel enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Enerji ihtiyacını karşılamak için yeni enerji kaynakları bulma çabaları ve var olan kaynaklardan elde edilen enerji verimliliğini artırma çalışmaları sürmektedir. Enerjinin üretimi ve dönüşümü yöntemlerinin çıktıları (doğa kirliliği, karbon ayak izi, vb.) göz önüne alındığında, olumsuz sonuçları daha az olan yenilenebilir enerjiye yönelim her geçen gün artmakta ve bu alandaki çalışmalar önem kazanmaktadır [1-3].

Elektrik enerjisinin üretiminde verim, maliyet ve kaynağın kolay bulunması gibi faktörler göz önüne alındığında yenilenebilir kaynak olarak, rüzgâr ve güneş enerjisi öne çıkmaktadır. Özellikle güneş enerjisi temiz, gürültüsüz, güvenilir ve tükenmeyen bir ana kaynak olmasının yanı sıra son zamanlardaki destek ve yatırımlarla daha etkin hale gelmiştir. Fotovoltaik (FV) sistemler, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmede kullanılan yöntemlerinden biridir ve bu yöntemde FV paneller kullanılır [4].

FV panellerinin verimli çalışmasını bazı çevresel etmenler olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle panelin cam yüzeyi toz, çamur ve karbon kaynaklı atıklar (baca gazları ağırlıklı atıklar) tarafından kirlenmektedir. Bu kirlilik FV panelinin üretme performansı düşürmekte ve verimi azaltmaktadır. Bu azalma da kayıpları arttırarak üretilen gücü düşürmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalarda 1 MW'lık bir FV sisteminin kirlilik etkilerinden dolayı enerji kaybı ortalama olarak yıllık 89000 kWh olabilmektedir. Özellikle kayıplar belli zaman periyotlarında artarken, bazı periyotlarda ise oldukça alt değerlere inebilmektedir [5,6]. Kaldellis ve Kokala'nın yapıları çalışmada, panel yüzeyinde düşük oranda toz birikmesi olsa bile ($\approx 1\text{g/m}^2$) yıllık bazda 40 €/kW_p kayıp olabileceğini ifade etmektedirler [7].

Görüntü işleme teknikleri, resimlerin dijital ortama aktarılmasını, üzerlerindeki bozuklukların iyileştirilmesini ve daha kaliteli resimler elde etmek için kullanılabileceği gibi nesne tanımlama, hareket algılama gibi sayısız uygulamada kullanılabilir [8]. Fiziksel ortamdan alınan resim veya videoların kullanıldığı her alana uygun çözümler üretir.

Görüntü işleme; savunma sanayi, astronomi, kalite kontrol, radar uygulamaları, hava tahmini, medikal görüntüleme, astronomi, savunma sanayisi gibi birçok alanda kullanıldığı gibi her geçen gün kullanım alanı genişlemektedir [9]. FV uygulamalarda görüntü işleme, bir sistemin kurulu gücünü hesaplamada ve termal kameralar kullanarak sistemdeki arızalı panelin tespitinde de kullanılmaktadır [10,11].

Bu çalışmada panel görüntülerinden, kirliliğin performans üzerindeki etkisini bulabilmek için hem elektriksel veriler hem de görüntüler kullanarak değerlendirme yapılmıştır. Elektriksel veriler iki adet özdeş panelden alınmıştır. Bu panellerden biri doğal kirlenmeye bırakılırken diğeri ölçümler sırasında temizlenmiştir. Paneller özdeş ve aynı ortamda olduklarından aralarında oluşan güç farklı kirlilikten kaynaklanmaktadır. Ölçümler yapıldığı sırada kirli panelin görüntüsü de alınmıştır. Arka plan resmi çıkarımı için temiz panelin referans görüntüsü kullanılmıştır. Kirli panelin görüntüsü bazı ön işlemlerden (normalizasyon, filtreleme vs.) geçirilerek kullanılmaya elverişli hale getirilmiştir. Kullanılmaya hazır olan görüntü ile referans görüntü farklı alınıp daha sonra eşikleme yöntemi ile fark görüntü 2'lik görüntüye dönüştürülmüştür. Her bir "1" toplamı, kirli alanı gösterir. Bu alan bütün panel alanıyla oranlanarak kirlilik oranı bulunmuştur. Görüntü işleme ile bulunan kirlilik oranı ile elektriksel ölçümlerden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

