



FOTOVOLTAİK GÜNEŞ SANTRALLERİNİN VERİMLERİNİN DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

Reşat SELBAŞ¹, Hande ÇETİN^{*2}

¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta

Makale Bilgisi

Geliş tarihi: 23.08.2019

Kabul Tarihi: 29.06.2022

Yayın tarihi: 30.06.2022

Anahtar Kelimeler;
Güneş Enerjisi,
Fotovoltaik panel, Güneş
Paneli Elektriksel
Parametreleri, Güneş
Paneli Termal
Modellemesi,

ÖZET

Bu tez çalışmasının amacı, fotovoltaik santralinin performansını etkileyen panellerin sistemsel ve çevresel faktörlerin etkisi incelenmek üzere hazırlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda güneş panellerinin performansına etki eden parametrelerin neler olduğu araştırılmıştır. Ayrıca ölçümleri yapılan sistemin gölgelenme, hasar ve ısı kayıplarının etkisini incelemek için termal testleri ve akım gerilim parametreleri de incelenmiştir. IEC standartlarına göre panellerin yerinde ölçümler yapılarak akım-gerilim eğrileri incelenmiştir. Ölçülen değerler ile STC'deki verilerin karşılaştırılarak panel performansını ne şekilde etkilediğini ve bu durumun fotovoltaik santrali nasıl etkilediği incelenmiş olup, oluşturulan grafikler yardımıyla performans değerlerinin değişimi gözlemlenmiştir.

INVESTIGATION OF THE CHANGE IN THE EFFICIENCY OF PHOTOVOLTAIC SOLAR PLANTS

Article Info

Received: 23.08.2019

Accepted: 29.06.2022

Published: 30.06.2022

Keywords;
Solar Energy,
Photovoltaic Panel, Solar
Panel Electrical
Parameters, Solar Panel
Thermal Modeling

ABSTRACT

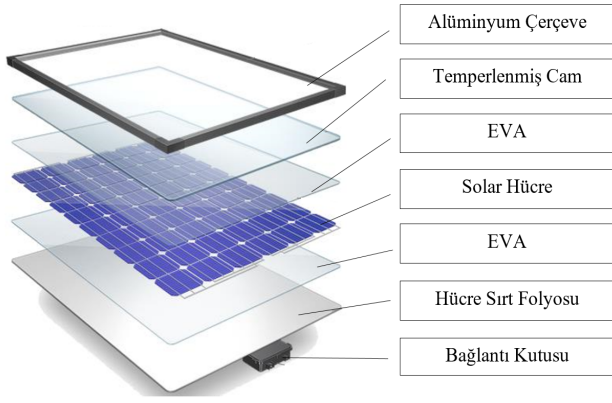
The aim of this thesis is to investigate the effects of systemic and environmental factors on the panels that affect the performance of the photovoltaic plant. For this purpose, the parameters affecting the performance of the solar panels were investigated. In addition, thermal tests and current voltage parameters of the measured system were examined to investigate the effect of shading, damage and heat losses. The current voltage curves of the panels were measured in accordance with IEC standards. By comparing the measured values and the data in the STC, the effect of panel performance on the photovoltaic power plant was examined and the change in performance values was observed with the help of the graphs.

1. Giriş

Ülkemiz, enerji üretimindeki potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynakları bakımından oldukça fazla zenginliklere sahip bir ülke olup, coğrafi konumunun sağladığı avantaj sayesinde önemli ölçüde güneş ışığı almaktadır.

Güneş enerjisi santrali (GES) kurulumu ülkemizde PV (Fotovoltaik) sistemlerinin kullanımıyla giderek artış göstermektedir. Bu santrallerin en yüksek verimde çalışabilmesi için bazı çevresel ve iklimsel çalışma faktörlerinin optimum düzeyde olması gerekmektedir.

Güneş enerjisi çevre koşullarına bağlı olarak kesintili ve değişken olabilme özelliğine sahiptir. Bunlardan en kritik olanları, çevre sıcaklığı, rüzgar hızı ve güneş ışınımı oranıdır. Bu faktörlerin oluşturduğu koşullar, PV panellerdeki çıkış gücünün etkin kullanmasının önemini artmaktadır. PV panellerinin çevresel etkenlerden en az düzeyde etkilenmesi ve mümkün olan maksimum verimde çalışabilmesi için bazı çalışmalar yürütülmektedir. PV panellerinin çalışma performansını etkileyen en önemli faktörler güneş ışınımı ve panel sıcaklığıdır. PV panellerindeki panel sıcaklığını azaltarak PV performansını arttırmak için aktif ve pasif soğutucu sistemler geliştirmeye yönelik çalışmalar yürütülmüştür. Bununla ilgili ışınım miktarını arttırmak için yoğunlaştırıcı sistemler üzerine çalışılmaktadır (Almaktar vd, 2012; Turhan ve Çetiner, 2012). Şekil 1’de solar panelin hücre katmanları verilmiştir.



Şekil 1. Solar panelin hücre katmanları.

