



OPTİMİZE EDİLMİŞ FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELLERİNİN SABİT VE MOBİL UYGULAMALARDA KULLANIMININ KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ

Ali KEÇEBAŞI^{1*}, Barış GÜREL², Bayram DEVLET³

¹Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Muğla, Türkiye

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

³Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Muğla, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Elektrikli Taşıt, PV Paneli, Yoğunlaştırıcı PV, Faz Değişken Malzeme, Elektriksel Verimlilik.</i>	Güç üretim verimi en yüksek fotovoltaik (PV) panelinin tespiti için yapılan bu çalışmada, 3 farklı özellikte optimize edilmiş PV panelin 3 ayrı durum kapsamında karşılaştırmalı testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında Normal (N-PV), FDM'li (FDM-PV) ve FDM'li-Yoğunlaştırıcı (FDM-YPV) olmak üzere kullanılan üç ayrı nitelikteki PV panelinin 4 gün boyunca saat 10:30'dan saat 16:30'a kadar birer saat arayla sırasıyla güneşe Sabit Açılı (SA), taşıt Park Durumu (PD) ve taşıtın Sürüş Durumu (SD) olmak üzere 3 farklı durum kapsamında elektriksel güç ölçümleri multimetre aracılığıyla yapılmıştır. Sonuç olarak sabit açılı FDM-YPV panelinin sabit açılı N-PV paneline göre elektriksel güç üretiminde %47 verim artışı elde ettiği görülmüştür. Elektrikli taşıt park durumundaki FDM-PV panelinde, taşıt park durumundaki N-PV paneline göre %22 daha fazla verim artışı gözlemlenmiştir. FDM-PV panelin taşıt sürüş durumunda ise taşıt sürüş durumundaki N-PV paneline göre %7 daha fazla verim artışı gözlemlenmiştir.

COMPARATIVE STUDY OF THE USAGE OF OPTIMIZED PHOTOVOLTAIC SOLAR PANELS IN FIXED AND MOBILE APPLICATIONS

Keywords	Abstract
<i>Electric Vehicle, PV Panel, Concentrated PV, Phase Change Material, Electrical Efficiency.</i>	In this study, which was conducted to determine the photovoltaic (PV) panel with the highest power generation efficiency, comparative tests of 3 different optimized PV panels were carried out in 3 different cases. Within the scope of the study, three different types of PV panels' used as Normal (N-PV), with PCM (PCM-PV) and with PCM-Concentrator (PCM-CPV) electrical power measurements were made by means of a multi-meter for 4 days, from 10:30 to 16:30 with one hour intervals under 3 different situations, namely, Fixed Angle (FA) to the sun, while Vehicle Parking State (PS) and while vehicle Driving State (DS). As a result, it was seen that fixed angle PCM-CPV panel achieved 47% efficiency increase in electrical power (P) production compared to fixed angle N-PV panel. A 22% more efficiency increase was observed in the PCM-PV panel in the electric vehicle park state compared to the N-PV panel in the vehicle park state. In the vehicle driving state of the PCM-PV panel, 7% more efficiency increase was observed compared to the N-PV panel in vehicle driving condition.

Alıntı / Cite

Keçebaş, A., Gürel, B., Devlet, B., (2021). Optimize Edilmiş Fotovoltaik Güneş Panellerinin Sabit Ve Mobil Uygulamalarda Kullanımının Karşılaştırmalı İncelenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(3), 983 – 991.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process
A. Keçebaş, 0000-0003-4809-2461	Başvuru Tarihi / Submission Date 06.11.2020
B. Gürel, 0000-0002-1780-2603	Revizyon Tarihi / Revision Date 26.07.2021
B. Devlet, 0000-0001-8180-6417	Kabul Tarihi / Accepted Date 26.07.2021
	Yayın Tarihi / Published Date 21.09.2021

* İlgili yazar / Corresponding author: alikecebas@mu.edu.tr, +90-252-211-5471

1. Giriş (Introduction)

Yerkürede enerjiye gereksinim hızının, nüfus ve ekonomik büyüme hızıyla doğrusal bir bağı vardır. Alternatif enerji kaynaklarına olan ilginin artmasındaki ana nedenler; fosil temelli kaynak rezervlerinin gün geçtikçe azalması ve küresel ısınma sebepli sorunların artış göstermesidir. Türkiye'nin fosil kaynaklarda dışa bağımlılığını minimize etme potansiyeline sahip alternatif enerji kaynağı, güneştir. Bundan dolayı Türkiye'nin güneş enerjisi ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmesi zorunluluktur (Kaşkaş, 2010). Güneş enerjisi sera etkisi benzeri çevreyi kirletici gazlar yaymayan, hammadde maliyeti sıfır olan, montajı kolay olan sınırsız bir alternatif enerji kaynağıdır. Ayrıca Türkiye'nin coğrafik pozisyonu nedeniyle, güneş enerjisinin kullanım kapasitesi açısından çoğu ülkeye göre artıları mevcuttur (Cebeci, 2017).