FV panellerin kirliliğinin görüntü işleme ile tespit edilmesi dört aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu aşamalar;

- FV sistem tasarımı
- Elektriksel ölçümler ve görüntülerin alınması
- Algoritmanın ve yazılımın geliştirilmesi
- Deneysel sonuçların değerlendirilmesi

A. FV Sistem Tasarımı

FV sistemler tasarlanırken enerji ihtiyacı, güneşsiz geçecek gün sayısı, ortalama gündüz süresi gibi etkenler göz önünde bulundurulur. Bu çalışma için tasarlanan sistem; panel, akü, şarj kontrol cihazı ve yükten oluşmaktadır. Sistemde kullanılan paneller seçilirken boyutlarına, çıkış güçlerine ve temin edilebilirliğine dikkat edilmiştir. Kirli panelden alınan görüntülerin çözünürlüğünün yüksek olması, görüntülerin kolay elde edilebilmesi ve panellerin taşınabilirliği için boyutu 310×360×17mm olan paneller tercih edilmiştir. Ekonomik olması ve temin edilebilirliğinin kolay olmasından dolayı poli kristal yapıli paneller seçilmiştir.

B. Elektriksel Ölçümlerin ve Görüntülerin Alınması

1) *Elektriksel verilerin elde edilmesi:* Sistemin kurulum aşamasında her iki panelde temizlendikten sonra akım ve gerilim değerleri ölçülüp panel görüntüsü alınmıştır. Doğal kirlenmeye bırakılacak panelin temiz görüntüsü referans görüntü olarak kullanılmıştır. Panel A doğal kirlenmeye bırakılmış, Panel B ise elektriksel ölçümler için her ölçüm

esnasında temizlenmiştir. Sistemin elektriksel değerleri haftanın ilk dört gününde ölçülmüş ve diğer günlerde ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. Bu ölçümler arasında birbirinden bariz farklılık gösteren günlerdeki ölçüm değerleri çalışmada kullanılmak üzere Tablo I'e işlenmiştir. Tabloda çalışma için kullanılan değerlerin ölçüm tarihleri, elektriksel parametreler ve bu parametrelerin hangi panele ait olduğu verilmiştir.

Tablo I. Elektriksel ölçüm değerleri ve tarihleri

Ölçüm No	Tarih	Panel A (Kirli)		Panel B (Temiz)	
		I _{sc} (A)	V _{oc} (V)	I _{sc} (A)	V _{oc} (V)
0	13.03.2018	0,68	21,20	0,68	21,20
1	19.03.2018	0,67	21,00	0,68	21,10
2	21.03.2018	0,75	20,40	0,77	20,80
3	26.03.2018	0,74	20,70	0,78	21,10
4	02.04.2018	0,72	20,80	0,72	21,10
5	12.04.2018	0,82	19,90	0,81	20,40
6	16.04.2018	0,74	20,80	0,74	21,10
7	01.05.2018	0,71	20,50	0,70	20,80

2) *Görüntülerin alınması:* Panellerin elektriksel değerlerinin ölçüldüğü sırada kirli panelin görüntüsü de alınmıştır. Panel görüntüleri işlenirken referans görüntü ile karşılaştırılacağından, görüntü alma işlemlerinde kamera panele 45cm uzaklıkta ve panele dik bir şekilde tutulmuştur. Güneş ışığının panel yüzeyindeki yansımaları görüntü işlemeyi zorlaştırdığından, çalışmanın deneysel olması dikkate alınarak panel görüntüleri gölgede alınmıştır.