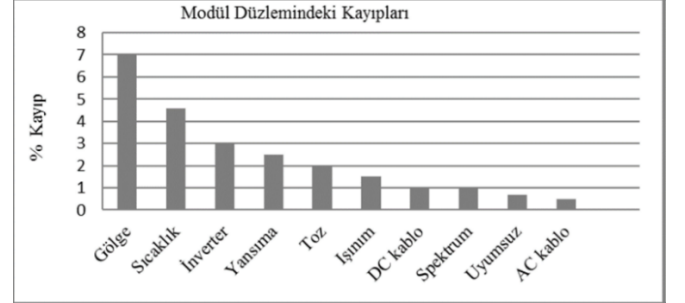
Güneş Pilinin ön yüzeyinde 150 mikron kalınlığında olan ışın soğurucu kaplama malzemesi vardır. Şekil 1’de gösterimi yapılan panelin çevresinde alüminyum çerçeve olması, paneli fiziksel etmenlerden korur, panel dıştan içe alüminyum çerçeve, temperlenmiş cam, eva, solar hücre, sırt folyosu ve bağlantı kutusundan oluşmaktadır.

PV panellerin içerisindeki yarıiletken malzeme yardımı ile güneş enerjisini %6 ile %20 arasında verim oranı ile elektrik enerjisine dönüştürdüğü bilinmektedir. PV panel verimlerine etki eden etmenleri; panelin yerleşimindeki eğim açısı, gölgelenmesi, tozlanma oranı, güneş ışınım şiddeti, sıcaklığı ve diğer kayıplar olarak sıralandırılabilir (Bhrol vd, 2015).

1.1.Fotovoltaik Sistem Verimini Etkileyen Faktörler

Fotovoltaik sistem performansını etkileyen faktörlerin çoğu enerji üretiminde kayıplara yol açmaktadır. Bunları çevresel (sıcaklık, tozlanma,

karlanma) ve sistem tasarım koşulları (gölgelenme, AC ve DC kablo kayıpları) olarak ikiye ayrılmaktadır. Diğer faktörler ise santralde kullanılan malzemelerin kalitesi ile ilgili olduğu görülmektedir (paneller arasındaki uyumsuzluklar, evirici kayıpları). Fotovoltaik sistemdeki verimi etkileyen kayıplar Şekil 2’deki grafik ile gösterilmektedir.



Şekil 2. PV sistemde kayıplar (Deniz, 2013).

Şekil 2’de PV sistemlerindeki kayıplarda en yüksek kaybın gölgelenmede en düşük kaybın ise AC kablolarında olduğu gösterilmektedir. Kayıpların etkisini görmek için PV performans oranının değerlendirilmesi önemlidir.

1.1.1. Çevresel Faktörler

Fotovoltaik panellerde çevre koşullarına göre zamanla kirlenmeler olmakta ve performans düşüşlerine sebep olmaktadır.

Fotovoltaik panellerin en fazla etkilendiği faktörlerden biri sıcaklıktır. Sıcaklık değerleri incelenmesi ve bu sıcaklık değerine bağlı sıcaklık aralığında ise daha az verim kaybı yaşatan panel tipi tercih edilmesi sistemin verimini arttıracaktır.

PV panelleri standart test koşullarında (1000W/m² ışınım, 1.5 AM Hava kütlesi ve 25°C Hücre Sıcaklığı) test edilir ve çıkan akım ve gerilim eğrisi, ışınım ve sıcaklık değerlerini doğrudan etkilemektedir. Işınım değeri sıcaklık değerinden daha fazla değişim göstermekte olup, ışınım değeri yarıya düştüğünde güç çıkışı da yarı yarıya azalma göstermektedir.

Panel yüzeyine düşen solar ışınımın bir kısmı hücreler tarafından emilir, bir kısmı emilmeden panel yüzeyinden geri yansır ve ışınımın etkisi ile geri yansıyan kısımlar yansımalar kayıpları olarak nitelendirilirler. Yansımaların önlenmesi ve emilmenin en az seviyeye çıkartılması amacıyla paneller farklı katmanlardan üretilmektedir.

Panellerin yüzeyinde oluşan kararma ve kirlilik sonucunda ışınım seviyesinin düşmesi ile oluşan kayıplar önem taşımaktadır. Özellikle tozlanmadan kaynaklanan kayıplar incelendiğinde yağışın az olduğu bölgelerdeki değerlerin %15’e kadar

yükseldiği tespit edilmiştir (Piliouguine Vd, 2008). Ancak, tozlanma kaynaklı kayıplar, tozun cinsi, yağış sonrasındaki zaman, panel açısı ve temizlik planlanması olarak nitelendirilmektedir. Bütün bu etmenler incelendiğinde, tozlanmadan kaynaklanan verim kayıplarının nadiren %4'ten fazla olduğu görülmüştür (Kymakis vd, 2009).

1.1.2. Sistemsel Faktörler

Enerji üretimini en çok etkileyen bir diğer faktör ise gölgelemedir. Gölgelemeye sebep olacak etkenler durumlarında gölgeleme analizi yapılarak tasarımlar yapılabilmektedir.

Sistemde en büyük kayıplara ve arızalara neden olabilen bir diğer kısım ise kablolamadır. Kablolama hesaplamalarının doğru bir şekilde yapılmaması, kabloların yanmasına veya yüksek verim kayıplarına neden olabilmektedir. Bu yüzden sistemin dizaynı yapılırken kesit hesaplarının güvenli şekilde yapılması önem taşımaktadır. Enerjinin verimli taşınması açısından gerilim düşümü önemli bir parametredir. Gerilim düşümü kablo kesiti ile ters orantılı olarak hareket etmektedir. Hem AC hem de DC tarafta %1-3 arası gerilim düşümleri Türkiye'de kabul edilebilir değerler olarak tanımlanmaktadır (Deniz, 2013).

