

Çatı Tipi Güneş Enerji Sisteminde Kızılötesi Termal Teşhis ile Arıza Tespiti ve Önemi

Hale BAKIR^{1*}

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Sivas

¹<https://orcid.org/000-0001-5580-0505>

*Sorumlu yazar: halebakir@cumhuriyet.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihiçesi:

Geliş tarihi: 29.04.2022

Kabul tarihi: 07.08.2022

Online Yayınlanma: 10.03.2023

Anahtar Kelimeler:

Kızılötesi termal teşhis

Arıza tespiti

Enerji üretiminde iyileştirme

Sürdürülebilir bir enerji

ÖZ

Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye'de fotovoltaik santrallerdeki arıza türlerini görmek ve yatırımcılara ve işletmelere enerji üretimindeki iyileştirmeler hakkında daha iyi ve daha hızlı analizlerle bilgi vermektir. Kızıl ötesi termal teşhis ve termal görüntü işleme ile saha alanlarında tespit edilen arızaların sonuçlarının bir tartışmasını sunmaktadır. Türkiye'de kurulu güneş enerji santralinin gerçek zamanlı saha ölçüm sonuçlarını içermektedir. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler yıllar içinde daha fazla enerjiye ihtiyaç duyacakları için sürdürülebilir bir yenilenebilir enerji kaynağı önemlidir. Dolayısıyla termal görüntüleme kullanan fotovoltaik enerji santrallerinde güç üretiminde daha iyi performans geliştirme ve iyileştirmeler sağlanmaktadır. Türkiye'de bulunan 600 kW 'lık güneş enerji sisteminde arıza tespiti yapılmış, arızaların nedenleri ve çeşitleri analiz edilmiştir. Ölçüm testlerine göre, termal drone ile elde edilen sonuçlarda 600 kW'lık güneş enerjisi sisteminde bağlantı hataları sorunu panellerin çalışmamasına neden olmaktadır. Bağlantı hatasının sistemi önemli ölçüde etkilediği ve üretim açısından önemli bir etkinliğe sahip olduğu görülmektedir. Sahada yaşanan teknik bağlantı hatası sorunu giderildiğinde %0,16'lık bir enerji üretiminde iyileştirme sağlanmıştır.

Fault Detection and Importance of Infrared Thermal Diagnostics in Rooftop Solar Energy System

Research Article

Article History:

Received: 29.04.2022

Accepted: 07.08.2022

Published online: 10.03.2023

Keywords:

Infrared thermal diagnostics

Fault detection

Improvement in power

generation

Sustainable energy

ABSTRACT

The main purpose of this study is to see the failure types in Turkey and to inform investors and businesses about the improvements in energy production in photovoltaic power plants with better and faster analysis. It presents a discussion of the consequences of faults detected in field areas with infrared thermal diagnostics and thermal image processing. It includes real-time field measurement results of the Solar power plant established in Turkey. A sustainable renewable energy source is important as developing countries like Turkey will need more energy over the years. Therefore, better performance enhancements and improvements are provided in power generation in photovoltaic power plants using thermal imaging. In the 600 kW solar energy system in Turkey, malfunctions were detected, the causes and types of malfunctions were analyzed. According to the measurement tests, the connection errors in the 600 kW solar energy system in the results obtained with the thermal drone cause the panels to not work. It is seen that the connection error affects the system significantly and has an important efficiency in terms of production. When the technical connection error in the field was resolved, an improvement of 0,16% was achieved in energy production.

To Cite: Bakır H. Çatı Tipi Güneş Enerji Sisteminde Kızılötesi Termal Teşhis ile Arıza Tespiti ve Önemi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2023; 6(1): 90-105.

1. Giriş

Büyük ölçekli endüstriyel teknolojiler ve artan nüfus ile birlikte kişi başına düşen enerji tüketimi sürekli büyümekte ve dünyadaki hemen hemen tüm ülkelerin enerji talepleri artmaktadır. Enerji ihtiyacının büyük bir bölümünün elektrik olduğu unutulmamalıdır. Ayrıca sınırlı kaynaklardan dolayı fosil yakıtlı elektrik üretimi kullanımı yüksek seviyelere ulaşmıştır. Buna bağlı olarak fosil yakıtların çevreye verdiği zararlar artarak devam etmektedir (Madeti ve Singh, 2017).

Dünyada enerji tüketiminin artması ve fosil yakıtların çevre üzerindeki etkisi açısından insan toplumu yenilenebilir enerji kaynaklarına (örneğin güneş, rüzgâr, jeotermal) ihtiyaç duymaktadır. Temiz ve çevre dostu yenilenebilir enerji kaynakları arasında fotovoltaik (FV) enerji, güneş enerjisine erişilebilirlik açısından büyük ilgi görmektedir (Zhao ve ark., 2013) Böylece gelecekteki talep ile üretim arasındaki boşluk yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) ile karşılanacaktır (Madeti ve Singh, 2017). Güneş enerjisinden elde edilen sürdürülebilir enerji, konut, ticari ve endüstriyel uygulamalarda enerji talebini karşılamada önemli kaynaklardan biri haline gelmiştir (Ateş, 2022). Bununla birlikte, diğer endüstriyel işlemlerde de olduğu gibi, fotovoltaik sistemin imalatı sırasında yapılan hatalar, genel sistem performansının düşmesine ve hatta panelin tamamen çalışmaz duruma gelerek ciddi üretim kayıplarına sebep olur. Bu olumsuz sonuçlar verimi düşürecek ve meydana gelen arızalar santralin performansını ve hizmetlerini etkileyebileceği gibi kritik ve zararlı durumlara da neden olacaktır (Munoz ve ark., 2011).

Aslında uygun ve gerekli zamanda arıza tespiti yapılmazsa FV'deki arızalar güç kayıplarına neden olurken aynı zamanda tüm sistem için olası bir yangın tehlikesine neden olabilir. Bu hususlar dikkate alındığında FV sistemlerinin kontrolü ve arıza tespiti oldukça önemlidir (Zhao ve ark., 2013). Bunun için uygun ve erken arıza tespiti ve gerçek zamanlı teşhis, maliyet ve bakım süresini azaltır ve ayrıca enerji kaybını, ekipman hasarını ve güvenlik tehlikelerini önlemek için kritik öneme sahiptir. Genel olarak FV dizilerin arızaları, hücre çatlakları, delaminasyon, sıcak noktalar, kir birikmesi, modül uyumsuzlukları, modüllerin kısa devresi, hasarlı bağlantılardan kaynaklanan bağlantı kutusu arızaları, bağlantıların korozyonu, açık devre, kısa devre olarak sınıflandırılır. Aslında, bu kapsamlı bir liste olarak görülmemelidir. Literatürde başka birçok hata bulunabilir. Güneş enerjisi sistemlerinde arızalar ve bozulmalar genellikle hücrelerde, modüllerde veya dizilimlerde meydana gelir. Hücrelerdeki arızalar fiziksel hasar, su teması sonucu oluşan korozyon, ısıl basınç iken modüllerdeki arızalar genellikle hücreler arasında açık-kısa devre oluşumu ve koruma kaplamasının kaybolması gibi bağlantı uyumsuzlukları gibi problemlerdir (Takumi ve ark., 2003).

