

Fotovoltaik Panellerde Sıcaklık ve Zenit Açısının Panel Güç Üretimine Etkisi

Halil Burak DEMİR¹, Ali Osman ÖZKAN^{2*}

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği AD, 42140, Meram, Konya, Türkiye

² Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 42140, Meram, Konya, Türkiye

ARAŞTIRMA MAKALESİ/RESEARCH ARTICLE

(Geliş/Received: 24.01.2019; Kabul/Accepted: 17.02.2019; Online baskı/Published online: 18.04.2019)

ÖZET

Dünya üzerinde farklı yenilenebilir enerji kaynakları mevcuttur. Güneş enerjisi en çok kullanılan kaynaklardan birisidir. Güneş enerjisi elektrik enerjisine dönüştürmede fotovoltaik paneller kullanılır. Fotovoltaik panellerin verimini etkileyen faktörlerde en önemli iki parametresi panel sıcaklığı ve zenit açısının değeridir. Bu iki parametrenin panel verimine olan etkisi Konya bölgesinde kurulan bir deney düzeneği üzerinde araştırılmıştır. Yapılan çalışmada 4 adet eşdeğer fotovoltaik panel kullanılmıştır. Panellerin sıcaklığını kontrol etmek için arka yüzeyine yerleştirilmiş alüminyum kanalcıklardan soğutulmuş su geçirilmiştir. Mevsimlik açı değerleri ise farklı şekilde konumlandırılmış paneller ile ölçülmüştür. Yapılan deneysel test düzeneğinden elde edilen veriler sonucunda soğutma yapılan panellerde % 11,17 çıkış gücünde artış gözlemlenmiştir. Zenit açı ayarı yapılan panellerde ise sabit panele göre % 7,49 daha fazla enerji ürettiği gözlemlenmiştir. İki parametrenin uygun şekilde ayarlanması sonucunda deneysel düzende kullandığımız panellerde % 17,47 oranında daha fazla enerji ürettiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik paneller, Panellerin soğutulması, Zenit açısı, Elektriksel verimlilik

Effect of Temperature and Zenith Angle on Panel Power Generation in Photovoltaic Panels

ABSTRACT

There are many different renewable sources in the world. Solar energy is one of the most widely used sources. Photovoltaic panels are used to convert solar energy into electrical energy. The two most important parameters affecting the efficiency of photovoltaic panels are the panel temperature and the zenith angle. The effect of these two parameters on panel efficiency was investigated on an experimental setup established in Konya region. In the study, four equivalent photovoltaic panels were used. To check the temperature of the panels, chilled water was passed through the aluminum channels placed on the back surface. As a result of the data obtained from the experimental test setup, an increase of 11.17% output power was observed in the cooling panels. It is observed that panels with zenith angle adjustment produce 7.49% more energy than the fixed panel. Seasonal angle values were measured with panels positioned differently. As a result of the proper adjustment of the two parameters, it was determined that the panels we used in the experimental setup produced 17.47% more energy.

Key Words: Photovoltaic panels, Cooling of panels, Zenith angle, Electrical efficiency

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya'da ve ülkemizde artan nüfus, büyüyen sanayi tesisleri ve gelişen teknoloji ile birlikte toplumların enerjiye duyduğu ihtiyaçlar giderek artmaktadır. Bu ihtiyaçları karşılamak için yeni enerji tesisleri kurmak çözüm gibi görünse de fosil yakıtlı santraller uzun vadede çözüm olmaktan hergeçen gün çıkması gerektiği düşünülmektedir. Dünyada kurulu olan enerji santrallerinin % 85'inde fosil bazlı yakıtlar kullanılmaktadır [1]. Bu fosil bazlı yakıt kaynaklarına örnek olarak petrol, taş kömürü, linyit, doğalgaz, uranyum gibi doğada sınırlı miktarlarda bulunan ve yakın gelecekte tükenen kaynaklar verilebilir. Bu sebeple alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim her geçen gerekmektedir.

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: alozkan@erbakan.edu.tr / Tel: +90 332 325 2024