Kurulum ve dizayn aşamasında inverterin maksimum ve minimum çalışma voltajının istenilen değerlerde olması önemlidir ve voltaj aralığı yüksek olan inverterler seçilmesinin avantajlı olduğu bilinmektedir. Voltaj aralığı dar olan MPPT inverter seçimi yapılmış ise sıcaklık kaynaklı voltaj dalgalanmaları belirlenmesi gerekmektedir. Çalışma sıcaklık aralıkları -25°C ile +60°C arasında olan inverterlerin maksimum verim için sıcaklığın yüksek olmayan, direk güneş almayan ve nemi yüksek olan ve tozlu ortamlardan uzak tutmak gerekmektedir.

Sistemde farklı üretimleri olan dizilerin, aynı MPPT'ye bağlı olması verimi önemli oranda düşürebilmektedir. Bu durum projelendirilirken MPPT adeti daha yüksek olan dizi inverterlere yönelmek fayda sağlamaktadır. Panellerin MPPT akımlarına göre gruplandırması ve MPPT akımları birbirine yakın olan paneller aynı dizide seri olarak bağlanması uyumsuzluk kayıplarını düşürmektedir. Merkezi inverterlerde çok fazla dizi olumsuz etkileneceği ve üretim değerlerini düşeceği için inverterlerin MPPT voltaj aralıklarının dışında, MPPT işlevini yürütemeyeceğinden verim de azalmaktadır. Doldurma Faktörü (FF) PV hücrelerin kalitesini göstermek amacıyla üreticiler tarafından tercih edilen orandır.

$$P_{mp} = V_{mp} \cdot I_{mp} \quad (1)$$

$$P_T = V_{oc} \cdot I_{sc} \quad (2)$$

$$FF = \frac{P_{mp}}{P_T} = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} = \frac{Alan A}{Alan B} \quad (3)$$

Denklem ile bulunan dolun oranı (FF) sıcaklığa göre değişim göstermektedir.

Doldurma Faktörü (FF) esas olarak, bir PV panelinin verimliliğinin bir ölçüsüdür ve beklenen değerden sapma veya doldurma faktöründeki değişiklikler panel üretimine bağlı olması teorik olarak ölçülen maksimum değer hatalı olduğunu gösterebilir.

PV panel üretici firma, "TS EN 61215 Kristal Silikon Karasal Fotovoltaik (PV) Modüller-tasarım Nitelikleri ve Tip Onayı, TS EN 61646 İnce Filmli Karasal Fotovoltaik Modüller - Tasarım Nitelikleri ve Tip Onayı TS EN 61730-1/-2 Fotovoltaik Modül Güvenlik Niteliği / Bölüm 1 - Yapım Özellikleri / Bölüm 2-Deney Özellikleri" kapsamındaki standartların gereklilikleri yerine getirmiş olmalıdır.

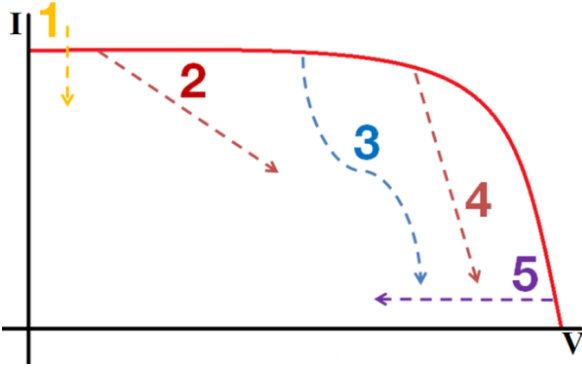
2. Materyal – Metot

İncelenen sisteme ait ışınım, sıcaklık ve rüzgar sensör veri kaydedicisi tarafından kaydedilen iklim verileri analiz edildi ve sistemin yerleşim planları gözden geçirilerek panellerin görsel olarak korozyon, sararma, çatlaklar, bağlantı kutuları, salyangoz etkisi, tozlanma, hücre hasarları ve DC kablo ve kablo bağlantı noktaları incelendi. Güneş ışığı sensörlerinin kontrolü yapılarak veri toplama sisteminin veriler ile kontrolü yapıldı. Evirici, güç panoları, toplama kutuları ve trafonun görsel olarak gözden geçirilmesi sonrasında termal testleri panellerde direnç etkisi yaratan sıcak noktaların belirlenmesi ve sıcaklık farklarının saptanması yapıldı.

Bu aşama sonrasında, tesisin uzaktan kontrol ve izleme yazılımından alınan veriler ile panel üretim firmasının beyan ettiği veriler karşılaştırıldı. Elektriksel ve mekanik testler yapılarak montaj edilmiş hataların tespiti yapıldı. Aynı zamanda teçhizatların performans ölçümleri yapılarak üretici firma tarafından garanti edilen şartların sağlanıp sağlanmadığı gözlemlendi.