Bugünlerde fosil bazlı yakıt maliyetinin sürekli artması ve zorunlu salınım regülasyonları nedeniyle içten yanmalı motorlu taşıt üreticileri, çevreci elektrikli taşıtların üretimine yönelmeye başlamıştır (Serin, 2011). Öbür taraftan şarj istasyonlarına monte edilmiş güneş panellerinden şarj edilebilen elektrikli taşıtların kullanımına ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Türkiye ve dünya çapında fotovoltaik (PV) panelli taşıt yarışmaları, bünyesinde güneş panellerinden park ve sürüş halinde şarj olabilen taşıtların yaygınlaşmasına katkıda bulunmaktadır. Bu olgular, PV panellerinin elektrik üretim verimliliğini yükseltme çabalarının da itici gücünü oluşturmaktadır (Gören, 2014).

2. Kaynak Araştırması(Literature Survey)

Turmuş (2018) yapılan çalışmada, montajını yaptığı YPV panelinin oluşturduğu parçaları açıklayarak PV üzerine doğrudan ve yansiyarak gelen güneş radyasyonunun etkisini karşılaştırmıştır. Daha sonra güneş takip sistemli ve güneşe sabit açılı YPV'lerin karşılaştırmalı verimlilik analizini yapmıştır. Kapsalis vd. (2016) yapılan çalışmada, ısı transferi konusunda FDM bazlı ilerlemeleri sıralayarak güneş kaynağı bazlı ısı enerjisinin depolanmasında FDM çözümünden yararlanmışlardır. Günaydın (2018) yapılan çalışmada, 3 adet farklı özellikte PV paneli test edilmiştir. Aynı şartlar altında birinci panelde konsantratör, ikinci PV panelinin arkasına ısı transferi için parafin bazlı FDM malzemesi ve üçüncü PV panelinin arkasına da parafine %5 oranında Alüminyum Oksit nanotoz katkılanarak eklenmiştir. Eşit şartlarda 3 PV panelinin ısı ve elektriksel performansı analiz edilmiştir. Yüksel (2016) yapılan çalışmada, PV panel elektrik verimini değişen ve sabit güneş ışınımı altında ölçmek için PV panelinin arkasına değişik ölçülerde FDM hazneleri eklenerek panellerin verimliliği FDM'li ve FDM'siz olarak ölçülmüştür. PV panellerinde m²'den 9 Watt'lık güç artışı elde edilmiştir. Ayrıca FDM haznesine ek olarak ısı transferini arttırmak amacıyla PV panelin arka yüzeyine kanat yapısı monte edilerek panel verimine etkisi incelenmiştir ve düşük güneş ışınımında, kanat yapısı kullanımının önemli bir katkı sağlamadığı görülmüştür. Karaipekli (2006) yapılan çalışmada, ısı iletkenliğini yükseltmek amacıyla genişletilmiş grafit ve karbon fiberin parafin ve stearik asit bazlı FDM'lerin içerisine farklı yüzdelerde katkılanmıştır. Termal iletkenliği ölçülen karışımların içine genişletilmiş grafit ve karbon fiber ilavesinin, yüzde oranıyla termal iletkenlik artışı arasında doğrusal bir bağı olduğunu sonucuna varılmıştır. Daneshazarian vd. (2018) YPV panelinin normal panellere kıyasla yüksek miktarda ısı kazanç sunduğu ve elektrik ürettiğini yaptıkları analizlerle gözlemlemişlerdir. Çalışmalarında farklı ölçülü konsantratörlü panellerin performanslarını, elektriksel ve ısı kapasitelerini, teoride ve gerçek hayatta karşılaştırmışlardır. Jesumathy vd. (2012) yapılan deneysel çalışmada, parafin bazlı FDM içerisine ısı iletkenliğini yükseltmek için farklı yüzdelerde bakır oksit nanotoz eklemişlerdir. Varılan neticeye göre, bakır oksit eklenmiş olan parafinin saf parafinle karşılaştırıldığında erime ve katılma süresinde azalma ve ayrıca ısı iletkenliğinde de artış olduğu yönündedir. Jakhar vd. (2016) YPV panellerin konvansiyonel N-PV panellere göre %40 daha verimli olduğunu yaptıkları çalışmalarla göstermişlerdir. Ancak YPV panellerindeki sıcaklık artışının ilgili panellerin verimliliğini ve panel ömrünü azalttığı sonucuna varmışlardır. Soğutma çözümüyle panellerdeki ilgili sorunun çözülebileceğini ifade ederek YPV panellerindeki olası soğutma çözümlerini üzerinde çalışmışlardır. Yang vd. (2018) düşük YPV düzeneği üreterek yansıtıcı aynalardan oluşan konsantratörün PV paneli üzerine düşen güneş ışınım miktarının artırılmasını sağlamışlardır. YPV panelinin N-PV paneline göre güneş ışınımını 5-6 kat oranında maksimize ettiğini gözlemlemişlerdir. Ulaşılan sonuçlara göre YPV panelinin elektrik üretim verimliliğinde %59 oranında artış olduğunu belirtmişlerdir. Llorente vd. (2011) yapılan çalışma ile verimli, minimum yer tutan ve minimum malzeme maliyetli iki aynadan meydana gelen YPV düzeneğini imal ederek 2,5 kW elektriksel güç üretmişlerdir. Lin ve Al-Kayiem (2016) yapılan çalışmada 20 nanometre boyutundaki bakır nanotozları parafin içine katkılanmışlardır. Hazırladıkları 5 farklı numunede, ilgili nanotozun, parafinin fazını değiştirerek ısı transferi yaptığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca nanotoz katkısının verimlilikte %1,7'lik artış sağladığını bulmuşlardır. Parafin ve nanopartikül olarak bakır kullanıldığında termal niteliklerin artacağını gözlemlemişlerdir. Şen (2017) tarafından yapılan çalışmada, PV panellerinin üzerine düşen güneş ışınımını maksimize edilerek, daha fazla elektrik enerjisi üretmek hedeflenmiştir. 4 katmanlı konsantratör imal edilerek her katman için PV panelinde farklı verim sonucuna ulaşılmıştır. Ancak güneş ışınım miktarı maksimize edildiğinde PV panelinin sıcaklığını da aynı doğrultuda yükselterek ilgili panel veriminde azalmayı netice verdiğini tespit etmiştir. Wu vd. (2010) parafinin ısı iletim katsayısını iyileştirmek için bakır,

