

Soğutma Debisinin Fotovoltaik Isıl Sistem Verimine Etkisi

Sinan Dölek^{1*} ve Gökhan Arslan²

¹Makine Mühendisliği / Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin Üniversitesi, Türkiye

²Makine Mühendisliği / Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin Üniversitesi, Türkiye

*(sinandolekk@gmail.com)

(Geliş Tarihi: 06 Temmuz 2023, Kabul Tarihi: 24 Temmuz 2023)

(5th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2023, July 10 - 12, 2023)

ATIF/REFERENCE: Dölek, S. & Arslan, G. (2023). Soğutma Debisinin Fotovoltaik Isıl Sistem Verimine Etkisi. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 7(6), 206-213.

Özet – Ortam havası sıcaklığı ve güneş ışınımından dolayı fotovoltaik (PV) panel sıcaklığı artışı, panel verimlerindeki en önemli kayıpları oluşturmaktadır. Farklı yöntem ve teknolojiler geliştirilerek panel sıcaklığında meydana gelen sıcaklık artışı önlenmektedir. Bu çalışmada, aynı koşullar altında çalışmak üzere, aynı özelliklerde tasarlanan iki adet fotovoltaik ısıl (PV/T) sistemde, kütle akış hızının, elektriksel ve ısıl verimlerine etkileri araştırılmıştır. Tasarlanan PV/T sistemler, deney setinde yan yana ve 36° açı ile güney yönünde yerleştirilmiştir. 8:00 ile 16:00 saatleri arasında, 0.007 kg/s ve 0.014 kg/s kütle akış hızlarına sahip ısı transfer akışkanları bu sistemlerde dolaştırılmıştır. Sistemlerin farklı noktalarına ve katmanlarına yerleştirilen K tipi ısı elemanlar ile değişen sıcaklık değerleri takip edilmiştir. Deney süresince takip edilen bu sıcaklık değerleri saatlik olarak kayıt edilmiştir. Ortam sıcaklığının ve güneş ışınımının maksimum seviyede olduğu saat diliminde deneysel veriler karşılaştırılmıştır. Yüksek kütle akış hızı ile çalışan PV/T sistemin, emici plaka yüzeyinde ölçülen sıcaklık değerinin %12 daha az olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, elektriksel verim yaklaşık olarak %3 ve ısıl verim %19 daha fazla hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler –PV/T Sistemler, Güneş Enerjisi, Kütle Akış Hızı, Enerji Depolama, Isı Transferi

I. GİRİŞ

Enerji ihtiyacının giderek arttığı günümüzde, yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen güneşten faydalanmak için birçok çalışmalar yapılmaktadır. Güneş enerjisinin dönüştürülmesi ile günlük ihtiyaçların karşılanmasında kullanılan, başta elektrik enerjisi olmak üzere ısınma, kurutma, sıcak su elde edilebilmektedir. Son yüzyılda güneşten elektrik enerjisi üretilmesi için fotovoltaik (PV) paneller geliştirilmiştir. 21. yüzyılın ortalarından itibaren, PV panellerden elektrik üretmenin yanı sıra sıcak su temini için de araştırmalar yapılmış ve fotovoltaik termal (PV/T) sistemler geliştirilmeye başlanmıştır.

Araştırmacıların birçoğu güneş enerjisi dönüşüm teknolojileri üzerine farklı yaklaşımlar geliştirerek, yenilikçi çalışmalar yapmakta olup, bu konuda fotovoltaik (PV), fototermal, fotokimyasal ve üçüncü nesil güneş sistemleri olarak fotovoltaik termal (PV/T) sistemlerin geliştirilmesini sağlamışlardır. Geliştirilen bu sistemlerden birisi olan PV/T sistemlerini diğer güneşten elektrik enerjisi üreten sistemlerinden ayıran en önemli özellik, elektrik ve ısının birlikte üretilmesidir. Günümüzde PVT sistemler üzerine yapılan çalışmalar artmakta ve kullanım alanları giderek yaygınlaşmaktadır.