Güneş panelleri ile oluşturulan dizilerdeki düşük performansın nedenleri daha çeşitlidir. Bu sorunlardan en önemlileri; Modüller arası açık-kısa devreler, kurulum sırasında kablolama hataları, modüller arası parametre uyumsuzlukları ve kısmi gölgelenme gibi bağlantı sorunlarıdır. Bu arızaları tespit etmek için bazı yöntemler vardır. Üçü ayrılabilen bu yöntemler elektriksel, termal ve görsel olarak sınıflandırılabilir. Arızalı hücreler veya modüller, aşınma veya solmuş görünüşleri nedeniyle

görsel olarak tanımlanabilir. Termal yöntemler, aşırı ısınma veya bypass diyotun parlaklığını ayırt etmeye dayanır. En etkili termal yöntem termal kameralardır (Takashima ve ark., 2006).

Fotovoltaik sistemler için izleme, teşhis ve güç tahminindeki en son gelişmeler üzerine araştırmalar devam ediyor. Araştırmanın katkıları bazı alanlarda sınıflandırılmıştır (Daliotto ve ark., 2017). FV sistemlerinde arıza tespiti için önerilen her teknik, arıza tespiti için kullandıkları her yaklaşımda kavramsal farklılıklar içerir. Literatürde arıza tespit etkinliği analiz edilmekte ve sınıflandırılmaktadır (Henry ve ark., 2020). Arızalar, zaman özelliklerine göre kalıcı, aralıklı veya geçici ve yeni başlayan arızalar olarak gruplara ayrılır. Kalıcı arızaları önlemek için erken aşamalarda yeni arızaların hızlı tespit edilmesi gerekir (AbdulMawjood ve ark., 2018).

Ancak, fotovoltaik arızaların termal modelleri (sıcak nokta, arıza hücresi, açık devre, baypas diyotu ve polarizasyon) gerçek fotovoltaik panellerde incelenmeye devam etmektedir. Bazı çalışmalarda denetim maliyetlerini azaltmak ve verimli veri toplamayı sağlamak için yeni durum izleme sistemleri geliştirilmektedir (Segovia ve ark., 2022). Birkaç çalışmada, geliştirilen veri izleme sistemi (örn. Solarmon-2.0), Çek Cumhuriyeti'ndeki 65 FV santralinde ve dünya çapındaki birçok FV santralinde başarıyla kullanılmıştır (Libra ve ark., 2019). Bazı araştırmalarda, FV modül denetimi, FV izleme ve FV tanımlama olmak üzere iki adımda gerçekleştirilir. FV izleme adımı, FV hücreleri hava termografisi ile izlenmektedir. Diğer adımda, sıcak nokta ve FV modüllerinin durumu belirlenmekte ve ölçülmektedir (Jeon, 2020). Mevcut çalışmalarda halen fotovoltaik sistemler (FVS) için bir arıza tespit yöntemi önerilmektedir ve bu, sistemin normal ve hatalı çalışma koşullarını ayırt edebildiğini göstermektedir (Bonsignore ve ark., 2014). Bir çalışmada sistem, arıza tespiti için 1 MW'lık bir güneş enerjisi santralindeki (elektronik cihazların ışık kullanarak renk oluşturması) RGB ve termal görüntüleri değerlendirerek karşılaştırmıştır. Güney Kore, Suncheon'da, deneysel sonuçlar çalışmanın etkinliğini göstermektedir (Henry ve ark., 2020). Sonuç olarak görsel RGB ve termal ortomozaiklerde çatlak, Kirlilik ve sıcak noktalar gibi çeşitli görsel kusurlar tespit edilmiştir. Ek olarak, yarı otomatik sıcak noktaların tespiti bazı çalışmalarda geliştirilmiş ve sunulmuştur (Zefri ve ark., 2018).

Güncel çalışmalarda solar panellerde meydana gelen arızaların tespiti için testler yapılmaya devam etmektedir. Çalışmalarda hücre bozukluklar gibi arızaların tespiti için I-V eğri testi ve elektrolüminesans testleri yapılmaktadır (Dağlı, 2019). Fakat yapılan bu geleneksel arıza teşhis yöntemlerinde akım, gerilim, günlük enerji üretim değerlerinin diğer diziler ve eviricilerle karşılaştırılarak belirlenmesi, zaman ve verim gibi ciddi maliyetli kayıplara neden olmaktadır. Bu geleneksel yöntemlerle arıza tespiti sırasında da üretim kayıpları yaşanmaktadır. Örneğin gerilim/yalıtım ölçümü için o dizi veya inverterin enerjisi kesilerek gerekli ölçümler yapılır. Drone ile yapılan termal çekimlerde anlık müdahaleler ile bu süreler dakikalara indirilmektedir.

Fotovoltaik santraller için izleme ve arıza tespit sistemlerine yönelik araştırmalar, teknolojilerdeki sürekli gelişme ve nitelikli verilerin mevcudiyeti ile önemli ölçüde artmaktadır (Yurtseven ve ark., 2021). Yapılan son çalışmalarda IRT testi ile tespit edilen arıza türleri esas olarak aktif bypass diyotlarından kaynaklanmakta ve çalışmayan modüller (bağlantı hataları) ve diziler üzerindeki sıcak

noktalar, anormal şekilde ısıtılan kablolar/sigortalar/kesicilerden meydana geldikleri tespit edilmektedir (Cubukcu ve Akanalci, 2020). FV sistemin verimliliğini artırmak için yapılan güncel çalışmalarda hata tespiti için topluluk öğrenmesi temelli modeller kullanılarak hataları sınıflandırılması veya algoritmalar kullanılarak fotovoltaik sistem hata tespiti için güçlü bir yöntemin bulunmaya çalışılması devam eden güncel bir konudur (Kapucu ve Cubukcu, 2019).