Güneş enerjisi santrallerinin termal ölçümü, performansı etkileyen faktörlerin tespitinde önemlidir. Termal kamera ile ölçüm PV panellerinde zarar gören hücreleri, By-pass diyodu, bağlantı kutusu, ribbon ve hücre tipi panel malzemelerinde beklenmeyen ısınmanın olup olmadığı, gölgelenme

yapan çevre etmenlerin panellere verdiği zararı, çalışmayan panellerin tespitini, toplama panolarında, eviricilerde, kablolarda ve sigortalarda beklenmeyen bir ısınmanın olup olmadığı gözlemlendi. Santralin ürettiği güç ile ilgili gözle görülemeyen durumlarda performans ölçümü, önemli bir yere sahiptir. I-V ölçümü panellerin gerçek gücünün üretim firmasının beyan ettiği veriler ile tutarsız olması durumunu akım ve gerilim değerinin ölçümü ile oluşturulan eğrinin Şekil 3'teki gösterimi ile yorumlanmaktadır.



Şekil 3. I-V eğrisinin numaralar yardımı ile gösterimi.

Panelin kirlenmesi veya panelin zamanla yıpranması veya ışınım değerinin yanlış olması durumlarında Şekil 3'te gösterilen 1 numaralı bozulma durumu gözlenmektedir. Hücrelerde şönt durumu, bağlantılarında şönt bulunması ve panel kısa devre uyumsuzluğu durumunda ise 2 numaralı değerde bozulma gözükmemektedir. PV kabloları aşırı yüklenmiş veya kesit yetersizliği durumunda, dizideki bağlantıların direnç oluşturması durumunda ve PV panelin seri direncin artması durumunda 3 numaralı değişim izlenmektedir. Seri direnç artması ve dizideki hatalı bağlantıların bulunması durumunda 4 numaralı grafik değişimi gözlenmektedir. Voltaj değerindeki azalma durumunda, bypass diyotu hatasında, dizide gölgelenme durumunda ve panelin bozulması durumunda 5 numaralı değer düşüklüğü gözlenmektedir.

3. Araştırma Bulguları

I-V eğrisi, solar PV panellerinin veya dizelerinin gerçek performansına erişmek için hızlı ve etkili bir yol sağlar. Doğru performans gösteren bir PV sisteminde, eğrinin şekli normal profili takip etmeli ve I_{sc} , I_{mpp} , V_{oc} , V_{mpp} ve P_{max} 'ın ölçülen değerleri ölçüm sırasındaki çevre koşulları için beklendiği gibi olması gerekmektedir. Üretim sürecinin panelleri, standart koşullar altında (STC) $1000W / m^2$ ışınlama, $25^{\circ}C$ sıcaklık ve 1.5 hava

kütlesi altında test edilir. Alan I-V eğrisi ölçümlerini STC'ye dönüştürmek için I-V eğrisi verileriyle aynı anda yakalanan ışınım ve sıcaklık ölçümleri kullanılmaktadır. Düzeltilmiş ölçümler daha sonra, tip plakası rakamlarıyla doğrudan bir karşılaştırma için kullanılabilir. Yapılan ölçümler bir üretim problemini tanımlamak ve belirli bir panelin güç derecesini doğrulamak için kullanılır. PV panellerin, güç çıktısının standart değerine yakın olduğunu doğrulamak için IV eğrisi izleme işlemi gerçekleştirilmektedir.

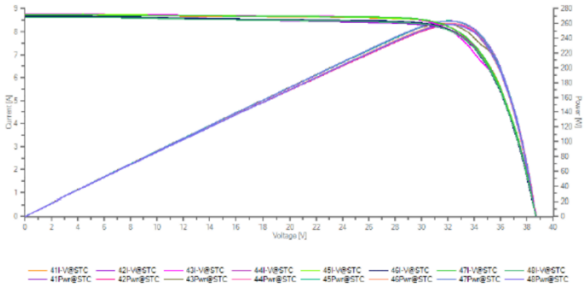
Ölçümü yapılan santralde TELESUN marka TP660P 275W polikristal panel bulunmakta ve tesis 2 yıldır çalışmaktadır. Santraldeki dizilerde akım-gerilim değerleri ölçümü ile solar panellerin performanslarını belirlemek amacıyla, gözle görülemeyen bu performans düşmelerinin nedenleri incelenmiştir. Tablo 1'de ölçümü yapılan santralinin 19 numaralı inverttere bağlı olan diziye ait değerler gösterilmektedir.

Tablo 1. Inverttere bağlı dizi akım gerilim ölçümleri.

ölçüm	Dizi	Pmax	Voc	Vmpp	Impp	Isc	Işınım (w/m^2)	Sıcaklık ($^{\circ}C$)	FF (%)	Verim (%)
		(W)	(VDC)	(V)	(A)	(A)				
41	1	5656,56	786,5	640,10	3,73	8,84	1072	52,9	76	● 96,43
41(STC)	1	263,33	38,67	32,00	3,78	8,23	1000	25,0	78	● 96,69
42	2	5534,43	784	636,80	3,75	8,69	1068	53,9	75	● 95,20
42(STC)	2	258,58	38,67	32,33	3,74	8,00	1000	25,0	77	● 95,22
43	3	5603,95	791,1	633,00	3,79	8,85	1067	50,8	75	● 96,48
43(STC)	3	259,97	38,61	31,84	3,82	8,16	1000	25,0	77	● 94,92
44	4	5571,44	786	639,00	3,82	8,72	1066	53,0	75	● 96,38
44(STC)	4	260,03	38,67	32,33	3,82	8,04	1000	25,0	78	● 94,67
45	5	5601,47	783,2	637,40	3,83	8,79	1064	54,2	76	
45(STC)	5	263,46	38,67	32,00	3,84	8,23	1000	25,0	78	
46	6	5444,3	781,1	633,50	3,86	8,59	1056	55,0	75	
46(STC)	6	259,19	38,67	31,95	3,85	8,11	1000	25,0	77	
47	7	5524,99	782,8	636,30	3,88	8,68	1049	54,1	76	
47(STC)	7	263,18	38,67	32,38	3,82	8,13	1000	25,0	78	
48	8	5400,59	781	633,50	3,86	8,53	1049	54,9	75	
48(STC)	8	258,52	38,67	31,95	3,86	8,09	1000	25,0	78	