PV/T'nin hava, su ve eş zamanlı (hava ve su) gibi farklı akışkan ile durumlarında performanslarını test

etmişlerdir. Daha iyi elektriksel ve termal performanslar için kütle akış hızının etkilerini araştırmışlardır. Hava için optimum kütle akış hızını 0.035 kg/s ve su için 0.07 kg/s olduğu durumları incelemişlerdir. Eş zamanlı durumda %68 ile maksimum verim elde ederek, termal verimliliğin daha fazla olduğunu belirlemişlerdir [1].

Fotovoltaik/termal (PV/T) kolektör sisteminin modellemesini geliştirmişlerdir. Hazırladıkları sistemin kollektör, tank suyu, ortam ve hücre sıcaklıkları ile rüzgar ve güneş ışınım değerlerini takip ederek elektriksel ve termal verimlerini incelemişlerdir. Bu prototip sistem için matematiksel model geliştirerek ve bir yazılım programı kullanarak, simülasyon oluşturmuşlardır [2].

Fotovoltaik modül katmanlarının sıcaklık dağılımı ve ortalama sıcaklık değerlerini incelemişlerdir. NOCT'ta göre farklı giriş kütle akış hızları ve buna bağlı sıcaklık dağılımlarını belirleyerek su bazlı bir PV/T sistemin termal ve elektriksel verimlerini hesaplamışlardır. Kütle, akış hızı 0.014 kg/s ve 15 °C giriş sıcaklığında PV modülün termal veriminin %76.13 ve elektriksel veriminin %17.79 değerlerine ulaştığını belirlemişlerdir [3].

PV/T sistemlerin performansını optimize etmek için alan sinerjisi teorisine (field synergy theory) dayalı özel bir soğutma kanalına sahip bir PV/T sistem tasarlamışlardır. Soğutma suyu giriş sıcaklığı 20 °C'de, kütle debisi 0.0018'den 0.018 kg/s'ye arttırıldığında %10.8'den %11.9'a elektrik veriminin yükseldiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca, güneş ışınımının 1200'den 300 W/m²'ye düştüğünde PV panel verimliliğinin %0.5 arttığını gözlemlemişlerdir [4].

Eş zamanlı hava ve su soğutmalı bir PV/T sistemin enerji performansları üzerindeki etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Soğutma akışkanı olarak su ve hava kullanmışlardır. 0.0014 ve 0.0026 kg/s arasında değişen dört farklı kütle akış hızında testler gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalarında, PV/T sistemin genel verimliliğinin güneş ışınım miktarına ve soğutucu akışkanın kütle akış hızına bağlı olduğunu belirlemişlerdir. PV/T sistemin maksimum verimliliği 0.0026 kg/s debide su ve havanın eş zamanlı akışı için %62.2 olarak hesaplanmıştır [5].

Değişken akış kanallarına sahip üç su soğutmalı PV/T sistemi tasarlamışlar ve elde ettikleri verileri elektriksel performans açısından PV panel ile karşılaştırmışlardır. Su kütle akış hızı 40 kg/saat

olarak test edilmiş ve hücre sıcaklığının 3 °C düştüğünü belirlemişlerdir. Sıcaklık düşüşü ile PV/T sistemlerde voltaj, güç ve performansın önemli derecede arttığını gözlemlemişlerdir [6].

Su bazlı PV/T sistemine dayalı olarak çift salımlı soğurucu bakır boru akışı geliştirmişlerdir. Tasarladıkları PV/T sistem performansını 500 ile 1000 W/m² güneş ışınım aralığında ve 2 ile 6 LPM aralığında farklı debilerde ölçmüşlerdir. Artan kütle debinin hücre sıcaklığını düşürerek elektriksel verimi arttırdığını belirlemişlerdir [7].