Bu çalışmanın ana katkıları şunlardır:

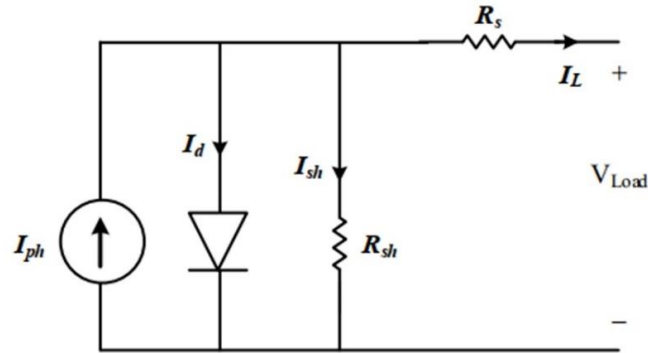
1. Kullandığımız termal drone, büyük ölçekli bir FV sistemindeki hatalı FV modüllerini tespit edebilir ve tam olarak bulabilir.
2. Çalışma, pratik fizibilitesini gösteren 600 kW'lık bir FV sisteminde gerçek bir ortamda uygulandı.
3. Uygulama ile Türkiye'deki güneş santrallerinde meydana gelen arıza türleri gözlemlenmiştir.
4. Sonuçları karşılaştırıldığında, bağlantı hatasının panelleri önemli ölçüde etkilediği, verimlilik ve enerji üretimi açısından önemli olduğu görülmektedir.

Makalenin geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir; FV sistemler ve FV arıza türleri ve sistem yapısı açıklanmış ve kullanılan termal drone ve ölçüm değer bilgileri, güneş enerjisi sistemleri Bölüm 2'de sunulmuştur. Deneysel sonuçlar ve tartışma Bölüm 3'te sunulmuştur. Sonuçlar bu çalışmanın son bölümünde sunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1. Fotovoltaik Sistemler

Temel bir FV sistemi dört bölümden oluşur: FV dizisi, güç regülatörü, depolama sistemi ve FV invertörüdür. Şekil 1, bir güneş pilinin eşdeğer devresini göstermektedir.



Şekil 1. Bir güneş pilinin eşdeğer devresi

Tek diyot eşdeğer devresi, fotoakım I_{ph} 'yi enjekte etmek için bir akım kaynağından, I_d diyot akımı ile gösterilen tek bir diyottan ve güneş pili yapısının mevcut I_{sh} 'sini sınırlamak için bir şönt direnç R_{sh} 'den oluşur. Güneş pilinde üretilen ısı, hücrenin verimini düşürürken seri direnç R_s ile sunulur.

Güneş pili tarafından iletilen I_L şu şekilde ifade edilir (Singh, 2013):

$$I_L = I_{ph} - I_s \left[e^{\frac{V+I_L R_S}{nV_t}} - 1 \right] - \frac{V+I_L R_S}{R_{Sh}}, \quad (1)$$

PV sistemlerde arızalardan dolayı verim düşer ve kayıplar meydana gelir. Bir güneş enerjisi santralindeki arızalardan kaynaklanan üretim kaybının hesaplanması Denk.(2)'da gösterilmiştir ve üretim kaybındaki iyileşme yüzdesi Denk.(3) ile bulunur;

$$P_{loss} = n_{st} P_{pv} n_{fault} \quad (2)$$

P_{loss} üretim kaybını ifade ederken, n_{st} bir dizideki toplam panel sayısıdır, P_{pv} panel gücüdür (330 W) ve n_{fault} arızalı güneş paneli sayısıdır.

$$P_{imp} = \frac{P_{loss}}{P_{out}} 100 \% \quad (3)$$

P_{imp} enerji üretim iyileştirmesini ifade ederken, P_{loss} üretim kaybıdır ve P_{out} , panellerin çıkış gücüdür.

2.2. Fotovoltaik Arızalar

Genel olarak FV dizilerindeki arızalar, zaman özelliklerine göre kalıcı, başlangıç ve kesintili olarak gruplandırılabilir.

2.2.1. FV Dizi Bozulması

Hücre bozulması, cam ve hücreler arasındaki yapışkan malzemenin gerilemesi nedeniyle meydana gelir. Malzeme renginin beyazdan sarıya veya kahverengiye değiştirilmesi güneş pillerine daha az ışığın ulaşmasına neden olur ve üretilen gücü azaltır. Ayrıca, FV modülünün farklı katmanları arasında yapışma kaybolur ve bu boşluklara delaminasyon denir. Üretilen güçte delaminasyon ışık yansımaya ek olarak su penetrasyonunu artırır (Masmoudi ve ark., 2016). Bu tür arızalarda, bozulma %50'ye varan güç çıkışı kaybına neden olabilir (Bastidas ve ark., 2013).

2.2.2. Gölgeleme Hataları

FV panellerin etrafındaki ağaç veya bina gibi nesnelere, FV panel üzerine düşen gölgeleme nedeniyle hataya neden olacaktır. Gölgeleme, FV dizilerinin güç üreten çıkışını etkileyen çıkış voltajını azaltır. Kirlilik veya gölgeleme hatası, elektrik üretiminde %10'dan %70'e bir azalmaya neden olabilir (Maghami ve ark., 2016).

2.2.3. Noktasal Isınma Arızası

Güneş paneli içerisinde seri bağlanan hücrelerden herhangi birinin ürettiği akım diğer hücrelere göre daha düşük ise panel yük durumuna geçebilir ve gerilim tersine dönebilir. Böyle bir durumda güneş paneli yük durumunda çalıştığı için hücrenin sıcaklığı yükselmeye başlayacaktır. Bu duruma Sıcak Nokta Etkisi denir. Sıcak Nokta Isıtma Arızalarının olası nedenleri; Kuş pislikleri, Kırık paneller, Gölgeleme, Kirlilik, Mikro çatlaklar.

2.2.4. Bypass Diyot Arızası

Hücrelerin fabrika üretimi veya baypas diyotlarında oluşan kısa devre arızalarıdır. Kayıplar IV eğrisi (akım-voltaj eğrisi) ölçümleri ve EL (elektrolüminesans) testi yapılarak ölçülmelidir. Dizi arızasında panelin değiştirilmesi önerilir.

2.2.5. Bağlantı Hatası

Birbirine bağlı birden fazla panelin çalışmamasına neden olan durumdur. Olası nedenler; Arızalı inverterler, sigorta veya bağlantı kutusu sorunları, kablolama hataları, inverter, sigorta, bağlantı portları ve kabloların kontrol edilmesi önerilir.

2.3. Sistem Yapısı

2.3.1. Gelişmiş Termal Drone

Bu çalışmada DJI Mavic gelişmiş model drone kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan drone resmi Şekil 2'de gösterilmektedir. Şekil 3'te görüldüğü gibi iki adet akıllı uçuş aküsü, gürültüsüz pervane, araç şarj cihazı, akü şarj ünitesi gibi parçalardan oluşan bu kitte ayrıca özel bir adet de çanta yer almaktadır. Diğer birçok modele göre daha sessiz çalışan ve daha uzun uçabilen bu model beklentileri karşılamaktadır. Rüzgârsız havada 72 km/h hızla uçabilen bu modelin uçuş süresi 31 dakikadır. Drone uçuşlarında engel tespiti son derece önemlidir. DJI Mavic gelişmiş drone modelleri çok yönlü engel algılama sistemlerine sahiptir. Bu sayede uçuş sürecini daha güvenli bir şekilde yapmak mümkündür. Engel bariyer sensörlerinin yanı sıra kamera özellikleri de bu drone modellerini çekici kılan unsurlardan biridir. 8 km uçuş mesafesine ve 12 MP kameraya sahip olan bu drone, 24-48 mm optik zoom kamera sistemi ile güvenilir görüntü yakalama konusunda son derece başarılıdır.