Yapılan ölçümler sonucunda Tablo 1'de verilen değerlerler incelendiğinde 8 diziden oluşan ve her diziye 20 adet 275W gücünde polikristal PV panel bağlanmış olup, üretici firma tarafından beyan edilen (STC) ölçüm sonuçları ile santral kurulumundan 2 yıl sonra yapılan ölçümlere ulaşılmaktadır.

Ölçümler sonucundan seçilerek dizilere ait I-V eğrisi ile panellerin üretici firma tarafından taahhüt edilen teknik özelliklerin kontrolü sağlanmaktadır. Fluke marka I-V analiz test cihazı ile santralin özellikleri cihaza tanımlanarak, ölçüme hazırlanmıştır. Ölçüm esnasındaki ışınım değeri, panel sıcaklığı ve ortam sıcaklığı sensörler yardımı ile cihaza aktarılmıştır. Cihaz, verileri algılandıktan sonra ölçümü gerçekleştirilerek Şekil 4'te gösterilen akım, gerilim ve güç eğrilerine ulaşılmaktadır.



Şekil 4. 275W'lık panele ait akım-gerilim-güç eğrisi.

Ölçüm esnasında ortaya çıkan 100-150 arasında farklı akım - gerilim değerinin birleştirilmesi ile Şekil 4'te gösterilen grafik oluşturulmuştur. Grafığın altında kalan alan güç değerini vermektedir. Üretici firma kataloğunda beyan edilen I-V grafiği ile 41. ölçüm ile 48. ölçüm aralığında yapılan ölçüm sonuçlarından çıkarılan I-V grafiği her ölçüm eğrisi farklı renk olacak şekilde Şekil 4 ile gösterilmektedir. Akım gerilim eğrilerinde herhangi bir sapma olmadığı ve 2 yıllık santralin performans oranları ve doldurma faktörleri hesaplamaları da Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Ölçümler sonucu performans oranı değerinin hesaplanması.

Dizi	Pmax	Isc	Voc	Vmmp	Immp	Işınım	PO	FF
Index	(W)	(A)	(VDC)	(V)	(A)	(w/m ²)		(%)
1	5656.56	9.51	786.5	640.10	8.84	1072	89.94	76
1	263.33	8.73	38.67	32.00	8.23	1000		78
2	5534.43	9.41	784	636.80	8.69	1068	88.33	75
2	258.58	8.67	38.67	32.33	8.00	1000		77
3	5603.95	9.51	791.1	633.00	8.85	1067	89.53	74
3	259.97	8.77	38.61	31.84	8.16	1000		77
4	5571.44	9.40	786	639.00	8.72	1066	89.09	75
4	260.03	8.67	38.67	32.33	8.04	1000		78
5	5601.47	9.47	783.2	637.40	8.79	1064	89.74	76
5	263.46	8.74	38.67	32.00	8.23	1000		78
6	5444.3	9.33	781.1	633.50	8.59	1056	87.88	75
6	259.19	8.67	38.67	31.95	8.11	1000		77
7	5524.99	9.32	782.8	636.30	8.68	1049	89.78	76
7	263.18	8.73	38.67	32.38	8.13	1000		78
8	5400.59	9.22	781	633.50	8.53	1049	87.76	75
8	258.52	8.63	38.67	31.95	8.09	1000		77

Yapılan hesaplamalar STC'deki 1000 W/m² ışınım değerine en yakın olan değerlerde yapılmış ve sonucunda 19 numaralı invertere bağlı dizide gerçekleşen akım değerinin panellerin zamanla oluşabilecek kayıpların etkisi ile panelin Tablo 2'de gösterilen performans oranında %0.07 bir azalma gerçekleşmiştir.

Ölçümü yapılan diğer santralde PANASONİC marka N325 model VBHN325SJ47 monokristal panel bulunmaktadır. Santraldeki dizilerde akım-gerilim değerleri ölçümü ile Tablo 3'te ölçümü yapılan santralinin 13 numaralı invertere bağlı olan

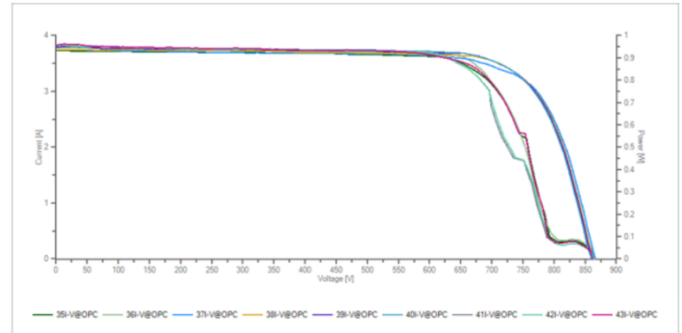
diziye ait 325W'lık 17 adet ölçümü gösterilmektedir. Ölçülen veriler Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3. Monokristal 325W'lık panel akım gerilim ölçümleri.