Pang ve ark. (2019), 0.25 kg/s'den yüksek bir kütle akış hızında, fotovoltaik/termal su kolektörünün elektriksel ve termal verimlerini değerlendirmişlerdir. Elde ettikleri deney sonuçlarına göre PV/T kolektör sıcaklığının artan kütle akış hızıyla düştüğünü, çıkış gücünün ise arttığını belirlemişlerdir [8].

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Tasarlanan PV/T sistemler, Mersin Üniversitesi, Yenişehir kampüsü, makine mühendisliği bölümü, çatı katında, aynı eğim açısında ve sistem yüzeyi güney yönünde olacak şekilde konumlandırılmıştır. Deney 17.05.2023 tarihinde 08:00 ile 16:00 saatleri arasında yapılmıştır. Bu süreçte ölçülen veriler 1 saatlik periyotlar halinde kayıt altına alınmıştır. Deney yapılan günde, hava sıcaklığı, rüzgar hızı 2.5 m/s ile 6.5 m/s arasında ve nem miktarı %55 ile %85 arasında ölçülmüştür.

A. Fotovoltaik Termal (PV/T) Sistem Tasarımı

Deney seti panel yerleşim yeri ve açısının ayarlanabilmesi için hareketli olacak şekilde tasarlanmıştır. Güneş ışınım şiddeti takibi için kullanılan Suneng SE280-60M model PV panel teknik özellikleri, Tablo 1'de verilmektedir.

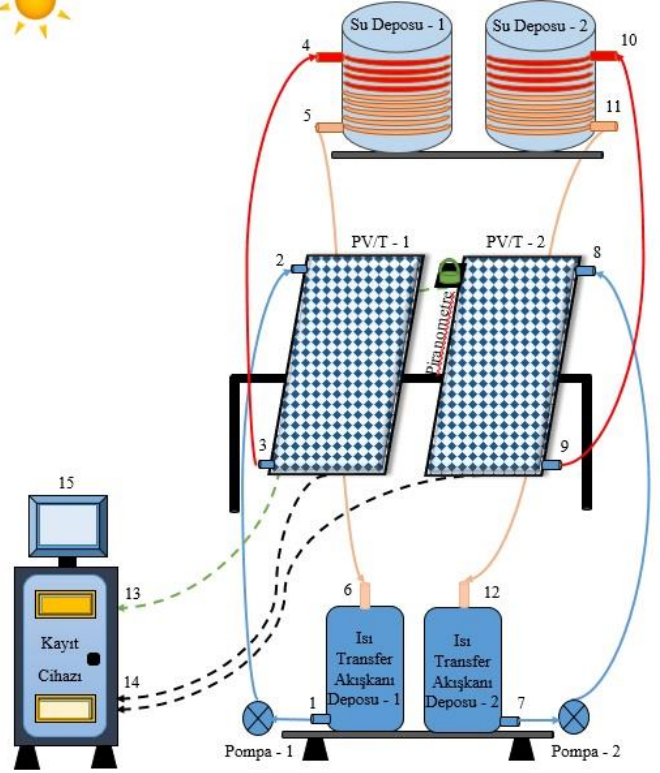
Tablo 1. Monokristal PV panel teknik özellikleri

Özellik	Suneng SE280-60M
Maksimum Güç Oranı (P_{max})	280W
Güç Tolerans Oranı	+0~5 Wp
Maksimum Güç Akımı (I_{mp})	8.73 A
Maksimum Güç Voltajı (V_{mp})	32.1 V
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	9.35 A
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	38.2 V
Sıcaklık Döngü Aralığı	-40...+85 °C
Maksimum Sistem Gerilimi	1000 V _{DC}
Maksimum Sistem Akımı	15 A
Hücre Sayısı	60
Ağırlık	18 kg
Standart Test Şartları	Am=1.5, E=1000W/m ²

Yapılan çalışmada, fotovoltaik (PV) panellerin, hücre sıcaklığının artmasına bağlı meydana gelen performans kayıplarının en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda sıcak su depolamalı bir PV/T sistem tasarlanmıştır.