Şekil 2. DJI Mavic gelişmiş model drone



Şekil 3. Drone fiziksel yapısı

2.3.2. Türkiye'de Güneş Enerjisi Santralleri

Bu çalışmada 600 kW'lık bir güneş enerjisi sisteminde termal drone ile arıza analizi ve tespitleri yapılmıştır. Sistemin drone görüntüleri Şekil 4'te verilmiştir. Tablo 1'de, FV panelde sıcaklık farklarına göre önem sırası gösterilmektedir. Sıcaklık farkı, maksimum sıcaklık ile panel sıcaklığı arasındaki değeri ifade eder. Sıcaklık farkı 1 °C'nin altındaysa panel normaldir. Sıcaklık farkı 1 °C ile 4 °C arasında ise panel muayene edilmelidir. Sıcaklık farkı 4,0 °C ile 15 °C arasında ise panel onarılmalıdır. Sıcaklık farkı 15,0 °C'nin üzerinde ise panel acil müdahale edilmelidir. Tablo 2, 600 kW'lık güneş enerjisi sisteminin ölçüm değerlerini göstermektedir.



Şekil 4. Drone tarafından çekilen 600 kW GES görüntüsü

Tablo 1. FV panelde sıcaklık farklarına göre önem sırası

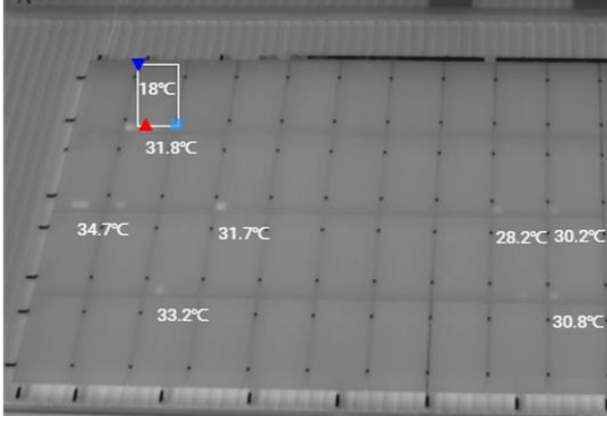
Normal	İncelenmeli	Tamir edilmeli	Acil müdahale
<1,0 °C	1,0 to 4,0 °C	4,0 to 15,0 °C	>15,0 °C

Tablo 2. FV panelde ölçüm değerleri

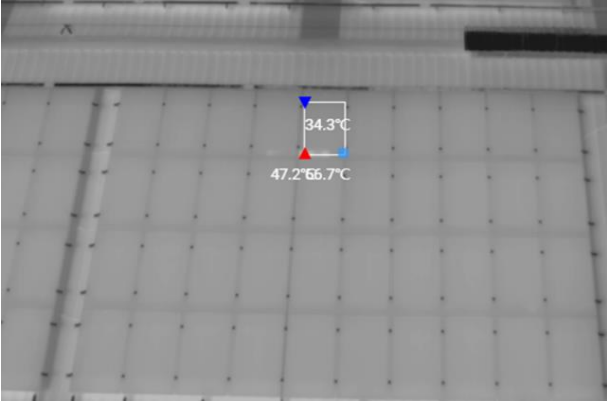
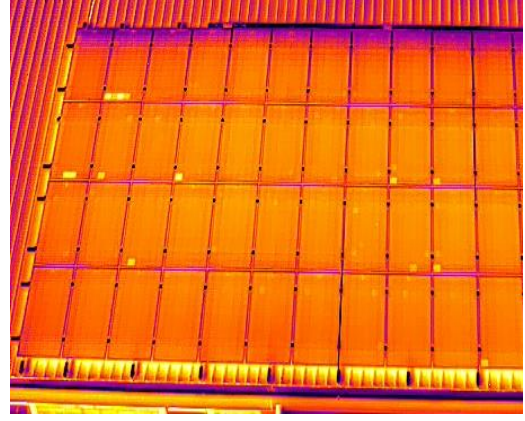
	Ölçüm değerleri
Geçirgenlik	0,91
Yansıma sıcaklığı	21,0 °C
Ölçüm mesafesi	20-30 metre
Bağıl nem	0,2
Ortam sıcaklığı	18 °C
Panel sıcaklığı	38 °C
Işınım (W/M2)	720 (W/M2)

3. Deneysel Sonuçlar

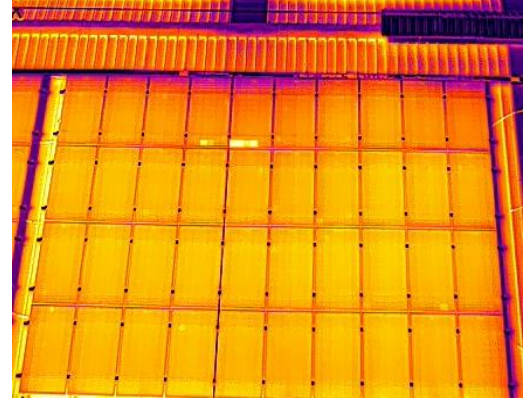
Sistem test edildiğinde, kızıl ötesi termal teşhis ile tespit edilen arızalı panelde arızanın olduğu bölge belirlenir ve DJI termal analiz aracı (DJI thermal analysis tool) kullanılarak ölçülen maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık değerleri bulunur. Sıcaklık farkı için önemli olan maksimum sıcaklıktır. Şekil 5 (a)'da gösterilen panelde maksimum 34,7 °C, minimum 28,2 °C olmak üzere bir kirlilik hatası tespit edilmiştir. Şekil 5 (b)'de gösterilen panelde maksimum 66,7 °C, minimum 34,3 °C olmak üzere bir kırık panel hatası daha tespit edilmiştir. Şekil 5 (c)'de gösterilen panelde maksimum 72,4 °C, minimum 50,2 °C olmak üzere bir noktasal kirlilik hatası daha tespit edilmiştir. Totalde 3 noktasal ısınma hatası tespit edilmiştir. Termal drone ile yapılan kızılötesi termal teşhis ile en açık sarı noktalarda noktasal ısınma hatası (hotspot fault) gözlenmiş ve şekillerde açıkça görülmektedir. Panellerin mukavemet ve konstrüksiyon kontrolü üç kez yapılmıştır. Her seferinde değiştirilmesine rağmen yeni kırıklar meydana gelmektedir. Bu çalışmada, panellerin ve panel klemenslerinin birbiriyle uyumluluğunun Panel Üreticisi tarafından onaylanması önerilir. Panelleri konstrüksiyona bağlayan kenet cıvata ve somunlarının gevşek olduğu görülmüştür. Sahada % 20 sıkma vidasında korozyon olduğu görülmüştür. İleride sorun yaşamamak için bu kelepçe vidalarının değiştirilmesi önerilir. Sahadaki tüm dc toplama panoları, dizi girişleri ve sigortalar kontrol edilmiştir. Herhangi bir sorunla karşılaşılmamıştır. Alanda yapılan avlanma faaliyetleri sonucunda, tarlada kurşun veya saçmalardan dolayı kırılan panel olduğu tespit edilmiştir.