Güneş enerji santrallerinin ülkemizde önemi gün geçtikçe artmaktadır. Örneğin, Kayseri ve Balıkesir'de 50 MW ve 40 MW santraller, Türkiye'nin en büyük güneş enerjisi alanıdır [2]. Bunlarla birlikte devlet desteği ile yatırımlar artmakta ve son yıllarda yeni güneş enerjisi tarlaları kurulmaktadır. 2014 yılında 93 MW olan kurulu güneş enerji santralleri 2018 yılında 4590 MW'a yükselmiştir [3]. Ülkemizde 2023 yılına kadar enerji tüketimi % 75 oranında artması öngörülen talebi karşılamak için yeni santraller kurmayı hedeflemektedir. Kurulması hedeflenen santrallerle beraber 2023 yılına kadar toplam güneş enerji santrali kurulu gücü 5000 MW'dır. Konya Karapınar ilçesine devlet teşviği ile 3000 MW'lık dünyanın en büyük güneş enerji santrali kurulması hedeflenmiştir. Santralin yapımı yaklaşık 6 milyar dolar olması beklenmektedir [4]. Artan kurulum maliyetleri santrallerin amorti sürelerini uzatmaktadır. Kurulu santrallerden birim zamanda alınan enerji miktarını artırarak bu amorti sürelerini kısaltmak mümkündür. Farklı metotlarla sağlanan bu artışlar, uygulanan yöntemde ekonomik giderleri değerlendirilerek uygulanmalıdır. Daha sonra detaylı ekonomik analizler yapılarak alınan sonuçlara göre en uygun yöntem belirlenmelidir.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

Güneş enerjisi santrallerinde kullanılan fotovoltaik panellerin verimini gölgeleme, tozlanma, yansıma, spektrum, ışınım, sıcaklık gibi farklı parametreler belirlemektedir. Panellerin verimini artırmak için ise literatürde panel temizliği, güneş takip sistemleri, panel sıcaklığını düşürme gibi bazı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden elektrik üretimi üzerinde etkisi fazla olan iki parametre yaygın olarak kullanılmıştır. Bu parametreler panel sıcaklığını düşürme ve güneş takip sistemleridir.

Kumar ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada, panel sıcaklığındaki 1°C'lik artışın panel verimini % 0,5 düşürdüğünü gözlemlemişlerdir [5]. Krauter panel ön yüzeyinde yaptığı soğutma işlemiyle panel sıcaklığını 60 °C'den 22 °C'ye düşürmüştür. Sıcaklıktaki 38 °C düşüşe rağmen panel verimliliği % 8-9 oranında artmıştır [6]. Su soğutmalı bir kapsül içerisine yerleştirilen panellerle çalışan Mohan ve arkadaşları verim artışını % 9 olarak tespit etmişlerdir [7]. Aktif su soğutma sistemiyle soğutulmuş paneller kullanılarak yapılan çalışmada ise Mohammed ve arkadaşları % 12'lik bir verim artışı gözlemlemişlerdir [8]. Fotovoltaik ve termal olarak hibrit bir sistem kullanılarak yapılan araştırmada Chao sıcaklığın % 35 düştüğünü, çıkış gücünün ise % 12,7 arttığını gözlemlemiştir, ancak bu sistemin kurulum maliyeti yüksek olduğu için çok tercih edilmemektedir [9]. Yağmur suyu ile yapılan bir pasif soğutma tekniğinde elektriksel verimin % 8,3 arttığı Shenyi ve Chenguang tarafından ispatlanmıştır [10].

Güneş takip sistemleri genel olarak panel verimini artırmakta kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde en büyük problem, sistemin elektronik temelli olması nedeniyle arıza verme ihtimalini arttırmaktadır. Sistem üzerinde arızalı paneller, bağlı olduğu grupların çıkış akım ve gerilimlerini düşürmekte ve kayıplara neden olmaktadır. Lorenzo ve arkadaşları yaptığı çalışmada azimut açısı takip eden sistemleri yatay açı takibi yapan sistemlere göre % 10 oranında verimli olduğu tespit edilmiştir [11]. Al-Mohammed yaptığı çalışmada tek eksenli güneş takip sistemi ile sabit paneli karşılaştırmış ve % 20 verim artışı gözlemlemiştir [12]. Benzer bir çalışmada araştırmacılar 2 sensörlü bir sistemi 30 gün boyunca takip etmişlerdir. Bu süre içinde sistem 15 gün güneşli 9 gün parçalı bulutlu ve 6 gün ise bulutlu olarak kayıt almışlar ve günlük ortalama % 12-20 arasında verimin değiştiğini gözlemlemişlerdir [13]. Yılmaz ise yaptığı bir çalışmada Türkiye şartlarına göre iki eksenli bir güneş takip sistemi hazırlamıştır. Yapılan gözlemlere göre sabit paneller hareketli panellere oranla % 26 daha fazla enerji ürettiğini tespit etmiştir [14]. 3 ışık sensörü ile Brezilya'da yapılan bir çalışmada Carvalho ve arkadaşları % 34 -56 oranında bir çıkış gücü artışı izlemişlerdir [15]. Çift eksenli bir güneş takip sisteminde 4 adet fotosensör kullanılmıştır. Fotosensör balans sistemi denilen bu yöntemde doğu-batı ve kuzey-güney yönlerine bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Gün batarken panel batıya dönük kaldığı için sabah gün doğumunda ışığı alıp doğuya dönmesi için doğu yönüne bakan 2 adet daha fotosensör kullanılarak problem çözülmüş ve % 20-28 oranında verim elde edilmiştir [16]. Çin'de yapılan bir araştırmada ise Yao ve arkadaşları, sensör kullanmak yerine güneş açılarını önceden hesaplayarak sisteme girmiş ve otomatik olarak takip etmişler ve her 10 dakikalık periyotlarla veri kaydı yapılarak izlenen sistemde % 31,8 fazla enerji üretildiğini tespit edildiğini belirtmişlerdir [17]. Konya'da yapılan bir diğer çalışmada ise Yağcı yaptığı çift eksenli mikro işlemcili güneş takip sisteminde sabit panele göre % 25 daha fazla çıkış gücü elde etmiştir [18].