Tasarlanan PV/T - 1 ve PV/T - 2 sistemler deney seti üzerinde yan yana yerleştirilmiştir, sistemlerde bulunana PV panellerin arkasında içerisinde ısı transfer akışkanın dolaşımı sağlayan bakır borulu bakır levha yerleştirilmiştir. Sistemin çevreye olan ısı kaybını önlemek için cam elyafı kaplanmış ve sac kapak ile kapatılmıştır. Isı transfer akışkanı deposu - 1'den bir pompa yardımı ile PV/T - 1 sistemine giren su (2), sistemde dolaşarak emici bakır plakadan aldığı ısıyı sistem çıkışından (3) su deposu - 1'e gönderir. Su deposu - 1'e giren (4) ısınmış su, burada depolanan suya ısınısını aktarır ve depodan çıkar (5), daha sonra tekrar Isı transfer akışkanı deposu - 1'e girer (6). Burada PV/T - 2 sisteminin çalışma prensibi de takip edilebilmektedir. PV/T sistemlerdeki bütün elemanların sıcaklık takibi K tipi ısıl elemanlar kullanılarak yapılmakta, 32 kanallı bir data loger ile kayıt (13) edilmektedir. Ayrıca güneş ışınım şiddeti PV/T sistemler ile aynı yön ve eğim açısında hareket edecek şekilde yerleştirilen bir piranometre ile takip edilerek kayıt altına (14) alınmaktadır. Şekil 1'de bu PV/T sistemi şematik olarak gösterilmektedir.

PV hücre sıcaklığının düşürülmesi için panel arkasına üzerine kaynak ile montajlanmış 1/4" bakır borular bulunan, 0.5 mm kalınlığında bir bakır levha yerleştirilmiştir. Şekil 2'de, tasarımını yaptığımız PV/T sistemde, panel arkası ve bakır levha yüzeyine ısı iletimi artırmak için sürülen termal macun gösterilmektedir.

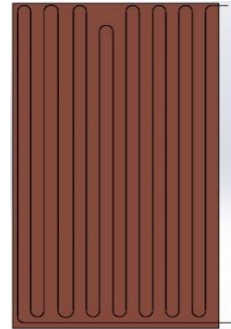


Şekil 1. PV/T sistem şematik görünümü

B. Deney Seti

Şekil 2'de, PV/T sistemde bulunan PV panel hücre sıcaklığının düşürülmesi için panel arkasına üzerine kaynak ile montajlanmış 3/8" bakır borular bulunan, 0.5 mm kalınlığında bir bakır levha şematik görünümü verilmektedir.

Ayrıca PV panel arkası ve bakır levha yüzeyine ısı iletimini artırmak için ısıl iletkenlik katsayısı 3 W/mK olan termal macun sürülmüştür.



Şekil 2. PV/T sistem emici bakır levha ve bakır boru şeması

Şekil 3'te, PV/T sistemde, 50 litrelik ısı transfer akışkanı depoları gösterilmektedir. Bir pompa yardımı ile depolarda bulunan su sistemde dolaştırılmaktadır. İlk olarak ısı transfer akışkanı olarak kullanılan su bir pompa ile sisteme girmeden hemen önce rotametre ile soğutucu akışkanın debisi ayarlanmakta, daha sonra sisteme giren akışkan,

burada aldığı ısı enerjisini aktarıp panel hücre sıcaklığının düşmesini sağlamaktadır.



Şekil 3. Isı transfer akışkanı depoları ve pompaları

Bu fazla ısı enerjini, Şekil 4’te gösterilen içerisinde bulunan 50 litrelik tankta sıcak su olarak depolanmasını sağlamaktadır. Bu tank içerisinde bulunan suya, yine tank içerisine yerleştirilen bakır borulardan geçen ısı transfer akışkanı ile PV/T panelde oluşan ısı enerjisini aktarmaktadır. Son olarak, tankta bulunan suya ısı enerjisini aktaran ısı transfer akışkanı tekrar depoya dönmekte ve bu dolaşım tekrar etmektedir.