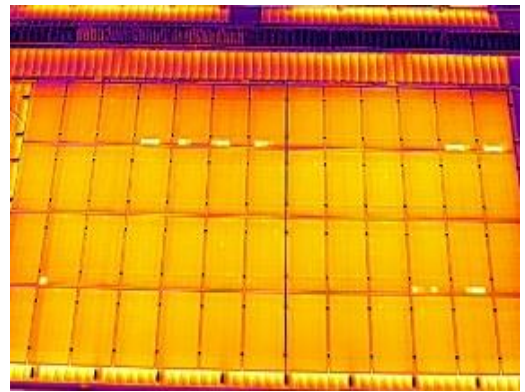
(a)



(b)



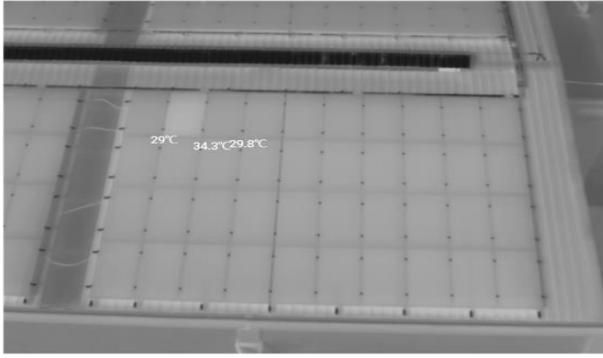
(c)



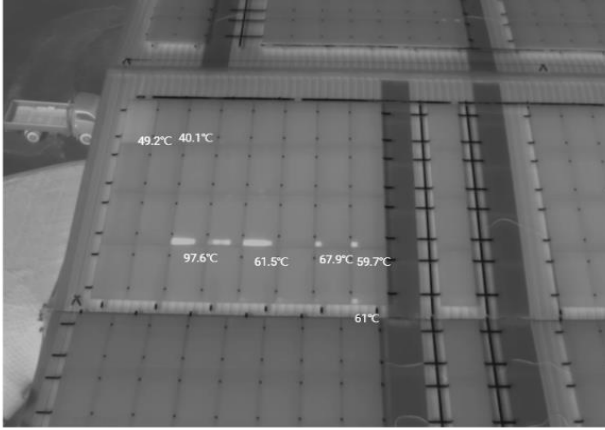
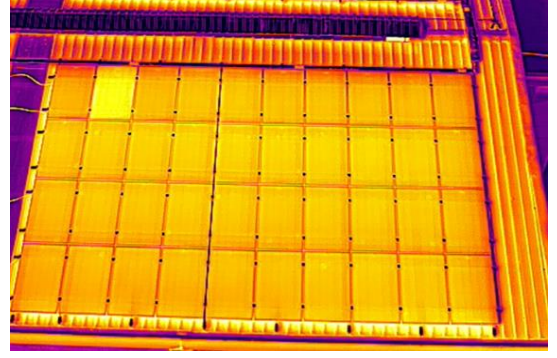
Şekil 5. Termal drone tarafından yakalanan 600 kW güneş enerjisi sisteminin kirlilik hatası

Şekil 6 (a)'da gösterilen panelde maksimum 34,3 °C, minimum 29,0 °C olmak üzere bir bağlantı hatası tespit edilmiştir. Şekil 6 (b)'de gösterilen panelde maksimum 49,2 °C, minimum 40,1 °C olmak üzere bir bağlantı hatası tespit edilmiştir. Şekil 6 (c)'de gösterilen panelde maksimum 56,6 °C, minimum 49,3 °C olmak üzere bir bağlantı hatası daha tespit edilmiştir. Diğer arızalara göre bağlantı hatası panelin çalışmamasına sebep olmakta ve bazı durumlarda tüm dizideki birbirine bağlı panellerin

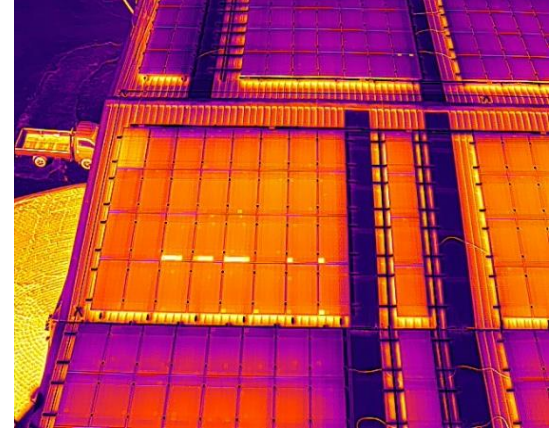
çalışmasını etkilemektedir. Bu yüzden enerji üretim kaybında ve verimliliği azaltmada en etkili arıza türlerindedir. Büyük güçlü santrallerde, havadan bir drone vasıtası ile kızılötesi termal teşhis ile hızlı tespiti önemlidir. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde sürdürülebilir bir yenilenebilir enerji kaynağı önemlidir ve hızlı ve yerinde arıza tespiti ile sahada sorun çözülmelidir. PV panel pazarında rekabetçi hale gelen kızılötesi termal teşhis diğer yöntemlere (I-V eğri ölçümleri ve elektrolüminesans ölçümleri gibi) kıyasla, drone ile yapılan termal çekimlerde anlık müdahaleler ile arıza tespit süreleri dakikalara indirilmektedir. Termal görüntüler, 1000 kW'lık bir güneş enerjisi santralının 15 dakikalık uçuş ile drone ile termal görüntülenmesi ile elde edilmektedir. Drone'nun kumandasında bulunan ekran sayesinde daha raporlama yapılmadan anında giderilebilecek büyük arızalara sahada müdahale edilerek tekrar kontrol edilir.