Yapılan çalışmada, temel olarak bir soğutucu radyator üzerinde soğutulan suyun panel arka yüzeyindeki alüminyum kanallı soğutucu içinden geçmesine dayanan bir sistem kurulmuştur. Bölgenin enlem derecesine bağlı olarak panelin yatayla yaptığı açının mevsimlik 15o arttırılması ve eksiltilmesi esasına dayanan ikinci bir sistemin birlikte ve ayrı ayrı kullanılarak verimlilik üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Kurulan deneysel sistem Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi Meram Tıp Fakültesi Hastanesi (37°52 N 32°25 E) çatısında açık havada test edildi. Konya kuzey yarım kürede bulunmaktadır. Bu yüzden sabit paneller Konya'nın enlem derecesi olan 38° açıyla güney yönüne ayarlanmıştır. Mevsimlik değişim gösteren paneller ise 53° ve 23° açı ile güneye bakar şekilde ayarlanmıştır.

Kullanılan soğutma sistemi sadece iki paneli kapsamaktadır. Soğutma sistemi olan bir panelde mevsimlik açı ayarı bulunmakta diğerinde ise sadece soğutma sistemi bulunmaktadır. Fan ile radyatörde soğutulan su bir pompa vasıtasıyla panellerin üst kısmında bulunan kanallardan panelin arka yüzeyini soğutarak panelin alt kısmından çıkmaktadır. Isınan su tekrar radyatöre girilerek soğutulmuştur. Panel arka yüzeyinde bulunan ince soğutucu kanallar panellerle tam temas ederek ısı transferini gerçekleştirilmiştir. Mevsimlik açı ayarı yapılan paneller ve soğutulan panellerin çıkışlarına bağlanan bir adet DC Wattmetre ile günlük üretilen enerjiler ölçülmüş ve not edilmiştir.

Şekil 1 de kurduğumuz sistemin önden görünüşü, Şekil 2 de ise sistemin arkadan görünüşü verilmiştir.



Şekil 1. Kurulan sistemin önden görünüşü
(Figure 1. Front view of the installed system)

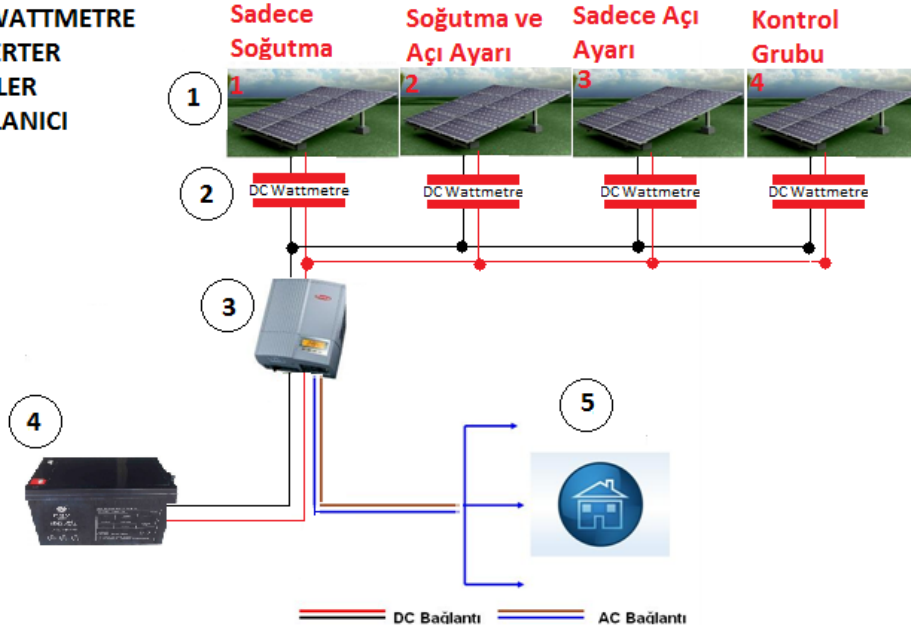


Şekil 2. Kurulan sistemin arkadan görünüşü
(Figure 2. Rear view of the installed system)

1 numaralı panelde sadece soğutma yapıp sabit 38°'lik açı ile konumlanmıştır. 2 numaralı panel ise su soğutmalı ve mevsimlik açı ayarı ile kış mevsiminde 53°, yaz mevsiminde ise 23°'lik açı ile konumlanmıştır. 3 numaralı panel su soğutma olmaksızın sadece mevsimlik açı değerleri olan 53° ve 23°'lik açı ile konumlandırılmıştır. Son olarak 4 numaralı panel ise kontrol grubu olarak belirlenmiş ve soğutma yapılmayıp 38°'lik sabit açıyla konumlanmıştır.