alüminyum ve karbon/bakır melez nanotozlar kullanarak farklı özelliklere sahip FDM malzemesi hazırlamışlardır. Isı transferi için en iyi performans gösteren çözümün, bakır nanotozu olduğu sonucuna varmışlardır. Bolat (2016) yapılan tez çalışmasında, yoğunlaştırıcı ve yoğunlaştırıcısız iki farklı PV paneli test edilmiştir. Bu PV panellerden birine parafin ekleyerek panelin soğutulması amaçlanmıştır. Parafinli PV panelinin verimi %7 iken parafinsiz panelinin ise %10 olduğu görülmüştür. Eyiç (2018) yapılan çalışmada sırasıyla herhangi FDM malzemesi kullanılmayan, sadece parafin kullanılan ve nanotozkatkılılandırılmış parafinli olmak üzere üç farklı PV panel kullanmıştır. Nanotozkatkılılandırılmış parafin karışımı PV panelinde, elektriksek ve termal verimliliğin daha yüksek olduğu sonucuna varmıştır.

Literatür çalışması sonucunda, farklı özelliklere sahip konsantratörlü ve farklı özelliklerdeki FDM'li güneş panellerinin testlerinin yapıldığı sonucuna varılmıştır. Fakat ilgili özellikteki güneş panellerinin elektrikli taşıt üzerinde park halinde ve sürüş halinde analiz edilmesine yönelik yapılan herhangi bir çalışmaya rast gelinmemiştir. Literatürdeki bu eksikliği dikkate alarak, bu çalışmada termal iletkenliği yüksek bakır partikül eklenmiş parafin bazlı FDM malzemeli ve konsantratör destekli PV sistemleri imal edilerek güneşe sabit açılı ve taşıt üzerinde park ve sürüş durumlarında kullanımı test edilerek verimliliği karşılaştırmalı analiz edildikten sonra literatüre kazandırılmıştır.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Bu çalışmayla, enerji sektöründe PV güneş paneli bazlı yatırımların ve ulaşım sektöründe ise bünyesinde PV panel destekli elektrikli taşıtların yaygınlaşmasına katkıda bulunacağı öngörülmektedir. Elektriksel güç üretim verimliliği en yüksek PV panelinin tespiti amacıyla yapılan bu çalışmada eşdeğer nominal güçte ve farklı özelliklerde 3 adet PV paneli kullanılmıştır. Testler kapsamında sırasıyla referans olması amacıyla üzerinde herhangi bir modifikasyon işlemi uygulanmamış Normal PV (N-PV) paneli, %20 bakır tozu katkılılandırılmış 100 gr parafin bazlı FDM malzemesi eklenmiş FDM'li PV (FDM-PV) paneli ve son olarak ta ortasında bulunan PV paneline güneş radyasyonunu 2 kat yoğunlaştırabilen yansıtıcı levhalar monte edilmiş ve aynı zamanda FDM-PV panelinin arkasına eklenmiş aynı özellikteki FDM malzemesi eklenmiş FDM'li-Yoğunlaştırıcı PV (FDM-YPV) paneli kullanılmıştır. Deneylede Mobilsolar markalı polikristal yapıları 10 Watt nominal gücünde, açık devre voltajı (Voc) 21,6 V, optimum çalışma voltajı (Vmp) 17 V, kısa devre akımı (Isc) 0,68 A ve optimum çalışma akımı (Imp) 0,58 A olan güneş panelleri kullanılmıştır. Deneylede kapsamında, ilgili PV panelleri güneşe Sabit Açılı (SA), taşıt bünyesinde Park Durumu (PD) ve taşıt bünyesinde Sürüş Durumu (SD) olmak üzere 3 adet senaryo kapsamında, 30 Ekim ile 2 Kasım 2019 arasında 4 gün boyunca sabah saat 10:30'dan akşam saat 16:30'a kadar birer saat arayla ilgili testleri gerçekleştirilmiştir. İlgili tarih ve saatlerdeki anlık güneş ışınım miktarı Tablo 1'de verilmiştir. Optimize edilmiş üç panel, sabit açıda ve mobil kullanımda anlık güçlerinin ölçülmesi amacıyla multimetre cihazına bağlanmıştır. Ölçümler için Uni-t Ut 89XD marka dijital multimetre kullanılmıştır. Doğru akım voltaj aralığı 600 mV-1000 Volt'tur ve doğru akım aralığı ise 60µA-20 Amper'dir.