C. Algoritma ve Yazılımın Geliştirilmesi

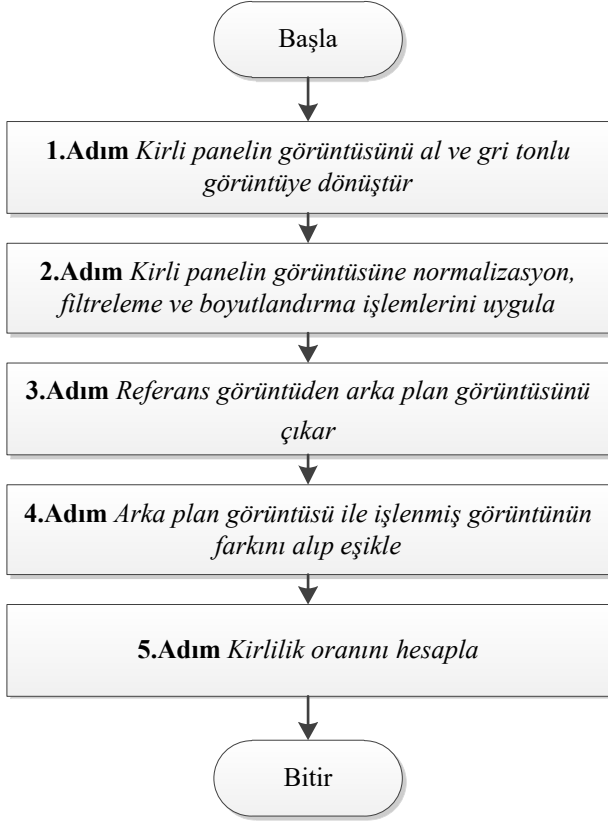
Bu çalışma için görüntünün gri tonlu hali uygun olduğundan panellerden alınan görüntüler gri tonlu görüntüye çevrilmiştir.

Görüntülerin analize uygun hale getirilmesi için bazı ön işlemler uygulanmıştır. Alınan görüntüler öncelikle 2500x1600 boyutlarına yeniden boyutlandırılmıştır. Panellerin yapılarından kaynaklı çizgilerin düzgün olmamasından dolayı çizgiler kalınlaştırılmıştır. Panellerin desenlerinden kaynaklı gürültülerin giderilmesi için 9x9'luk medyan filtresi uygulanmıştır. Kirliliği temsil edecek tonların daha kolay ayırt edilebilmesi için kontrast artırılmıştır. Kontrast artırma yöntemleri olarak sabit katsayı ile çarpma yöntemi ve adaptif histogram eşitleme yöntemi kullanılmıştır.

Referans görüntüden arka plan görüntüsü çıkarılması için çizgiler kalınlaştırılıp, eşikleme yapılmıştır. Böylece arka plan görüntüsündeki çizgiler belirgin hale getirilmiştir.

Kirlilik oranının hesaplanabilmesi için kirli panelin işlenmiş görüntüsü ile arka plan görüntüsünün farkı alınıp eşikleme işlemi uygulanmıştır. Eşiklenmiş görüntüdeki 1'ler kirli alanın her bir noktasını belirttiğinden, 1'lerin sayısını toplam 1 ve 0'lara oranlayarak kirlilik oranı (KO) hesaplanmıştır. Görüntü işleme sonucunun elde edilmesi için yapılan tüm işlemlerin anlamlı olarak sıralanmasıyla Şekil

1'deki algoritma elde edilmiştir. Kirli panelin 3 nolu ölçüm sırasında alınan görüntüsüne algoritma uygulanmış ve çıktıları Tablo II'de verilmiştir.



Şekil 1. Geliştirilen algoritmanın akış şeması

D. Bulgular ve Sonuç

Bu bölümde, elde edilen elektriksel veriler ile görüntü işleme sonucunda hesaplanan değerler birlikte değerlendirilecektir. Öncelikle panellerin ürettiği güç dikkate alınarak elektriksel verilerden verim ve kirlilik etkisi (KE) hesaplanmıştır. Sonrasında kirli panel görüntüsünden geliştirilen yazılım kullanılarak kirlilik oranı (KO) bulunmuştur. Hesaplanan kirlilik etkisi ile görüntü işlemeden elde edilen kirlilik oranı birlikte değerlendirilmiştir.

Tablo III'te ölçümlerden elde edilen veriler gösterilmiştir. Bu veriler Tablo I'de bulunan ölçüm değerlerinden elde edilmiştir. Tablo III'te ölçüm numarası, kirli panelin gücü (P_A), temiz panelin gücünü (P_B), Verim ve kirlilik etkisi (KE) değerleri verilmiştir. Bu tabloda Verim= (P_A/P_B) olarak, KE= $(100-\text{Verim})$ olarak hesaplanmıştır.