Şekil 4. Sıcak su depoları

Deney setimizin şase kısmı panel açısı ayarlanacak ve diğer ekipmanları taşıyacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 5’te, PV/T sistem sıcaklıklarının değişimi data loger üzerinden kayıt edilerek bilgisayar ekranında takip edilebilmektedir. ‘K tipi’ ısı elementler kullanılarak yapılan sıcaklık ölçümleri. PV panel yüzeyine bağlanan iki adet termokupl hücre yüzey sıcaklıkları ölçülmekte ve bu aynı noktalara karşılıklı gelecek şekilde bakır levha üzerine yerleştirilen iki adet termokupl ile hücre alt yüzey sıcaklıkları ölçülmektedir. Panel giriş ve çıkışlarına eklenen termokupllar ile ısı transfer akışkanının sıcaklık değerleri ölçülmektedir. Ek olarak tank içerisine yerleştirilen termokupl ile de tankta depolanan suyun sıcaklık değişimi takip edilmektedir. Böylece analizlerde daha doğru hesaplamalar yapmak için dokuz farklı noktadan sıcaklık değerleri kayıt edilmektedir.



Şekil 5. Isıl element sıcaklık ölçümleri

Şekil 6’da tasarlanan PV/T sistemler ve güneş ışınım verilerinin ölçülebilmesi için kullanılan piranometre güney yönünde, 36° açı ile deney seti üzerinde gösterilmektedir. PV/T sistemler üzerine düşen güneş ışınım şiddetinin ölçümü bu piranometre yapılarak kayıt altına alınmaktadır. PV panel yüzeyine bağlanan iki adet ısı element yüzey sıcaklıkları ölçülmekte ve bu aynı noktalara karşılıklı gelecek şekilde bakır levha üzerine yerleştirilen iki adet ısı element ile alt yüzey sıcaklıkları ölçülmektedir. Panel giriş ve çıkışlarına eklenen termokupllar ile ısı transfer akışkanının sıcaklık değerleri ölçülmektedir.



Şekil 6. PV/T sistem

C. PV/T Sistem Veriminin Hesaplanması

Tasalan PV/T sistemlerin elektriksel verimleri tespit edilirken ilk olarak denklem 1’de panel elektriksel gücü ($P_{PV/T}$) bulunmalıdır [9].

$$P_{PV/T} = IV \quad (1)$$

Denklem 2’de, PV/T panel akımı (I), gerilimi (V) ile gösterilmekte ve sistemin elektriksel verimi ($\eta_{elektrik}$) hesaplanmaktadır [10].

$$\eta_{elektrik} = \frac{P_{PV/T}}{I(A_{PV/T})} \quad (2)$$

Burada ısı verimini hesaplayabilmek için denklem 3'teki faydalı enerji (Q_f) bulunmalıdır [11].

$$Q_f = \dot{m}C_p(T_c - T_g) \quad (3)$$

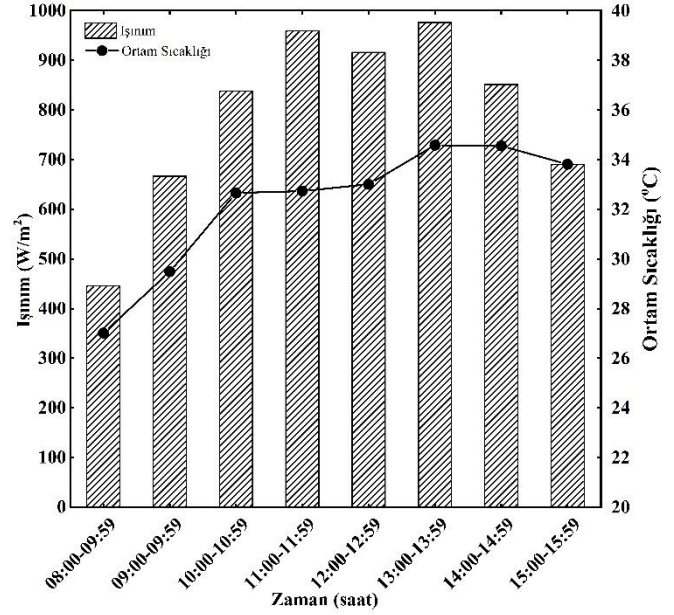
Denklem 4'te, sistemin ısı verimi ($\eta_{\text{ısı}}$) hesaplanmak için ısı transfer akışının kütleli debisi (\dot{m}), özgül ısı (C_p), sisteme giriş sıcaklığı (T_g), sistemden çıkış sıcaklığı (T_c) belirlenmelidir [12].