Tablo 1. Ölçüm yapılan tarih ve saatlerdeki anlık güneş ışınım miktarı (Instant solar radiation amount on the date and time of the measurement)

Saatler	30 Ekim	31 Ekim	1 Kasım	2 Kasım
	Anlık Işınım Miktarı (W/m ²)	Anlık Işınım Miktarı (W/m ²)	Anlık Işınım Miktarı (W/m ²)	Anlık Işınım Miktarı (W/m ²)
10:30	47,6	27,3	34,3	37,8
11:30	54,5	32,9	29,4	48
12:30	29,4	40,6	49,1	102,4
13:30	158,9	105,7	149,8	80,5
14:30	105,7	17,5	104,3	136,5
15:30	88	68,6	82,7	44,1
16:30	37,1	16,8	62,3	20,3

Böylece yapılan bu çalışmada, elektrik şebekesine bağlı (on-grid) veya şebekeye bağlı olmayan (off-grid) bireysel ve kurumsal güneş enerji yatırımları için geleneksel biçimde kurulacak güneşe sabit açılı ve elektrikli taşıtların şarj edilmesi amacıyla kullanılacak N-PV, FDM-PV ve FDM-YPV panellerinin elektriksel güç karşılaştırması incelenmiştir.

3.1. Matematiksel Model (Mathematical Model)

Güneş ışını, PV yarıiletken hücrelerine girerek Amper (I) olarak elektrik akımına ve Voltaj (V) olarak elektrik gerilimine dönüşmektedir (Sayın ve Ko, 2011).

$$P = V \times I \quad (1)$$

Eşitlik (1)'de; P, PV panelden üretilecek Watt (W) biriminde güç miktarını, V, PV panelin gerilim miktarını ve I, PV panelin akım (A) miktarını göstermektedir.

Görüldüğü üzere herhangi bir güneş panelinden elde edilebilecek maksimum elektrik gücün, maksimum gerilim ve akım sonucunda olacağı aşikârdır. Testlerde PV panellerin akımını ölçmek için multimetre, ampermetre modunda ilgili panellere seri olarak bağlanmışken gerilimini ölçmek için ise voltmetre modunda paralel olarak bağlanmıştır. Ölçülen akım ve gerilim miktarlarını Eşitlik (1)'de olduğu gibi birbirine çarparak, ilgili panelin elektriksel gücü Watt cinsinden tespit edilmiştir. 4 gün boyunca sabah saat 10:30'dan akşam saat 16:30'a kadar birer saat arayla 3 farklı özellikteki PV panelinin sırasıyla güneşe SA, taşıt PD ve taşıt SD olmak üzere 3 farklı senaryo kapsamında, Söke/Aydın iklim şartlarında elektriksel güç ölçümleri karşılaştırmalı olarak yapılmıştır. Multimetre ile ulaşılan sonuçlar, ilgili paneller arasında anlık güç açısından yüzdesel verim değerlendirmesi yapılması amacıyla genel ortalamaları hesaplanarak karşılaştırması yapılmıştır.

Sabit açıda kurulacak güneş panellerinin eğim açısı, ilgili panellerin kurulacağı yerin konumuna göre belirlenmektedir. Türkiye, kuzey yarım kürede yer aldığından güneş panelleri güneye bakacak şekilde kurulmaktadır. Enlem değeri yardımıyla, güneş panellerinin eğim açısı hesaplanabilmektedir. Türkiye'de sabit açılı güneş paneli kurulumlarında Eşitlik (2)'deki formül kullanılmaktadır.

$$\text{Panel Eğimi} = \text{Enlem Değeri} \times 0,87 + 3,1 \quad (2)$$

Deneyler Söke/Aydın şartlarında yapıldığı için Söke'nin enlem değeri 37,7 olup güneş panel eğimi= $37,7 \times 0,87 + 3,1=35,8$ 'dir. Dolayısıyla deneyler sırasında sabit açıdaki (SA) panellerin eğimi 36 derece olarak alınmıştır.

3.2. Önerilen Yöntem (Proposed Method)

Güneş panelinin akım ve gerilim miktarı ilgili panelinin üzerine düşen güneş ışınım miktarına ve panel sıcaklığına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Altaş, 1998). Bu durumda diğer değişkenler aynı kalmak şartıyla sıcaklık ve güneş ışınımın miktarına bağlı olarak, güneş panellerinden üretilen güçte de azalmalar veya artışlar meydana gelebilmektedir (Duman vd., 2014).

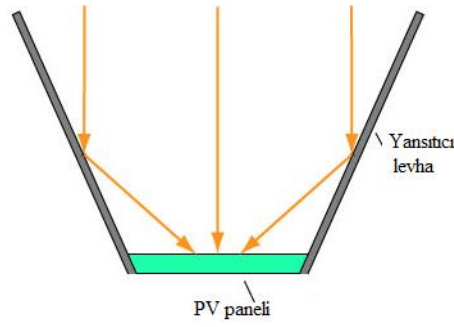
Birimi W/m^2 olan ışık miktarının artmasına bağlı olarak, standart PV panelinin ürettiği akımda da doğru orantılı bir şekilde artış olduğu ve panel geriliminde ise önemli bir değişikliğin olmadığı bildirilmiştir (Renaudineau vd., 2011; Chen ve Ming, 2012).