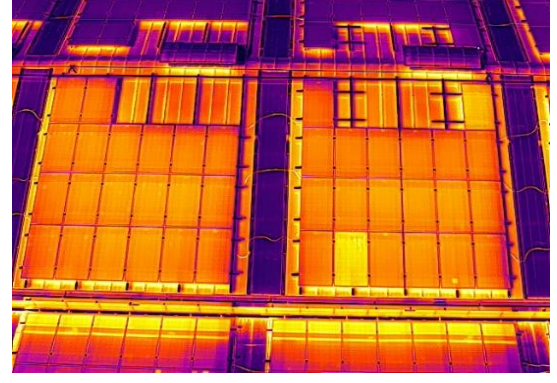
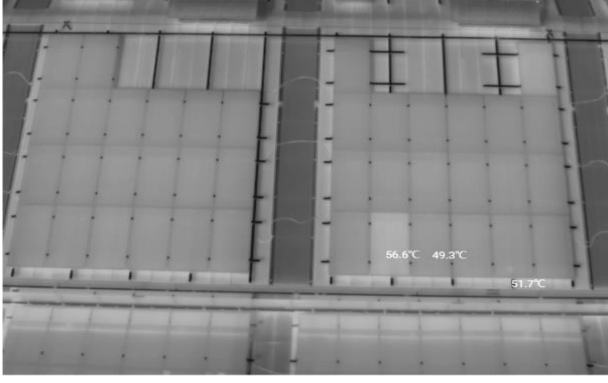


(a)



(b)

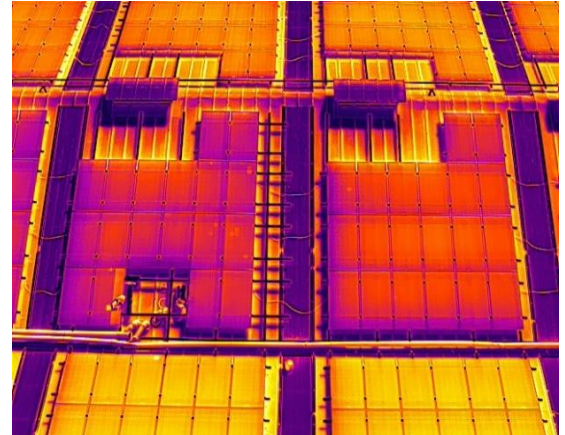
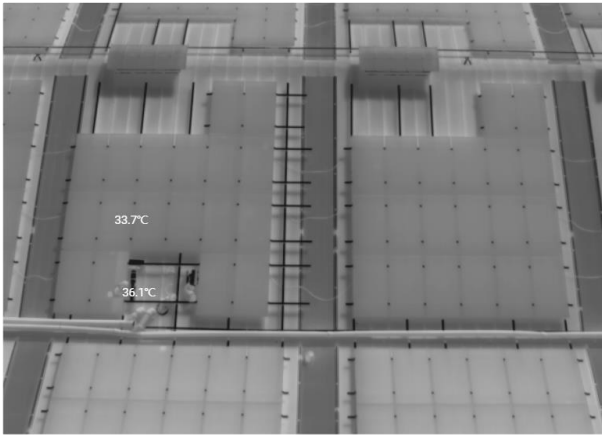




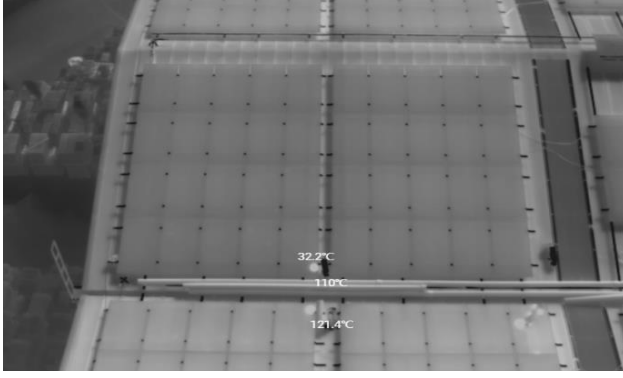
(c)

Şekil 6. Termal drone tarafından yakalanan 600 kW güneş enerjisi sisteminin bağlantı hatası

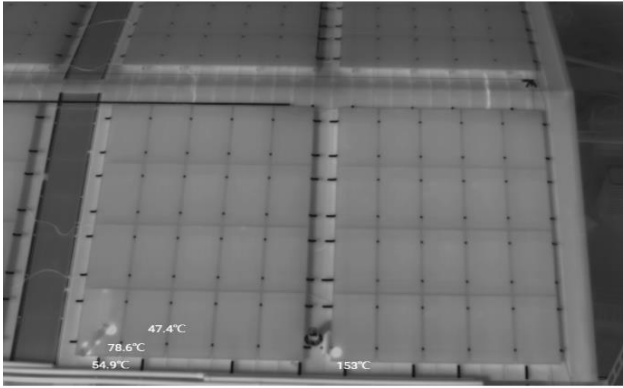
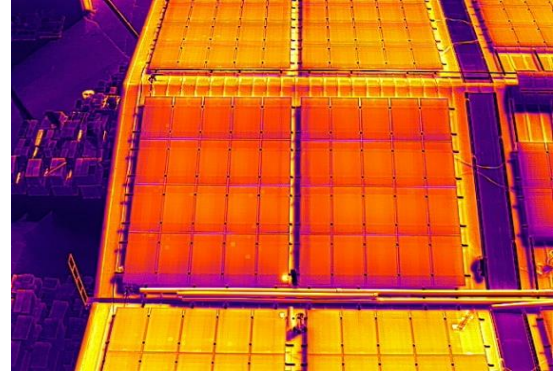
Şekil 7 (a)'da gösterilen panelde maksimum 36,1 °C, minimum 33,7 °C olmak üzere bir gölgeleme hatası tespit edilmiştir. Şekil 7 (b)'de gösterilen panelde maksimum 121,4 °C, minimum 32,2 °C olmak üzere bir gölgeleme hatası tespit edilmiştir. Şekil 7 (c)'de gösterilen panelde maksimum 78,6 °C, minimum 47,4 °C olmak üzere bir gölgeleme hatası daha tespit edilmiştir. Şekil 7 (c)'de gösterilen panelde maksimum 58,6 °C, minimum 48,0 °C olmak üzere bir gölgeleme hatası daha tespit edilmiştir. Paneller drone ile havadan fotoğraflanarak incelendiğinde, bazı bölgelerde gölgelenme olduğu panelin etrafındaki nesnelerin gölgelenmeye sebep olduğu görülmüştür. Panellerin bağlantı noktalarında ısınmaya bağlı olarak erime, paslanma ve renk değişimleri olduğu görülmüştür. Panellerde kullanılan kabloların 4 mm² güneş enerjisi kabloları olduğu görülmüş olup, bu kabloların minimum 6 mm² olması tavsiye edilir.