Tablo II. Algoritma adımların sonuçları

Algoritma Adımı	Sonuçları
-----------------	-----------

1.Adım	
2.Adım	
3.Adım	
4.Adım	
5.Adım	KO=%36.66

Tablo III. Tablo I'deki ölçümlerden hesaplanan elektriksel veriler

Ölçüm No	P_A	P_B	Verim %	KE %
1	14,070	14,348	98,062	1,937
2	15,300	16,016	95,529	4,470
3	15,318	16,458	93,073	6,926
4	14,976	15,192	98,578	1,421
5	16,318	16,524	98,753	1,246
6	15,392	15,614	98,578	1,421
7	14,555	14,560	99,965	0,034

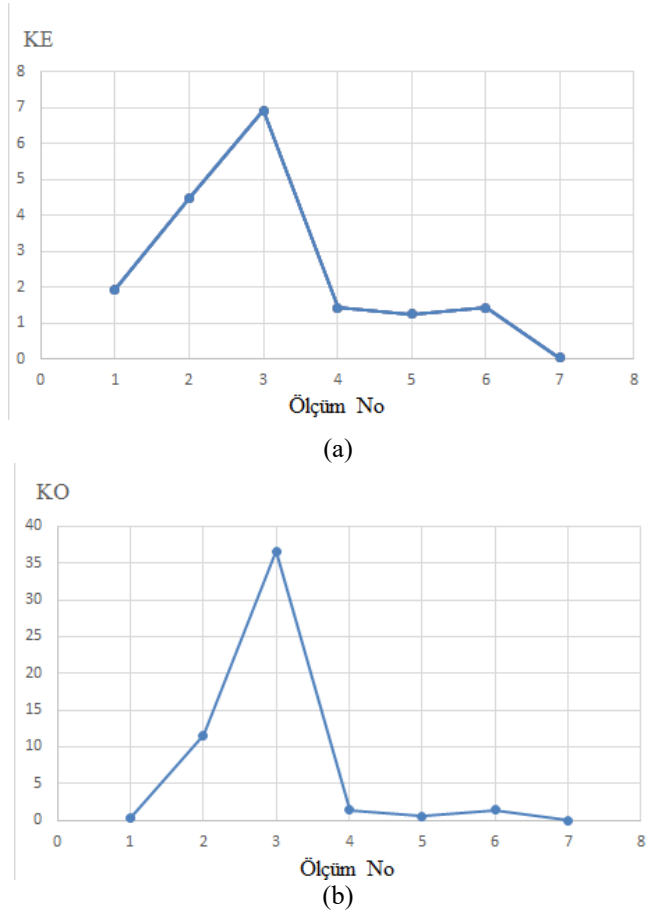
Deneyisel çalışmadan elde edilen elektriksel veriler ile görüntü işleme sonucunda elde edilen değerleri tablo ve grafik

haline dönüştürmek, değerlendirme işlemini kolaylaştırır. Tablo IV'te elektriksel veriler sonucunda hesaplanan kirlilik etkisi (KE) ve görüntü işleme işlemi sonucunda elde edilen kirlilik oranı (KO) ilgili ölçüm numaraları ile birlikte verilmiştir. Bu tabloda KE ile KO arasında lineer bir ilişki olmamasına rağmen değerlerin örtüştüğü görülmektedir.

Tablo IV. Kirlilik etkisi ve kirlilik oranı

Ölçüm No	KE (%)	KO (%)
1	1,937	0,24
2	4,470	11,58
3	6,926	36,66
4	1,421	1,37
5	1,246	0,49
6	1,421	1,42
7	0,034	0

Şekil 2'de ölçüm numaralarına göre kirlilik etkisi ve kirlilik oranlarının grafikleri verilmiştir. Şekil 2'de verilen grafikler incelendiğinde anlamlı bir benzerliğin olduğu görülmektedir. Bu benzerlikten, hesaplamalarla elde edilen KE ile görüntü işlemeden elde edilen KO grafiklerinin yaklaşık örtüştüğü söylenebilir.