YPV panelleri, konvansiyonel güneş panellerinde olduğu gibi ışınımı elektrik enerjisine çevirir ancak daha yüksek elektrik üretebilmek amacıyla her panelin bünyesine güneş radyasyonunu daha geniş alandan toplayarak odaklaması için yansıtıcı optik çözümler kullanır. Tablo 2'de YPV türlerinde konsantratör katsayısı/oranı ve soğutma ihtiyacı görülmektedir. Piyasada düşük YPV, orta YPV ve yüksek YPV gibi yansıtıcı katsayısı ile farklılaşan farklı YPV çözümleri mevcuttur (Özen, 2015). YPV güneş panelleri, elektrik üretim verimliliklerini daha da yükseltmek amacıyla güneşi tek veya çift ekseninde takip mekanizmalı ve aktif/pasif soğutma çözümlü gibi türlerini tekil veya melez bir şekilde kullanılabilir (Gürbüz, 2018).

Tablo 2. YPV türlerinde yoğunlaştırma oranı ve soğutma gereksinimi (Condensation ratio and cooling requirement in CPV types)

Yoğunlaştırıcı tipi	Yoğunlaştırma oranı	Soğutma gereksinimi
Düşük YPV	1-10	Pasif
Orta YPV	10-100	Pasif veya Aktif
Yüksek YPV	100-1000	Aktif

Şekil 1'de YPV panelinin çalışma prensibi gösterilmiştir (Web1, 2020). Panellerin üzerine yansıtılan güneş radyasyonu N-PV panellerine göre daha fazla olduğundan, YPV panelleri normal PV panellerine göre daha fazla elektriksel güç üretebilmektedirler (Matsushima vd., 2003).Talep edilen enerjinin üretimi için N-PV panellerine göre daha az kurulum alanına gereksinim duymasının yanı sıra kullanılan optik maliyetinin PV paneline göre düşük olması, YPV panelinin artılarıdır.



Şekil 1. YPV panelinin çalışma prensibi (Working principle of CPV panel)

Bu çalışmada PV paneli üzerine düşen güneş radyasyonunu pasif şekilde yükseltmek amacıyla, iki adet yansıtıcı özelliğe sahip krom-çelik levha kullanılmıştır. Böylece V parabolü şeklinde geometrik tasarıma sahip olan ilgili konsantratörler, daha geniş alandan topladığı güneş ışığını, V parabolünün odağındaki YPV paneline yönlendirmiştir/odaklamıştır.

Herhangi bir tür güneş panelinin üzerine düşen ışınım, ilgili panelin verimlilik yüzdesiyle elektriğe dönüşürken, elektriğe dönüşmeyen kısmı ise ilgili panel bünyesinde ısıya çevrilmektedir. PV panellerinin gerilimi ile ilgili panelin sıcaklığı arasında ters orantı varken ilgili panelin akımı üzerinde benzer değişiklik söz konusu değildir. Böylece örneğin uygun bir soğutma çözümüyle panel sıcaklığı azaltılırsa ilgili panelden elde edilecek gerilimde dolayısıyla buna bağlı olarak elektriksel güçte de artış meydana gelecektir (Çarkıt, 2016). PV panel sıcaklığının düşmesine bağlı olarak ilgili PV panelinin geriliminde de artış olduğu bildirilmiştir (Duman vd., 2014).

Faz değişken malzemeleri (FDM), tersinir bir doğaya sahip oldukları için herhangi bir sıcaklık kaynağından ısıyı bünyelerine alarak katı, sıvı veya gaz olarak hal değiştirirler (Çevik, 2013). FDM'ler; organik, inorganik ve bunların çeşitli yöntem ve oranlarda melezleştirildiği ötektikler olmak üzere üç kategoriye sınıflandırılır (Günaydın, 2018). FDM'ler içinde organikler grubunda yer alan parafin, mumsu yapıda olup ucuz maliyetli, kimyasal kararlılığa sahip olmasının yanı sıra korozif veya toksik etki göstermeyen özellikte bir malzemedir. Günümüzde parafin, ısı enerjisi depolaması ve iletimi uygulamalarında geniş bir sıcaklık skalasında kullanılmaktadır. Parafinin kullanımındaki temel problem, ısı iletkenlik katsayısının düşük olmasıdır (Çevik, 2013). Isıl iletkenlik, herhangi bir malzemenin ısıyı iletmesinin ölçüsü olup katsayısı 'k' ile gösterilmektedir (Web2, 2020). Tablo 3'te bazı malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları verilmiştir (Web3, 2020).