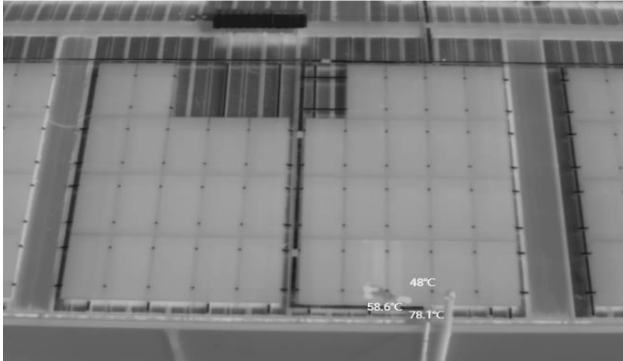
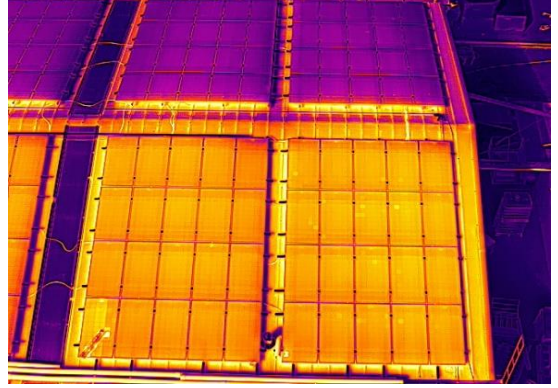
(a)



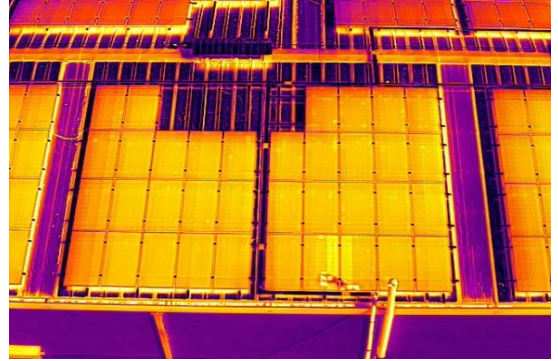
(b)



(c)



(d)



Şekil 7. Termal drone tarafından yakalanan 600 kW güneş enerjisi sisteminin gölgeleme hatası

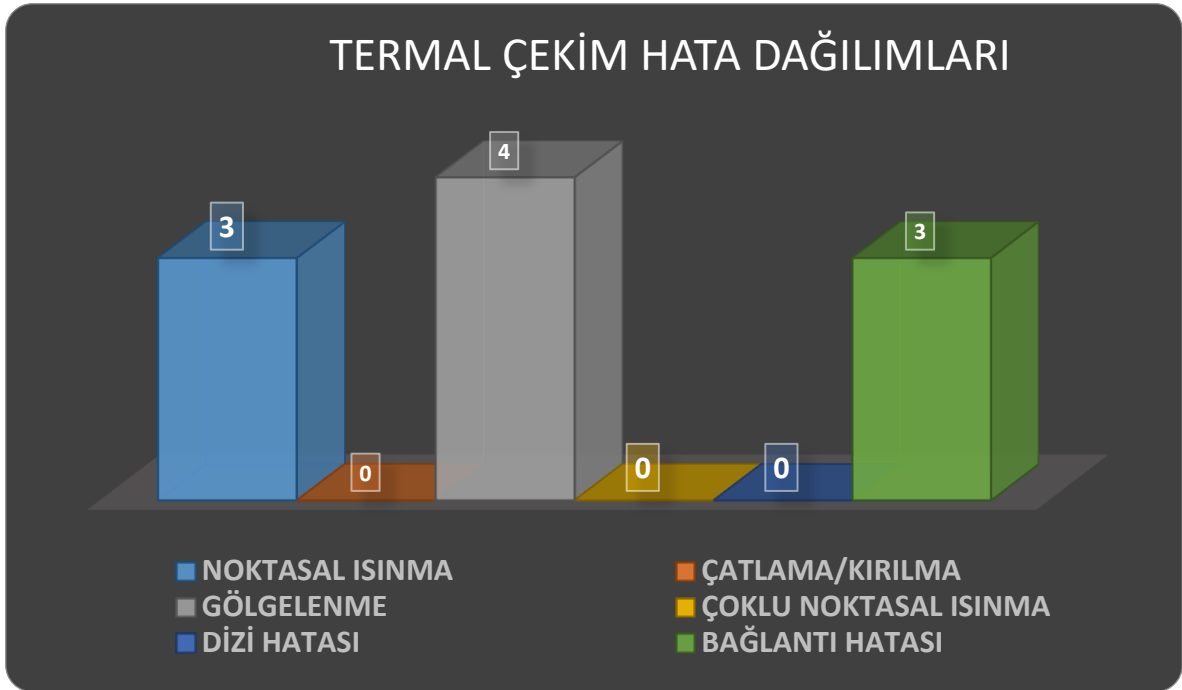
Yapılan tetkikler sonucunda sahalarda 3 adet Noktasal Isınma Hatası, 4 adet Gölgeleme Hatası, 3 adet Bağlantı Hatası tespit edilmiştir. Yapılan tetkikler sonucunda tüm sahada toplam Dizi Hatası tespit edilememiştir. Şekil 8 ve Şekil 9’da kirlilik ve gölgeleme fotoğrafları verilmiştir. Tespit edilen 10 hatanın tamamının termal fotoğraflarına yer verilmiş olup, hataların tamamı panel yerleşim haritalarında gösterilmiştir. Drone ile paneller üzerinde alınan termal çekim hata dağılımları Şekil 10’da verilmiştir. Mavi renkli bara 3 noktasal ısınma olduğunu, yeşil renkli bara 3 bağlantı hatası olduğunu ve gri renkli bara 4 gölgeleme hatası olduğunu gösterir.



Şekil 8. 600 kW güneş enerjisi sisteminin kirlilik resimleri



Şekil 9. 600 kW güneş enerjisi sisteminin gölgeleme resimleri



Şekil 10. Termal çekim hata dağılımları

600 kW'lık bir güneş enerjisi sistemindeki arızalardan kaynaklanan üretim kaybının hesaplanması ve üretim kaybındaki iyileşme yüzdesi Denk.(2) ve Denk.(3) ile bulunur. Teknik bağlantı arızası ve diğer arızalar sahada çözüldüğünde yaklaşık % 0,16'lık (bağlantı hatasından dolayı çalışmayan panel

sayısına göre 990 W'lık enerji üretim kaybına göre hesaplanmıştır) bir enerji üretimde iyileşme gerçekleşmektedir. Arızaların hemen tespiti ve termal görüntü ile hızlı çözüme ulaşılması enerji üretiminde önemli bir etki göstermektedir.