Şekil 2. Elde edilen grafikler (a) Kirlilik Etkisi, (b) Kirlilik Oranı

Grafiklerde KE'nin %4 gibi önemli bir değere ulaştığı zamanda KO'nun %10'dan büyük olduğu görülmektedir. Özellikle kirlilik etkisinin yüksek olduğu görüntülerde belirgin bir fark görülmektedir. Bu durum panel kirlilik oranının görüntü işleme teknikleri ile tespit edilebilir olduğunu şeklinde yorumlanabilir.

III. TARTIŞMA

Bu çalışmada, FV panellerin kirliliğinin görüntü işleme teknikleri kullanılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Her iki panelden elde edilen elektriksel veriler ile görüntü işleme sonuçları tablo ve grafikler ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda görüntü işleme ile elde edilen Kirlilik Oranı ile elektriksel verilerden elde edilen Kirlilik Etkisinin paralellik gösterdiği gözlemlenmiştir. Genellikle yerleşim bölgelerinden uzak yerlerde kurulmuş FV güneş tarlalarından quadratörler kullanılarak alınacak görüntülerden kirlilik tespitinin yapılmasına dönük çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] T. Köklü, S. Kılınç, "Remote monitoring of photovoltaic systems using embedded system clusters", 2016 24th Signal Processing and Communication Application Conference (SIU), pp. 1133-1136, Zonguldak, 2016.
- [2] H. Bakır, A. A. Kulaksız, "Energy Management Application to Reduce Peak Load in a Photovoltaic Power Integrated Grid", 8th International Ege Energy Symposium and Exhibition, pp. 162-167, May. 2016.
- [3] E. Deniz, "ANN-based MPPT algorithm for solar PMSM drive system fed by direct-connected PV array," Neural Computing and Applications, vol. 28, no. 10, pp. 3061-3072, 2017.
- [4] Ozbay, H., Karafil, A., Onal, Y., Kesler, M., Parmaksiz, H., "The Monitoring of Monthly, Seasonal and Yearly Optimum Tilt Angles by Raspberry Pi Card for Bilecik City", Energy Procedia, vol. 113, pp. 311-318, 2017.
- [5] Saidan, M., Albaali A. G., Alasis, E., Kaldellis, J. K., "Experimental study on the effect of dust deposition on solar photovoltaic panels in desert environment", Renewable Energy, vol. 92, pp. 499-505, 2016.
- [6] Louy, M., Wang C., "Effect of Dust on the I-MW Photovoltaic Power Plant at Tafila Technical University", The 8th International Renewable Energy Congress (IREC 2017), Amman, Ürdün, 21-23 Mar. 2017.
- [7] Kaldellis, J.K., Kokala, A., "Quantifying the decrease of the photovoltaic panels' energy yield due to phenomena of natural air pollution disposal", Energy, vol. 35, pp. 4862-4869, 2010.
- [8] Erkan, E., Özçalık, H., Yılmaz, Ş., "Görüntü İşleme Teknikleri Kullanılarak İnsan Hareketlerini Algılayan Akıllı Güvenlik Sistemi Tasarımı", Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, vol. 3 (1), pp. 1-6, 2015.
- [9] Perihanoğlu, G.M., Özerman, U., Şeker, D.Z., "Dijital Görüntü İşleme Teknikleri Kullanarak Görüntülerden Detay Çıkarımı", 6. UZAKTAN ALGILAMA-CBS

SEMPOZYUMU (UZAL-CBS 2016), pp. 1013-1018 5-7 Ekim Adana 2016.

- [10] Lee,S., An, K.E., Jeon, B.D., Cho, K.Y., Lee, S.J., Seo, D., 2018. "Detecting Faulty Solar Panels Based on Thermal Image Processing", 2018 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), Las Vegas, NV, ABD, 12-14 Ocak 2018.
- [11] Wu,F., Zhang, D., Li, X., Luo, X., Wang, J., Yan, W., "Aerial Image Recognition and Matching for Inspection of Large-Scale Photovoltaic Farms", Smart Cities Conference (ISC2), 2017 International, Wuxi, Çin, 14-17 Eylül 2017.