Tablo 3. Bazı malzemelerin k değerleri (k values of some materials)

Malzeme	Isıl İletkenlik (k)	Malzeme	Isıl İletkenlik (k)
Elmas	2300	Demir	80,2
Gümüş	429	Cıva	8,54
Bakır	401	Cam	0,78
Altın	317	Su	0,6
Alüminyum	237	Hava	0,026



Şekil 2. Farklı özellikteki PV panelleri (PV panels with different properties)

Parafinin termal transferinin yükseltilmesi amacıyla ısı iletkenlik katsayısı yüksek mikro veya nano boyutlu partiküllerin katılması, literatürde üzerinde çalışılan bir olgudur. Bu kapsamda 100'er gram parafin, ocakta eritilerek içine kütesinin %20'üne karşılık gelen 20'er gram ağırlığında, iletkenlik katsayısı 401 olan 120 mikron çapındaki bakır tozu eklendikten sonra metal çubukla homojen bir şekilde karıştırılmıştır ve ilgili karışım, N-PV haricindeki panellerden sırasıyla FDM-PV ve FDM-YPV panellerinin arkasına eşit bir şekilde

dökülmüştür. Testler sırasında, üç adet 10 W nominal güçteki polikristal silikon bazlı güneş paneli kullanılmıştır. Karşılaştırmalı verimlilik testleri yapılan ve farklı yöntemlerle optimize edilmiş PV panelleri Şekil 2'de görülmektedir. İlgili şekilde soldaki N-PV paneli, ortadaki FDM-PV paneli ve sağdaki ise FDM-YPV panelidir.



Şekil 3. N-PV paneli elektrikli taşıt (Electric vehicle with N-PV panel)



Şekil 4. FDM-PV paneli elektrikli taşıt (Electric vehicle with PCM-PV panel)

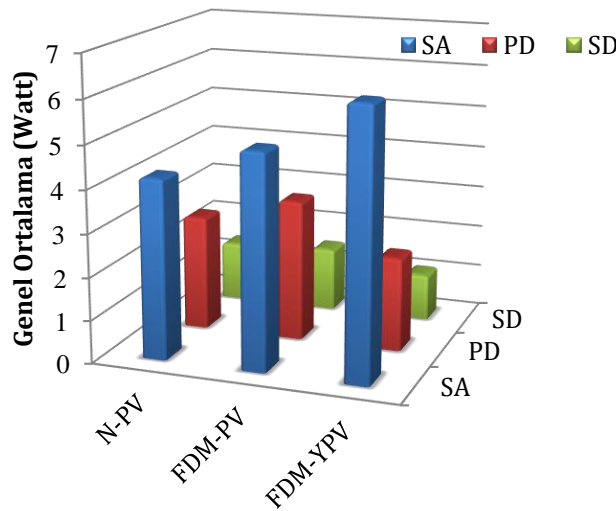


Şekil 5. FDM-YPV paneli elektrikli taşıt (Electric vehicle with PCM-CPV panel)

Şekil 3'te N-PV paneli, Şekil 4'te FDM-PV paneli ve Şekil 5'te de FDM-YPV paneli elektrikli taşıtlar görülmektedir. İlgili taşıtta optimizasyonu yapılmış farklı özelliklerdeki 3 adet PV panelinin PD ve SD senaryolarında test verileri toplanarak elektrik üretim verimleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Elde edilen verilerden, ışınım miktarının yüksek ve panel sıcaklığının da az olduğu durumlarda, güneş panelinin elektriksel güç performansının daha iyi olacağı anlaşılmaktadır (Altaş, 1998).

4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

Bu çalışmada sabit ve mobil uygulamalar için maksimum güç üretim verimliliğine sahip güneş paneli tespit çalışmaları yapılmıştır. Şekil 6'da tüm senaryo ve özellik bağlamında 3 adet PV panelinin, Tablo 1'deki güneş ışınımına karşılık gelen Watt cinsinden genel ortalama güç grafiği görülmektedir. Güneşe SA FDM-YPV panelinin, diğer özellik, tarih ve senaryolar kapsamındaki PV panellere göre daha fazla elektriksel güç ürettiği görülmektedir. Şekil 6, verimlilik açısından incelendiğinde SA durumunda FDM-YPV panelinin ölçü olarak kullanılan SA'daki N-PV paneline göre verim artışının %47 olduğu görülmektedirken SA'daki FDM-PV panelinin SA durumundaki N-PV paneline göre %19 daha fazla güç ürettiği görülmektedir. Taşıt PD halindeki FDM-PV panelinin ölçü olarak kullanılan taşıt PD'daki N-PV paneline göre %22 daha fazla güç ürettiği ve taşıt PD'daki FDM-YPV panelinin ise taşıt PD'daki N-PV paneline göre %22 daha az elektrik ürettiği tespit edilmiştir. Taşıt SD'daki FDM-PV panelinin, ölçü olarak kullanılan taşıt SD'daki N-PV paneline göre %7 daha fazla elektrik ürettiği ve taşıt SD'daki FDM-YPV panelinin ise taşıt SD'daki N-PV paneline göre %27 daha az güç ürettiği görülmüştür.



Şekil 6. Genel ortalama güç grafiği (Overall average power chart)

Şekil 6'da görüldüğü üzere, güç yoğunluğu en yüksek olan alternatif; 6,2 Watt'la güneşe SA kurulmuş FDM-YPV panelidir. PV panellerinin elektrikli taşıtların park ve sürüş durumlarında şarjı için üzerine monte edilmesi halindeyse, en iyi seçeneğin PD'da 3,3 Watt'la ve SD'da da 1,5 Watt'la FDM-PV paneli olduğu görülmektedir.