$$\eta_{\text{ısı}} = \frac{Q_f}{G(A_{PV/T})} \quad (4)$$

Burada, PV panel üzerine düşen güneş ışınımı (G) ve yüzey alanı ($A_{PV/T}$) ile gösterilmektedir.

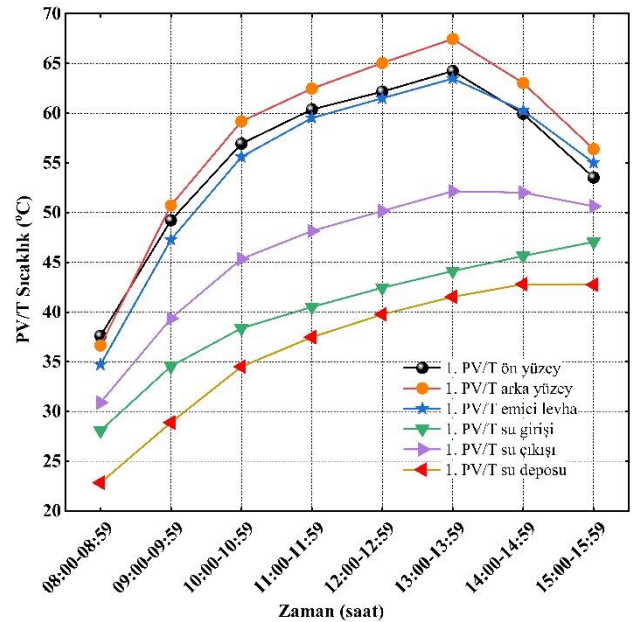
III. BULGULAR

Sabah 8:00'da deney başlatılmış olup ışınım, akım ve gerilim değerleri saatlik periyotlarda kayıt edilerek saat 16:00'da deney sonlandırılmıştır. Deney verileri 1 saatlik ortalamalar halinde grafiklerde verilmektedir. Deney setinde 2 adet PV/T sistem ile bu sistemlere gelen güneş ışınım miktarını ölçen piranometre, aynı yönde ve eğim açısında yan yana bulunmaktadır. Sabah saatlerinde güneş ışınım miktarı 299.8 W/m^2 iken, öğle zamanı saat 12:20'de 1030 W/m^2 olarak ölçülmüştür. Fakat saat 12:25 ile 13:15 arasında güneş ışınım miktarının azaldığı belirlenmiştir, saat 12:35'te ışınım miktarı 704.86 W/m^2 değerine düşmüştür, bunun sebebi gökyüzünün bulutlanmasıdır. Saat 16:00'da deney sonlandırılmadan önce ışınım miktarı 588.21 W/m^2 ölçülmüştür. Şekil 7'de deney süresince aynı konum ve şartlarda bulunan panellere gelen ışınım miktarı ile ortam sıcaklık değerleri gösterilmektedir.