Şekil 3 de kurulan sistemin genel elektriksel şeması verilmiştir.

- 1) GÜNEŞ PANELİ
- 2) DC WATTMETRE
- 3) İNVERTER
- 4) AKÜLER
- 5) KULLANICI



Şekil 3. Kurulan sistemin genel şeması
(Figure 3. General scheme of the installed system)

Çalışmada 165 W'lık 4 adet panel kullanılmıştır. Kullanılan panelin özellikleri Çizelge 1 de verilmiştir.

Çizelge 1. 165 W polikristal fotovoltaik panel özellikleri
(Table 1. Features of 165W polycrystalline photovoltaic panels)

Nominal Güç (Pmax)	165 W
Açık Devre Gerilimi (VOC)	21,8 V
Kısa Devre Akımı (ISC)	8,71 A
Nominal Güç Voltajı (Vmp)	18,4 V
Nominal Güç Cari (Imp)	8,17 A
Hücre Sayısı	36 (156*156)
Boyut (mm)	1488x675x35
Ağırlık (kg)	13
Maksimum Sistem Gerilimi	1000 V DC
Maksimum Seri Fuse Rating	15 A
Operasyon Sıcaklığı	-40 °C : +85 °C
Ön Kapak	4,0 mm düşük demir temperli cam
Çerçeve	Anodize alüminyum alaşım
Bağlantı Kutusu	IP67, 6 diyot
Konnektör	MC4 veya MC4 uyumlu
Nominal Güç (Pmax)	165 W

Çizelge 1 de verilen veriler 1000 W/m² ve 25 °C ortam şartlarına göre verilmiştir. Panel çıkışlarında 4 adet DC Wattmetre ile panellerin çıkış akım, gerilim ve güç değerleri ölçülmüştür. Panel sıcaklıkları panelin ön yüzünden lazer ölçüm aletleri ile bir kaç farklı bölgeden ölçülerek ortalama değerler alınmıştır.

Sistemde kullanılan 150 Ah'lık 2 adet solar akü ile panellerde gündüz üretilen enerji depolanmış ve gece kullanılmıştır. Dış ortamda kullanılacak olan akünün şarj süresince çalışma sıcaklığı 0 °C - 40 °C'dir. Deşarj anında ise -20 °C ile +50 °C aralığında tam kapasite ile çalışmaktadır.

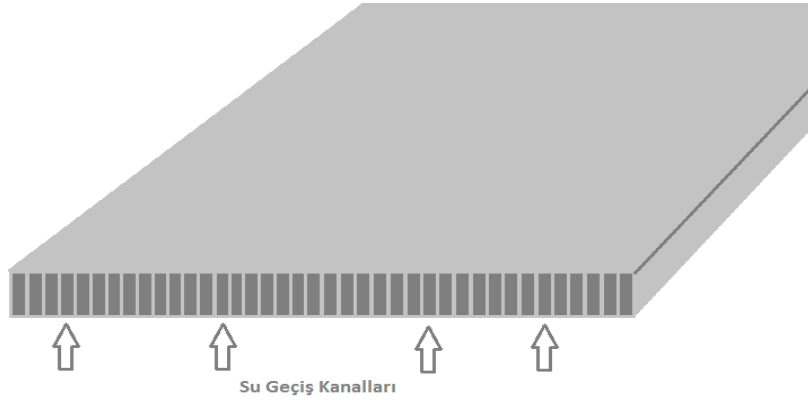
Sistem için 2500 W gücünde 24 V DC giriş gerilimli tam sinüs inverter kullanılmıştır. Kullanılan inverter hem akü şarj redresörü hem de alternatif akım çıkışı olarak kullanılabilir. Kullanılan inverterin özellikleri Çizelge 2 de verilmiştir.