FDM-YPV panelinde kullanılan yansıtıcılar sayesinde ilgili panel üzerinde pasif bir şekilde güneş radyasyonunun artırılması, panel sıcaklığında yükselmeye sebep olarak güç üretiminde azalmayı netice vermesi gerekirken, kütüce %20 bakır toz ekleyerek ısıl iletkenliği artırılmış 100 gr'lık parafin bazlı FDM kullanılarak çevreye pasif olarak panel sıcaklığının tahliyesi gerçekleştirildiğinden böyle negatif bir sonuç meydana gelmemiştir. FDM-YPV panelinin elektrikli taşıt üzerinde kullanımının negatif sonuç vermesinin sebebi ise kullanılan yansıtıcı levhaların ilgili güneş paneline gölge etkisi nedeniyle olduğu gözlemlenmiştir. Taşıtın PD ve SD hallerinde güneş ışınımının geliş açısının sürekli değişmesinden kaynaklı konsantratörlerin ilgili panele gölge etmesi nedeniyle ilgili negatif sonuç meydana gelmiştir.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Analiz sonuçlarına göre sabit uygulamalar için elektriksel güç miktarının en yüksek olan alternatifin, genel ortalaması 6,2 Watt'la güneşe sabit bir açıyla kurulmuş FDM-YPV paneli olduğu gerçeğidir. FDM-YPV panelinde ilgili panel ölçüsünde konsantratörler kullanıldığından panele yansıyan ışık miktarı diğer panellere göre 2 katına çıkmıştır. Panele gelen ışınım miktarının yükseltilmesi, ilgili panelin arka sıcaklığında da yükselmeye sebep olarak ilgili panelin güç üretiminde azalmanın görülmesi gerekirken, bakır toz katkılı FDM'li soğutma çözümü kullanılması dolayısıyla böyle bir olumsuz durum yaşanmamıştır. SA'daki FDM-YPV panelinin elektrik üretim verimliliği artışı ise ölçü olarak kullanılan SA N-PV paneline göre %47 olduğu görülmüştür. Verimlilikte bu yükselişin diğer bir sebebi, pasif soğutma çözümünün yanı sıra yoğunlaştırıcıların ilgili panelin sol ve sağına olmayıp, altına ve üstüne monte edilmesinden dolayı güneşin sabah doğumu ve akşam batışı esnasındaki hareketinden kaynaklanan açı değişimlerinden dolayı ilgili panelde elektrik üretimini azaltan gölge etkisinin oluşmamasıdır.

Elektrikli taşıtların batarya şarjı amacıyla PV panellerinin taşıt üzerinde monte ederek mobil kullanımındaysa, en iyi alternatifi FDM-PV paneli olduğu tespit edilmiştir. Bakır toz ekleyerek termal iletkenliği artırılmış FDM'li soğutma çözümü nedeniyle, taşıt PD ve SD'daki FDM-PV panelinin ölçü olarak kullanılan taşıt PD ve SD'daki N-PV paneline göre sırasıyla %22 ve %7 daha fazla elektrik ürettiği görülmüştür.

Verimlilik sonuçları, aşağıda önerilen metotlarla daha da iyileştirilebileceği öngörülmektedir:

- PV panellerinde kullanılmak amacıyla farklı nitelikteki FDM'lerin farklı ısıl iletkenliğine sahip farklı yüzdelerdeki nano malzemelerle birlikte kullanılması farklı neticeler doğurabilir.
- Farklı nitelikteki aktif ve pasif soğutma çözümleri, tek başına veya bir arada kullanıldığında farklı sonuçlar sağlayabilir.
- Yoğunlaştırma ve ışınım yansıtma oranı krom-çelikten daha yüksek optik levhalarla testler gerçekleştirilebilir.
- DeneySEL ölçüm sistemi, güneş ışınımı ve sıcaklık ölçümü gibi daha hassas hesaplamalar için geliştirilebilir.
- Mobil uygulamalarda güneş panellerinin yerleştirme açısının aylara göre optimize edilmesiyle farklı verimlilik değerlerine ulaşılabilir.
- Güneş takip cihazlı analizlerde, daha fazla verimliliğe yaklaşılabılır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar(References)