Şekil 7. Güneş ışınımı miktarı ve ortam sıcaklığı

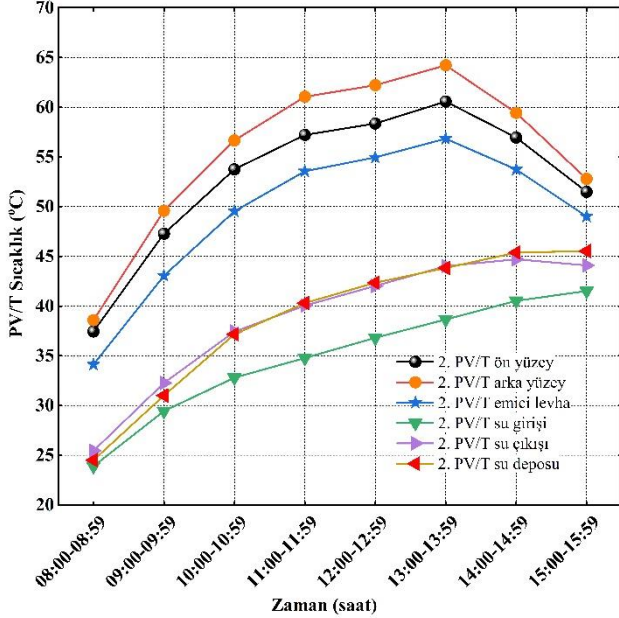
Sistemde artan sıcaklığın düşürülmesi için ısı transfer akışkanı 3/8"lik bakır boru yardımı ile dolaştırılmaktadır. Şekil 8'de 1. PV/T sistem katmanlarında belirli noktalara yerleştirilen ısı elemanları ile sıcaklıkların ölçümü yapılmakta ve saatlik değişimi incelenmektedir. Burada kütle akış hızı 0.007 kg/s olarak belirlenmiştir.



Şekil 8. 1. PV/T sistem katman sıcaklıkları

Deneyde, PV/T sistemlerde hücre sıcaklığının düşürmek için ısı transfer akışkanı sisteme soğutucu

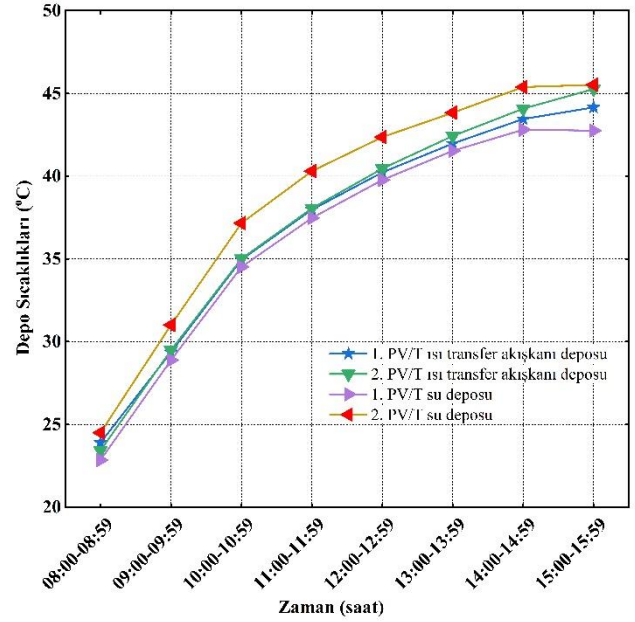
akışkan olarak girmekte ve sıcaklığı ölçülmektedir. Şekil 9'da PV/T panel katmaları ile soğutucu akışkan giriş çıkış sıcaklıkları takip edilmektedir. Burada ise kütle akış hızı 0.014 kg/s olarak belirlenmiştir.