Çizelge 2. 2400 W tam sinüs inverter özellikleri

(Table 2. 2400W full sine inverter specifications)

Güç	Tam Sinüs 230 V AC Nominal +-3% 3000 VA
Şebeke veya Jeneratör Giriş Voltaj	90-280 V AC 50/60 Hz (otomatik algılama) - Ayarlanabilir çıkış voltajı
Ayarlanabilir Akü Şarj Gücü	24 V, 50 A (max.)
PWM Charger (Şarj Regülatörü)	50 A, 24 V DC
Giriş gücü	1600 W Güneş Paneli ve 220 V Şebeke ve Jeneratör girişi
Koruma	Aşırı sıcaklık, Aşırı yük, Kısa devre
Verimlilik	0,98
Kaynaklar Arası Tranfer Süresi	20 milisaniye altında
Beklemede Güç Tüketimi	4 W

İki adet paneli soğutmak için kullanılan sistemde panel arka yüzeylerine monte edilen alüminyum soğutucu Şekil 4 te gösterilmiştir. Kullanılan soğutucu petek panel yüzeyine tam temas edecek şekilde termal macun ile birbirine yapıştırılmıştır. Tam temas eden yüzeyler panel yüzeyindeki ısıyı kanallar içinden suya ileterek panel ısısını düşürecek şekilde ayarlanmıştır. Kullanılan soğutucu peteğin iç yüzeyi Şekil 4 te gösterilmiştir.

**Şekil 4.** Alüminyum soğutucu petek iç yüzeyi (Figure 4. Aluminum cooler honeycomb inner surface)

Panellerde bulunan soğutucularda ısınan su bir motor vasıtasıyla radyatöre getirilmektedir. Radyatörde fan ile soğutulan su tekrar panel arka yüzeyindeki peteklere gönderilerek paneli soğutmaya devam etmektedir. Suyun sistemdeki akış diyagramı fotoğraf üzerinde Şekil 5 te gösterilmiştir.

**Şekil 5.** Su soğutma sisteminde suyun akış yönü (Figure 5. Water flow direction in water cooling system)

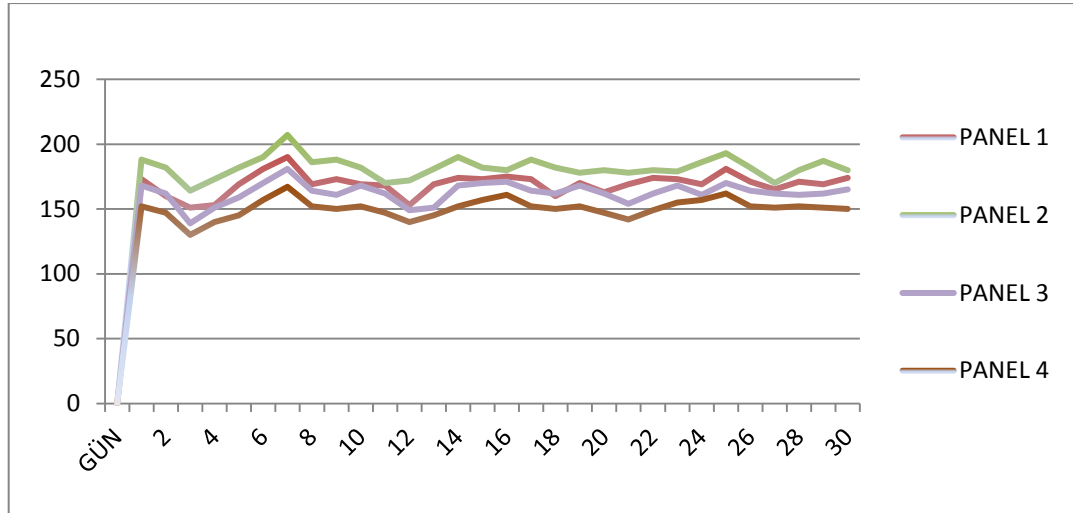
3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Yapılan ölçümler ve gözlemler sonucunda 30 gün boyunca panellerin ürettikleri enerji miktarı Watt-saat (Wh) olarak kaydedilmiştir. Öğlen saatinde bir saat boyunca üretilen enerji Wattmetrelerden ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Güneşli günlerde yapılan ölçümlerle panellerden elde edilebilecek maksimum enerji ve buna bağlı maksimum verimler elde edilmeye çalışılmıştır. Her güç ölçümü yapıldığında aynı zamanda panel sıcaklıkları da ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümü panelin rasgele 3 farklı bölgesinden alınarak ortalama sıcaklık değeri hesaplanmıştır. Çizelge 3 te panellerde üretilen saatlik enerji miktarları verilmiştir. Çizelge 3 te verilen değerlerin grafiksel görüntüsü Şekil 6 da gösterilmiştir.