ölçüm	Dizi	Pmax	Voc	Vmmp	Immp	Isc	Işınım	Sıcaklık	FF	Verim
		(W)	(VDC)	(V)	(A)	(A)	(w/m ²)	(°C)	(%)	(%)
35	1	2283,31	864,3	612,15	3,48	3,73	750,0	28,5	71	86,46
36	2	2366,05	865,7	625,94	3,59	3,78	751,0	27,8	72	89,48
37	3	2435,93	866,1	649,58	3,32	3,75	751,0	27,4	75	92,12
38	4	2492,74	862,9	666,51	3,50	3,74	755,0	27,7	77	93,77
39	5	2486,41	861,9	656,04	3,55	3,79	751,0	27,6	76	94,03
40	6	2488,26	859,4	651,38	3,45	3,82	754,0	27,5	76	93,72
41	7	2265,01	863,6	592,93	3,57	3,82	755,0	27,0	69	85,20
42	8	2272,62	863,6	594,93	3,58	3,82	754,0	27,5	69	85,60
43	9	2310,33	862,1	603,22	3,47	3,83	756,0	27,9	70	86,79
44	10	2322,78	862	604,89	3,60	3,84	756,0	27,5	70	87,26
45	11	2407,09	858,4	623,60	3,45	3,86	756,0	27,0	73	90,43
46	12	2509,86	858	651,91	3,54	3,85	756,0	27,3	76	94,29
47	13	2506,11	857,4	645,90	3,49	3,88	759,0	27,2	75	93,77
48	14	2569,62	862,6	672,68	3,61	3,82	759,0	27,5	78	96,15
49	15	2544,72	859,7	659,25	3,64	3,86	761,0	27,8	77	94,97
50	16	2527,38	857,6	654,76	3,62	3,86	760,0	27,6	76	94,44
51	17	2517,39	858,5	655,57	3,60	3,84	759,0	27,6	76	94,20

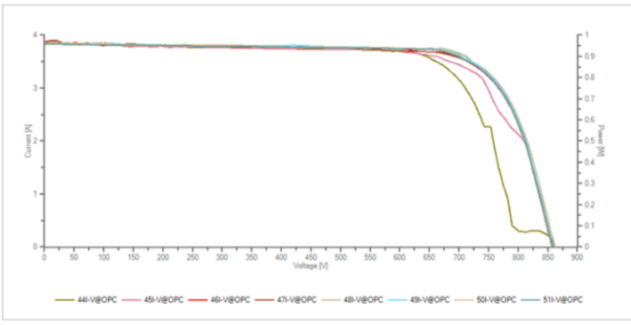
Yapılan ölçümler sonucunda Tablo 3'te verilen değerler incelendiğinde 17 diziden oluşan ve her diziye 11 adet 325W gücünde monokristal PV panel bulunan 7. dizide gerçekleşen gölgeleme sonucunda akım 3.82 A ölçülürken gerilim 863.6 V ölçülmüştür. Gölgelemeye maruz kalmayan 14. diziye ait ölçülen akım 3.82 A gerilim ise 862.6 V olarak ölçülmüştür.

Güneş panel için akım ve voltaj arasındaki ilişkiyi gösteren, tek bir I-V eğrisi için, veriler voltajının ve akım değerlerinin birkaç noktasından oluşmaktadır. Akım gerilim ölçümü, IV-400 cihazı tarafından farklı akım-gerilim değerinin birleştirilmesiyle Şekil 5 ve Şekil 6'daki I-V eğrisi ortaya çıkmıştır.



Şekil 5. Gölgeleme durumunda bir dizinin ölçüm sonucu-1

Akım gerilim değerlerinin 35. ve 43. ölçümleri arasındaki değerler ile Şekil 5'te gösterimi yapılan grafikte meydana gelen dalgalanmanın sebebi ölçümü yapılan panellerin üzerinde sürekli olarak gölgeli alan oluşumu ile grafik standart değerleri bozulmaktadır.



Şekil 6. Gölgeleme durumunda bir dizinin ölçüm sonucu-2

Ölçümü diziyeye ait 44. ve 51. ölçüm numaralarına ait veriler sonucunda Şekil 6'da görülen grafikte 44 numaralı ölçüm değerleri incelendiğinde, 10 numaralı diziyeye bağlı 11 adet panel üzerine bakıldığında oluşan gölgeli alanlar grafikte dalgalanma izlenmektedir.

Şekil 5 ile Şekil 6'da gösterilen standart I-V eğrisinin, test edilen panel dizisinin farklı alanları arasındaki uyumsuzluğun bir göstergesi olarak PV dizisinin kısmi bir şekilde gölgelemesi veya PV hücrelerinin zarar görmesi sebepleri arasındadır. Bu durum bypass diyotlarının aktive olmasına neden olur ve kısmen gölgeli bir dizi grafiğindeki bozulma gölgeli alan ortadan kaldırıldığında I-V eğrisi standart şekilde olmaktadır. Bu durum incelendiğinde, eğer PV hücresi hasar görürse, eğri kalıcı hale gelmektedir.