- Altaş, İ.H., 1998. Fotovoltaik güneş pilleri: yapısal özellikleri ve karakteristikleri, Ener., Elektr., Elektromek-3e, 47, 66-71.
- Bolat, B., 2016. Yoğunlaştırıcı güneş panellerinde ısı deposu olarak parafin wax kullanılmasıyla ilgili deneysel incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 145s.
- Cebeci, S., 2017. Türkiye'de güneş enerjisinden elektrik üretim potansiyelinin değerlendirilmesi, Planlama Uzmanlığı Tezi, T.C. Kalkınma Bakanlığı, İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Ankara, 185s.
- Çarkıt, T., 2016. PV panellerin yapısı ve panellerden elektrik üretimine sıcaklığın etkisi, Elektr. Müh. dergisi, 457, 65-68.
- Çevik, M., 2013. Faz değiştiren maddelerle duvar ısıl yalıtımının deneysel olarak araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 53s.
- Chen, Q., Ming, Z., 2012. Photovoltaic Module Simulink Model for a Stand-alone PV System, Physic Procedia, 24, 94-100.
- Daneshazarian, R., Cuce, E., Cuce, P.M., Sher F., 2018. Concentrating photovoltaic thermal (CPVT) collectors and systems: Theory performance assessment and applications, Renew.Sust.Energ.Rev., 81, 473-492.
- Duman, S., Yörükere, N., Altaş, İ.H., 2014. Fotovoltaik enerji sistemlerinin modellenmesi, benzetimi ve uygulaması, İleri Tekn. Bilim Dergi, 3, 9-23.
- Eyinc, H., 2018. Nanopartikül ve faz değiştiren malzemeli bir fotovoltaik termal sistemin deneysel analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 83s.
- Gören, A., 2014. Güneş enerjisi ile çalışan araçlar için polimer kompozit gövde tasarımı ve imalatı, PUTech&Comp, 5/22, 40-48.
- Günaydın, A., 2018. Yoğunlaştırılmış nano parçacıklı pvt/fdm sistemin deneysel analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 90s.
- Gürbüz, D., 2018. Kir ve tozlanmanın fotovoltaik sistem verimi üzerindeki etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 74s.
- Jakhar, S., Soni M.S., Gakkhar N., 2016. Historical and recent development of concentrating photovoltaic cooling technologies, Renew.Sust.Energ. Rev., 60, 41-59.
- Jesumathy, S., Udayakumar, M., Suresh, S., 2012. Experimental study of enhanced heat transfer by addition of CuO nanoparticle, Heat Mass Trans., 48, 965-78.
- Kapsalis, V., Karamanis, D., 2016. Solar thermal energy storage and heat pumps with phase change materials, Appl. Therm. Eng., 99, 1212-1224.
- Karaipekli, A., 2006. Faz değişimli enerji depolama maddelerinde ısıl iletkenliğin zenginleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, 74s.
- Kaşkaş, A., 2010. Güneş enerjili araç projesi, Bilimsel araştırma projesi kesin raporu, Ankara Üniversitesi, Ankara, 11s.
- Lin, S.C., Al-Kayiem H.H., 2016. Evaluation of copper nanoparticles - Paraffin wax compositions for solar thermal energy storage, Sol.Energ., 132, 267-278.
- Llorente, J., Ballestrin, J. ve Vazquez, A. J., 2011. A new solar concentrating system: Description, characterization and applications, Sol Energ. 85: 1000-1006.
- Matsushima, T., Setaka, T., Muroyama S., 2003. Concentrating solar module with horizontal reflectors, Sol.Energ. Mater.& Sol. Cell, 75, 603-612.
- Özen, Y., 2015. III-V grubu güneş hücresi geliştirilmesi ve prototip yoğunlaştırıcı fotovoltaik modül üretimi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 169s.
- Renaudineau, H., Houari, A., Martin, J.-P., Pierfederici, S., Meibody-Tabar, F., Gerardin, B., 2011. A new approach in tracking maximum power under partially shaded conditions with consideration of converter losses, Sol.Energ., 85 (11), 2580-

2588.

- Sayın, S., Ko, İ., 2011. Güneş enerjisinden aktif olarak yararlanmada kullanılan fotovoltaik (PV) sistemler ve yapılarda kullanım biçimleri, S.Ü.Müh-Mim Fak.Derg., 26, 89-106.
- Serin, O., 2011. Güneş arabası yarış simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 117s.
- Şen, S., 2017. Çok katmanlı yoğunlaştırıcı güneş panelli tasarımı ve deneysel analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 59s.
- Turmuş, A., 2018. Düzlemsel yansıtma destekli düzlemsel güneş paneli tasarımı elektrik üretimi ve verim analizi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ. 139s.
- Wu, S., Zhu, D., Zhang, X., Huang, J., 2010. Preparation and melting/freezing characteristics of Cu/Paraffin nanofluid as phase change material (PCM), *Energ. Fuel*, 24, 1894-1898.
- Yang, F., Wang, H., Zhang, X., Tian, W., Hua, Y., Dong, T., 2018. Desing and experimental study of a cost-effective low concentrating photovoltaic/thermal system, *Sol.Energ.*, 160, 289-296.
- Yüksel, C., 2016. A numerical study on passive cooling system of a photovoltaic panel, M.Sc. Thesis, Dokuz Eylül University, İzmir, 79s.
- Web1, 2020.http://www.greenrhinoenergy.com/solar/technologies/pv_concentration.php, Erişim tarihi: 03.11.2020.
- Web2, 2020.http://web.hitit.edu.tr/dersnotlari/hulyacakmak_03.10.2018_8D5P.pdf, Erişim tarihi: 30.10.2020.
- Web3, 2020.http://w3.bilecik.edu.tr/makineveimalat/wp-content/uploads/sites/27/2017/02/B%C3%B6l%C3%BCm-1_Giri%C5%9F.pdf, Erişim tarihi: 30.10.2020.