Çizelge 3. 30 günlük 4 panelin saatlik Wh olarak üretim verileri

(Table 3. Production data of 4- panels for 30-hours in Wh)

Gün	Panel-1	Panel-2	Panel-3	Panel-4	Gün	Panel-1	Panel-2	Panel-3	Panel-4
1	173	188	168	152	16	175	180	171	161
2	160	182	162	147	17	173	188	164	152
3	151	164	139	130	18	160	182	162	150
4	153	173	151	140	19	170	178	168	152
5	169	182	159	145	20	163	180	162	147
6	181	190	170	157	21	169	178	154	142
7	190	207	181	167	22	174	180	162	149
8	169	186	164	152	23	173	179	168	155
9	173	188	161	150	24	169	186	161	157
10	169	182	168	152	25	181	193	170	162
11	168	170	162	147	26	171	182	164	152
12	153	172	149	140	27	165	170	162	151
13	169	181	151	145	28	171	180	161	152
14	174	190	168	152	29	169	187	162	147
15	173	182	170	157	30	174	190	165	150



Şekil 6. 4 panelin 30 günlük üretim verileri

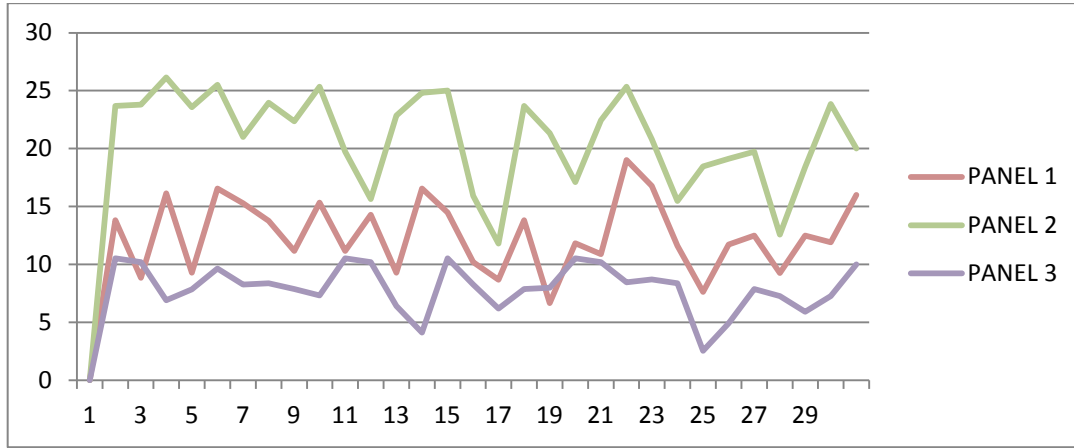
(Figure 6. Production data of 4- panels for 30-hours)

Şekil 6 da görüldüğü üzere soğutma ve açılı ayarı yapılan Panel 2 en fazla enerjiyi üretmiş, sadece soğutma yapılan Panel 1, yalnız açılı ayarı yapılmış Panel 3 ve son olarak kontrol grubu en az enerjiyi üretmiştir. Grafikteki dalgalanmalar günlük bulutluluk ve ışınım farklarından dolayı oluşmuştur.

Panellerin ürettikleri enerjiler 30 gün boyunca kaydedilerek kontrol grubunun ürettiği enerjiyle oranlanmıştır. Yapılan ölçümlere ait veriler Çizelge 4 te gösterilmiştir. Çizelge 4 te verilen değerlerin grafiksel görüntüsü Şekil 7 de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 30 günlük 4 panelin kontrol grubuna oranda % üretim artışı
(Table 4. Production boost percentage of 4 panels for the 30-day panel with respect to control group)

Gün	Panel 1	Panel 2	Panel 3	Panel 4	Gün	Panel 1	Panel 2	Panel 3	Panel 4
1	12,14	19,15	9,52	Kontrol Grubu	16	8,00	10,56	5,85	Kontrol Grubu
2	8,13	19,23	9,26	Kontrol Grubu	17	12,14	19,15	7,32	Kontrol Grubu
3	13,91	20,73	6,47	Kontrol Grubu	18	6,25	17,58	7,41	Kontrol Grubu
4	8,50	19,08	7,28	Kontrol Grubu	19	10,59	14,61	9,52	Kontrol Grubu
5	14,20	20,33	8,81	Kontrol Grubu	20	9,82	18,33	9,26	Kontrol Grubu
6	13,26	17,37	7,65	Kontrol Grubu	21	15,98	20,22	7,79	Kontrol Grubu
7	12,11	19,32	7,73	Kontrol Grubu	22	14,37	17,22	8,02	Kontrol Grubu
8	10,06	18,28	7,32	Kontrol Grubu	23	10,40	13,41	7,74	Kontrol Grubu
9	13,29	20,21	6,83	Kontrol Grubu	24	7,10	15,59	2,48	Kontrol Grubu
10	10,06	16,48	9,52	Kontrol Grubu	25	10,50	16,06	4,71	Kontrol Grubu
11	12,50	13,53	9,26	Kontrol Grubu	26	11,11	16,48	7,32	Kontrol Grubu
12	8,50	18,60	6,04	Kontrol Grubu	27	8,48	11,18	6,79	Kontrol Grubu
13	14,20	19,89	3,97	Kontrol Grubu	28	11,11	15,56	5,59	Kontrol Grubu
14	12,64	20,00	9,52	Kontrol Grubu	29	13,02	21,39	9,26	Kontrol Grubu
15	9,25	13,74	7,65	Kontrol Grubu	30	13,79	21,05	9,09	Kontrol Grubu