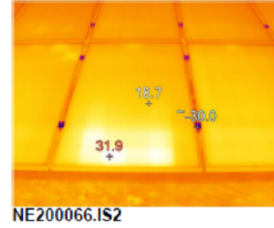
Tablo 4. Ölçümlerin karşılaştırılması.

Dizi Index	Pmax (W)	Isc (A)	Voc (VDC)	Vmmp (V)	Impp (A)	Işınım (w/m ²)	PO	FF (%)
1	2283	3.73	864.3	612.15	3.73	750.0	86.46	71
2	2366	3.78	865.7	625.94	3.78	751.0	89.48	72
3	2436	3.75	866.1	649.58	3.75	751.0	92.12	75
4	2493	3.74	862.9	666.51	3.74	755.0	93.77	77
5	2486	3.79	861.9	656.04	3.79	751.0	94.03	76
6	2488	3.82	859.4	651.38	3.82	754.0	93.72	76
7	2265	3.82	863.6	592.93	3.82	755.0	85.20	69
8	2273	3.82	863.6	594.93	3.82	754.0	85.60	69
9	2310	3.83	862.1	603.22	3.83	756.0	86.79	70
10	2323	3.84	862	604.89	3.84	756.0	87.26	70
11	2407	3.86	858.4	623.60	3.86	756.0	90.43	73
12	2510	3.85	858	651.91	3.85	756.0	94.29	76
13	2506	3.88	857.4	645.90	3.88	759.0	93.77	75
14	2570	3.82	862.6	672.68	3.82	759.0	96.15	78
15	2545	3.86	859.7	659.25	3.86	761.0	94.97	77
16	2527	3.86	857.6	654.76	3.86	760.0	94.44	76
17	2517	3.84	858.5	655.57	3.84	759.0	94.20	76

Yapılan ölçümlerden 41, 42, 43 ve 44 numaralı ölçümleri ile 7-8-9-10 numaralı dizilerde performans oranı (PO) ve doldurma faktörü (FF) değerleri tablo 3.4 ile gösterilmektedir. Üreticinin beyan ettiği standartlara en yakın eğriye sahip olan 14 numaralı

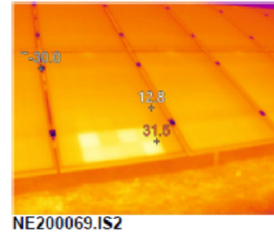
dizi ile en fazla gölgeli alan oluşan 7 numaralı dizi karşılaştırıldığında gölgeli alan oluşan dizide %11.4 performans oranı kaybı %11.5 doldurma faktörü kaybı gözlenmektedir.

Hava ve nem koşullarına göre panel seçimi önemlidir. Kar ve yağmur suyu birikmesi ile oluşabilecek hasarlar Şekil 7 ve Şekil 8 ile gösterilmiştir. Karların en alt sıralarda birikmesi ile o bölgelerde bulunan panellerin buzlanmaya bağlı olarak basınç oluşturduğu ve bu basıncın panellerde kalıcı hasara yol açarak sıcak nokta (hot spot) tahribatına sebep olması sonucuna ulaşılmaktadır.



Şekil 7. Sistemdeki 7. dizide alt kısımdaki 20. panelin termal kamera görüntüsü.

Tesiste yapılan ölçümlerden tespit edilen dizilerin termal kamera ölçümleri yapılması sonucunda Şekil 7 ve Şekil 8'de hasarları gözlenmiş olan panellerin I-V test cihazı ile ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 8. Sistemdeki 9. dizide alt kısımdaki 16. panelin termal kamera görüntüsü.

Göz ile muayene edilerek tespit edilemeyen hasarlı durumların termal kamera ile testlerinin yapılması sonucunda çıkan görüntülere bakıldığında panellerin alt kısımlarında hot spot (Sıcak nokta) arızaları gözlenmiştir. Düzenli bakımların ve temizliğin yapılması ile oluşabilecek kayıplar engellenebileceği gibi panellerin ömürleri uzayacağı ve aşınma süreleri kısılacağı gözlemlenmiştir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, güneş enerji santrallerinin performanslarına etki eden faktörlerin ve yapılan ölçümler sonucunda kayıpların azaltılması için yapılacak önlemlerin ülkemizdeki toplam kurulu güç değerlerine katkı sağlaması amaçlanmıştır. Mevcut tesislerin performans ölçümleri yapılarak kayıpların azaltılması ile enerjinin daha verimli kullanılacağı vurgulanmıştır.

Güneş enerji tesisin kurulum aşamasında seçilen panellerin laboratuvar ortamında ölçülen değerleri ile tesisin 2 yıl sonrasında yerinde yapılan ölçümler sonucunda akım- gerilim grafiklerinin eğrilerinin yorumlanması yapılmış olup, eğride olan değişimlerin gözle muayene ile doğruluğunu gözlenmiştir.

Göz ile muayene edilerek tespit edilemeyen hasarlı durumların termal kamera ile testlerinin yapılması sonucunda çıkan görüntülere bakıldığında panellerin alt kısımlarında hot spot (Sıcak nokta) arızaları gözlenmiştir. Düzenli bakımların ve temizliğin yapılması ile oluşabilecek kayıplar engellenebileceği gibi panellerin ömürleri uzayacağı ve aşınma süreleri kısılacağı gözlemlenmiştir.