4. Sonuçlar

Geniş uygulama ve hatta ticari başarı sağlamak için PV santrallerin kızılötesi termal tabanlı teşhis gelecekteki bir hizmet özelliği olarak; Yalnızca kızılötesi termal teşhis görüntüleme yoluyla nitel (yani termal görüntü kalıpları) veya nicel (yani radyometrik veriler) bilgileri kullanan tam teşhis yeteneği, binlerce veya yüzlerce modülün maliyet ve zaman elektriksel ölçümlerine bağımlılığı sınırlandırılır. Havadan termografik incelemeler ve otomatik arıza tespiti için yapılandırılmış drone ile geniş alan ölçümleri yapabilme özelliği ile büyük ölçekli santrallerde pratiklik sağlar. Ölçümlerin doğruluğu ve güvenilirliği iki şekildedir; Yerleşik standartlara ve teknik şartnamelere uygunluk ve tespit edilen kusurların doğrulanmasına yardımcı teşhislerdir (örn. görsel inceleme). Gerçekten de, çok umut verici ve canlı bir araştırma alanı olan kızılötesi termal tabanlı teşhis, büyük ölçekli PV santralleri için gereklidir. Bu çalışmada, Türkiye'de 600 kW güneş enerjisi sisteminde termal drone ile arıza analizi ve karşılaştırması yapılmıştır. Bir FV enerji sistemindeki hatalı FV modülleri tespit edilmiş ve kesin konumları belirlenmiştir. Çalışma, 600 kW FV enerji sisteminde gerçek bir ortamda uygulanmıştır. Uygulama ile Türkiye'deki güneş enerji santrallerinde meydana gelen arıza türleri gözlemlenmiştir. 600 kW güneş enerjisi sisteminde bağlantı arızasının panelleri önemli ölçüde etkilediği ve üretim açısından önemli bir verime sahip olduğu görülmektedir. Bağlantı hatası panelin çalışmamasına neden olan durumdur. Olası nedenler; arızalı inverterler, sigorta veya bağlantı kutusu sorunları, kablolama hataları, sigorta, bağlantı portları ve kabloların kontrol edilmesi önerilir. Sahada yaşanan teknik bağlantı arızası sorunu giderildiğinde 600 kW güneş enerjisi sisteminde üretimde % 0,16 iyileşme sağlanmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarı herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazar makaleye % 100 oranında katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Kaynakça

Abdulmawjood K., Refaat SS., Morsi WG. Detection and prediction of faults in photovoltaic arrays: A review. IEEE 12th International Conference on Compatibility-Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG), 2018, sayfa no:1-8, Doha, Qatar.

- Ateş KT. Çok katmanlı yapay sinir ağı modeli ve kültürel algoritma modeli kullanılarak geliştirilen melez yöntem ile kısa vadeli fotovoltaik enerji santrali çıkış gücü tahmini. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2022; 5: 342-354.
- Bastidas Rodríguez JD., Petrone G., Ramos-Paja CA., Spagnuolo G. Photovoltaic modules diagnostic: an overview. 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2013), 2013, sayfa no:96-101, Vienna, Austria.
- Bonsignore L., Davarifar M., Rabhi A., Tina GM., Elhajjaji A. Neuro-fuzzy fault detection method for photovoltaic systems. *Energy Procedia* 2014; 62: 431-441.
- Cubukcu M., Akanalci A. Real-time inspection and determination methods of faults on photovoltaic power systems by thermal imaging in Turkey. *Renewable Energy* 2020; 147(1): 1231-1238.
- Dağlı A., Karaköse E., Durmus A. Solar panellerde arıza analizi. *SETSCI Conference Proceedings* 2019; 4(1): 479-481.
- Daliento S., Chouder A., Guerriero P., Pavan AM., Mellit A., Moeini R., Tricoli P. Monitoring, diagnosis, and power forecasting for photovoltaic fields: a review. *International Journal of Photoenergy* 2017; 1-13, Article ID 1356851.
- Henry C., Poudel S., Lee SW., Jeong H. Automatic detection system of deteriorated pv modules using drone with thermal camera. *Applied Sciences* 2020; 10(11): 3802.
- Jeon H. Thermal image analysis for fault detection and diagnosis of PV systems. Purdue University Graduate School, Department of Computer and Information Technology Master Thesis, p 67, West Lafayette, Indiana, 2020.
- Kapucu C., Cubukcu M. Fotovoltaik sistemlerde topluluk öğrenmesi temelli hata tespiti. *Bilişim Teknolojileri Dergisi* 2019; 12(2): 83-91.
- Libra M., Daneček M., Lešetický J., Poulek V., Sedláček J., Beránek V. Monitoring of defects of a photovoltaic power plant using a drone. *Energies* 2019; 12(5): 795.
- Madeti SR., Singh SN. Monitoring system for photovoltaic plants: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2017; 67: 1180-1207.
- Maghami MR., Hizam H., Gomes C., Radzi MA., Rezadad MI., Hajjighorbani S. Power loss due to soiling on solar panel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2016; 59: 1307-1316.
- Masmoudi F., Salem FB., Derbel N. Single and double diode models for conventional mono-crystalline solar cell with extraction of internal parameters. 13th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD), 21-24 March 2016, pp: 720-728, Leipzig, Germany.
- Munoz MA., Alonso-García MC., Vela N., Chenlo F. Early degradation of silicon PV modules and guaranty conditions. *Solar Energy* 2011; 85(9): 2264-2274.
- Segovia Ramírez I., Das B., García Márquez FP. Fault detection and diagnosis in photovoltaic panels by radiometric sensors embedded in unmanned aerial vehicles. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* 2022; 30(3): 240-256.

- Singh GK. Solar power generation by PV (photovoltaic) technology: a review. *Energy* 2013; 53: 1-13.
- Takashima T., Otani K., Sakuta K., Yamada T., Igarashi T., Hasegawa K., . . Yamaguchi T. Electrical detection and specification of failed modules in PV array. 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Proceedings of, 11-18 May 2003, sayfa no:2276-2279, Osako, Japan.
- Takashima T., Yamaguchi J., Otani K., Kato K., Ishida M. Experimental Studies of Failure Detection Methods in PV Module Strings. IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conference, 07-12 May 2006, sayfa no: 2227-2230, Waikoloa, HI, USA.
- Yurtseven K., Karatepe E., Deniz E. Sensorless fault detection method for photovoltaic systems through mapping the inherent characteristics of PV plant site: Simple and practical. *Solar Energy* 2021; 216(1): 96-110.
- Zefri Y., ElKettani A., Sebari I., Ait Lamallam S. Thermal infrared and visual inspection of photovoltaic installations by UAV Photogrammetry—Application Case: Morocco. *Drones* 2018; 2(4): 41.
- Zhao Y., Lehman B., Ball R., Mosesian J., Palma J. Outlier detection rules for fault detection in solar photovoltaic arrays. IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2013, sayfa no: 2913-2920, Long Beach, CA, USA.