Şekil 7. Panel verimlerinin kontrol grubu üretim verilerine oranları
(Figure 7. Ratio of panel efficiencies to control group production data)

Şekil 7 deki grafikte Panel 1, 2 ve 3'ün kontrol grubunun ürettiği enerjiye oranla ne kadar daha fazla enerji ürettiklerinin yüzde olarak grafiğini göstermektedir. Grafikte bulunan dalgalanmaların genel sebebi ise ölçüm yapılan günlerdeki ışınım ve bulutluluk oranının farklı olmasıdır.

Çizelge 5 te 4 adet panelin kaydedilmiş sıcaklık değerleri verilmiştir.

Çizelge 5. Soğutulan ve soğutulmayan panellerdeki sıcaklık ve sıcaklık farkları (°C)
(Table 5. Temperature and temperature differences in refrigerated and non-cooled panels, °C)

Gün	Panel 1	Panel 2	Panel 3	Panel 4	Düşürülen Sıcaklık	Gün	Panel 1	Panel 2	Panel 3	Panel 4	Düşürülen Sıcaklık
1	20,89	20,89	33,6	33,6	12,71	16	20	20	34,2	34,2	14,2
2	20,22	20,22	32,4	32,4	12,18	17	20,89	20,89	32,8	32,8	11,91
3	18,22	18,22	27,8	27,8	9,58	18	20,22	20,22	32,4	32,4	12,18
4	19,22	19,22	30,2	30,2	10,98	19	19,78	19,78	33,6	33,6	13,82
5	20,22	20,22	31,8	31,8	11,58	20	20	20	32,4	32,4	12,4
6	21,11	21,11	34	34	12,89	21	19,78	19,78	30,8	30,8	11,02
7	23	23	36,2	36,2	13,2	22	20	20	32,4	32,4	12,4
8	20,67	20,67	32,8	32,8	12,13	23	19,89	19,89	33,6	33,6	13,71
9	20,89	20,89	32,2	32,2	11,31	24	20,67	20,67	32,2	32,2	11,53
10	20,22	20,22	33,6	33,6	13,38	25	21,44	21,44	34	34	12,56
11	18,89	18,89	32,4	32,4	13,51	26	20,22	20,22	32,8	32,8	12,58
12	19,11	19,11	29,8	29,8	10,69	27	18,89	18,89	32,4	32,4	13,51
13	20,11	20,11	30,2	30,2	10,09	28	20	20	32,2	32,2	12,2
14	21,11	21,11	33,6	33,6	12,49	29	20,78	20,78	32,4	32,4	11,62
15	20,22	20,22	34	34	13,78	30	20	20	33	33	13

Çizelge 5 ten görüleceği gibi soğutma yapılan panel 1 ve 2, soğutma yapılmayan panel 3 ve 4 e oranla yaklaşık 10 ile 14 °C daha soğuk olduğu tespit edilmiştir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Yapılan çalışmada, zenit açısının tek başına % 7,49 sıcaklığın ise % 11,17 oranında çıkış gücüne etkisi olduğu görülmüştür. Panel üzerinde yapılan soğutma işlemi ile beraber yapılan zenit açısı ayarı çıkış gücünü % 17,47 oranında arttırmıştır. Fotovoltaik panellerde verimliliği etkileyen iki önemli faktör olan soğutma ve zenit açısı ayarı birlikte uygulandığında, panel verimlerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Fotovoltaik panellere bazı çalışmalar yapılarak çıkış güçleri önemli seviyelerde arttığı görülmektedir. Fakat yapılan bu çalışmaların her biri kurulum maliyetlerini yükseltmektedir. Prototip olarak yapılan bu çalışmada kurulum maliyetleri toplu bir üretime göre daha yüksektir. Büyük güçlerde kurulacak bir santral için yapılacak soğutma ve mevsimlik açısı ayarı maliyeti daha düşük olacak olup artan üretimle amorti süresi kısalarak karlılığı yeniden artıracaktır. Şehir yakınlarında kurulu olan santrallerin soğutulması için gereken soğuk su, şebeke suyundan alınarak santraldeki soğutma peteklerinden geçirilerek sistem soğutulabilir ve verimlilik artırılabilir. Bu sayede su sirkülasyonu ve ısınan suyun soğutulması için gerekli olan enerji tüketimi problemi ortadan kalkarak verimlilik artacaktır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Dr.Öğr. Üyesi Ali Osman ÖZKAN'ın danışmanlığında Halil Burak DEMİR'in Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında devam eden "Güneş Takip Sistemlerinde Panel Sıcaklığının Enerji Üretimine Etkisi" başlıklı Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir. Bu çalışma ayrıca Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 181319009 nolu yüksek lisans tez projesi ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Güner Bacanlı, Ü. Türkiye'de Enerji Kaynakları ve Hidroelektrik Santrallerinin Önemi, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Türkiye 10. Enerji Kongresi, 2006: 91–99
- [2] Enerji Atlası, Türkiye'de bulunan Güneş Enerji Santralleri, (2016),<http://www.Enerjiatlası.Com/Gunes/> (erişim 15 Aralık 2018)
- [3] Yeşil Ekonomi, Türkiye'de Güneş Enerjisi, (2018), <https://yesilekonomi.com/turkiyenin-gunes-enerjisi-kurulu-gucu-5-gwa-yaklasti/> (erişim 13 Aralık 2018)
- [4] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. 2015. MİLGES, MİLHES, MİLKANAT ve (YGDA) Sistemi Geliştirilmesi