Fotovoltaik santrallerin güç değerlerini düşmesine sebep olan ışınım şiddeti, ortamın sıcaklığı ve panellerin üzerindeki kir, toz ve gölgelenme çeşitli ortam koşulları vardır. Bu çalışmada, güneş ışınımı ile doğrusal olarak artan gerilim değeri incelendiğinde açık devre gerilimi artarken, kısa devre gerilimi de arttığı 3. bölümde tablo ve grafikler ile gözlenmektedir. Kirlenme veya gölgelenmeden kaynaklanan ışınımdaki azalma ile üretimde kayıplar meydana gelmektedir. Gölge alanları oluşumunun engellenmesi ve dış etkilerin ortadan kaldırılması verimliliğin artmasını sağlayacaktır.

Bu çalışma ile International Electrochemical Commission (IEC)'nin yayınladığı standarda uygun olarak şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerin testleri incelenmiştir. Güneş enerji santralinin kurulumun hatalarının incelenmesi ve testler ile sonuçların değerlendirilmesi yapılarak sistem kontrolü ile oluşabilecek problemlerin önceden bilinmesi tespit edilmesi hedeflenmiştir. Yatırımcıların karşılaşması muhtemel risklerin en aza indirgenerek uzun vadede oluşması muhtemel problemlerin önüne geçilmesi amaçlanmaktadır.

Bu çalışma ile dizi seviyesinde akım-gerilim eğrisi ölçümü yapılarak panellerin performansları test edilmiştir. Gözle görülemeyen bu performans ölçümü santralin üretimi için çok önemlidir. Bu ölçümler ile dizi seviyesinde yapılan akım-gerilim ölçüm sonuçlarının düşük çıkması panelde hasarın olduğu sonucunu göstermektedir. Belirlenen panele ait I-V eğri ölçümleri gerçekleştirilerek yapılan ölçüm neticesinde panellerin üretici firma tarafından taahhüt edilen teknik özelliklerin kontrolü yapılmış olmaktadır.

Ülkemizde 2018 yılı sonu YEGM verilerine göre 5868 güneş santrali bulunmaktadır. Güneş enerji santrallerinden üretilen elektrik enerjisinin toplam kurulu gücünün değeri 5063 Mega Watt'a ulaştığı gözükmektedir. Santrallerin verimlilik çalışmaları

ile iyileştirme yapıldığında oluşan kayıpların azaltılması ile boşa giden enerjinin engellenmesi hedeflenmiştir. Panel performansları ve santral verimleri için yapılan testlerin yaygınlaştırılması amaçlanmıştır.

5. Kaynaklar

- Almaktar, M., Rahman, H. A. & Hassan, M. Y., 2012. Effect of losses resistances, module temperature variation, and partial shading on PV output power. Power and Energy (PECon), IEEE International Conference on. IEEE, 360-365.
- Bhol, R., Pradhan, A., Dash, R. ve Ali, S. M., 2015. Environmental effect assessment on performance of solar PV panel. Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT), International Conference on. IEEE, 1-5.
- Deniz, E., 2013. Güneş Enerjisi Santrallerinde Kayıplar. III. Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri. 21-24 Kasım, İzmir.
- Er Z. Rouabah Z., Kızılkın G., Orken A.T., 2018. Standards and Testing Experiments for a Photovoltaic Module. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ocak.
- ETKB, 2017, Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2015-2019 Stratejik Planı. <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Stratejik-Plan> (Son erişim tarihi: 02.05.2019)
- EÜAŞ, 2017 Elektrik Üretim Anonim Şirketi. Elektrik Üretim Sektör Raporu. www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%C3%B6r%20Raporu%2FEUAS-Sektor_Raporu2016.pdf, son erişim tarihi: 19.03.2018.
- Fam, W.Z. & Balachander, M.K., 1988. Dynamic Performance of a DC Shunt Motor Connected to a Photovoltaic Array. IEEE Trans. September, 613-617
- Han E., 2018, Fotovoltaik Hücre Performansı Üzerine Çalışma Koşullarının Etkisinin İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Nisan.
- IEA, 2017, International Energy Agency. <http://www.iea.org/statistics/> (Son erişim tarihi:02.05.2019)
- IEA, 2017, International Energy Agency. <http://www.iea.org/statistics/> (Son erişim tarihi:02.05.2019)
- Irwanto, M., Irwan, Y. M., Safwati, I., Leow, W. Z. ve Gomeş, N., 2014. Analysis simulation of

the photovoltaic output performance, Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO), IEEE 8th International. IEEE, 477-481.

- Kabul A. Duran F. 2014. Isparta İlinde Fotovoltaik/Termal (Pv/T) Hibrit Sistemin Performans Analizi. SDU International Technologic Science, Nisan.
- Kymakis, E.; Kalykakis, S. & Papazoglou, T.M. 2009. Performance Analysis of a Grid Connected Photovoltaic Park on the Island of Crete. Energy Conversion and Management, January, 433-438
- Piliougine M., Carretero, J., Sidrachde-Cardona, M., Montiel, D., SánchezFriera, P., 2008. Comparative analysis of the dust losses in photovoltaic modules with different cover glasses. Proceedings of 23rd European Solar Energy Conference, 1-5 September, Valencia, 2698-2700.
- Turhan, S. & Çetiner, İ., 2012. Fotovoltaik sistemlerde performans değerlendirmesi. 6.Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, Nisan 12-13, Bursa.