- Projeleri, 7.5.2015.
- [5] K. Kumar, S.D. Sharma, L. Jain, R. Al Khaimah, Standalone Photovoltaic (PV) Module Outdoor Testing Facility For UAE Climate, *Submitted To CSEM-UAE Innovation Center LLC*; (2007).
- [6] S. Krauter, Increased Electrical Yield Via Water Flow Over The Front of Photovoltaic Panels. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 82(1-2) (2004) 131–137. Doi:10.1016/j.solmat.2004.01.011
- [7] M. Kolbe, D. Bin, E. Hu, Water Cooled Concentrated Photovoltaic System. *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, 2(2) (2013), 159–163. Doi: 10.12720/sgce.2.2.159-163
- [8] M.M. Musthafa, Enhancing The Photoelectric Conversion Efficiency of Solar Panel by Water Cooling, *Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications*, 5(4) (2015), 166. Doi: 10.4172/2090-4541.1000166
- [9] C.Y. Huang, H.C. Sung, K.L. Yen, Experimental Study of Photovoltaic/Thermal (PV/T) Hybrid System, *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, 2(2) (2013), 148–151. Doi: 10.12720/sgce.2.2.148-151
- [10] S. Wu, C. Xiong, Passive Cooling Technology for Photovoltaic Panels for Domestic Houses, *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 9(2) (2014), 118–126. Doi: 10.1093/ijlct/ctu013
- [11] E. Lorenzo, M. Perez, A. Epeleta, J. Acedo, Design of Tracking Photovoltaic Systems With A Single Vertical Axis, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 10(48) (2002) 533–543. Doi: 10.1002/pip.442
- [12] A. Al-Mohamad, Efficiency improvements of photo-voltaic panels using a Sun-tracking system, *Applied Energy*, 79(3) (2004) 345–354. Doi: 10.1016/j.apenergy.2003.12.004
- [13] G.C. Lazaroiu, M. Longo, M. Roscia, M. Pagano, Comparative Analysis of Fixed and Sun Tracking Low Power PV Systems Considering Energy Consumption, *Energy Conversion and Management*, 92 (2015) 143–148. doi:10.1016/j.enconman.2014.12.046
- [14] M. Yılmaz, İki Eksenli Güneş Takip Sistemlerinde Takip Verimliliğinin Arttırılması, *Batman University Journal of Life Sciences Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 7(1/2) (2017) 56-62.
- [15] D.R. Carvalho, A.F. Lacerda Filho, R.C. Resende, M.A. Possi, J.P. Kruckeberg, An Economical, Two Axes Solar Tracking System For Implementation In Brazil, *Applied Engineering in Agriculture*, 29(1) (2013) 123–128. doi: 10.13031/2013.42525
- [16] M. Serhan, L. El-Chaar, Two Axes Sun Tracking System: Comparison With A Fixed System, *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPPQ'10)*, Granada, Spain. 2010: s. 79–84. Doi: 10.24084/repqj08.227
- [17] Y. Yao, Y. Hu, S. Gao, G. Yang, J. Du, A Multipurpose Dual-Axis Solar Tracker With Two Tracking Strategies, *Renewable Energy*, 72 (2014) 88–98. Doi: 10.1016/j.renene.2014.07.002
- [18] M. Yağcı, Economical and Technical Challenges of a Large Scale Solar Plant, *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 5(2) (2017) 70–75. Doi: 10.18201/ijisae.2017529085