Şekil 9. 2. PV/T sistem katman sıcaklıkları

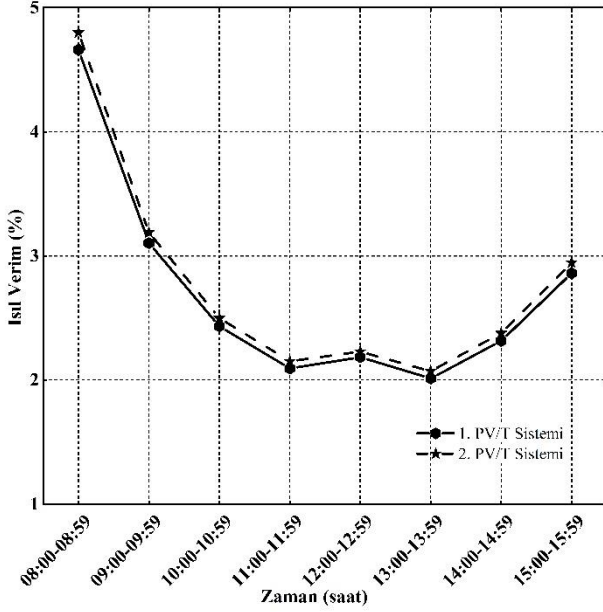
PV/T sistemlerde hücrelerde meydana gelen sıcaklık, sistemde dolaşan soğutucu akışkana transfer edilir ve daha sonra tankta bulunan su da ısı enerjisi olarak depolanır.

Şekil 10'da ortam sıcaklığında bulunan su, PV/T sistemde artan ısının transfer edilmesiyle yükselmektedir. 1. PV/T sistem tarafından ısıtılan depoda bulunan suyun ısısı %65 oranında artmaktadır. Fakat 2. PV/T sistem tarafında ısıtılan depoda bu ısı %80 oranında artmaktadır çünkü ısı transfer akışkanının kütle akış hızı 0.014 kg/s olarak sistemde dolaşmaktadır. Ayrıca ısı transfer akışkanı bulunan depoların sıcaklık değişimi de takip edilmektedir.



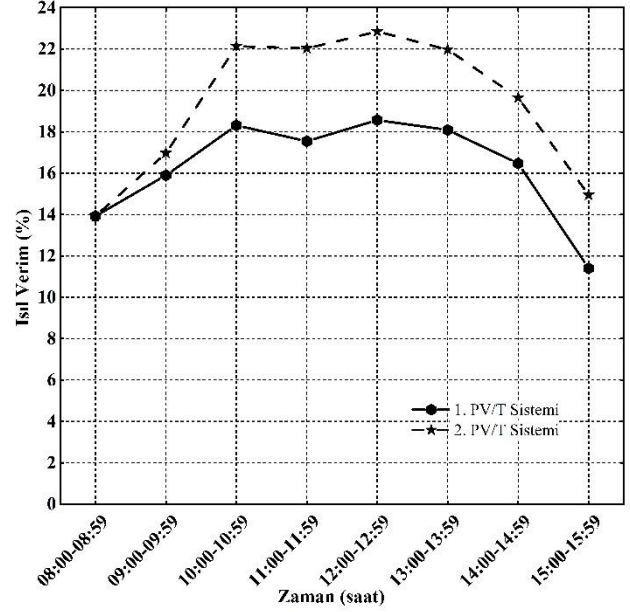
Şekil 10. Sıcak su ve ısı transfer akışkanı depo sıcaklıkları

Şekil 11'de PV/T sistemlerin elektriksel verimleri gösterilmektedir. Deney setinde bulunan 1. PV/T panelde 0.007 kg/s debi ile ısı transfer akışkanı sistemde dolaştırılmaktadır. PV/T sistemler üzerinde yapılan ölçümler sonucu elde edilen veriler, deney başladığı saatlerde 1. PV/T sistemde panel elektriksel verimi %4.66'dır. Işınım miktarının en yüksek ölçüldüğü öğle saatinde %2.01 değerlerine düşmüştür. Deney sonunda ise panel verimi %2.86 olarak ölçülmüştür. Grafikte incelendiğinde, saat 12:25 ile 13:15 arasında güneş ışınım miktarını azaldığı zaman aralığında panel verimi de yükselme göstermiş ve saat 12:35'te %2.18 olarak belirlenmiştir. Deney setinde bulunan 2. PV/T panelde 0.014 kg/s debi ile ısı transfer akışkanı sistemde dolaştırılmaktadır. PV/T sistem üzerinde yapılan ölçümler incelenmiştir. Deney başladığı saatlerde 2. PV/T sistemde panel elektriksel verimi %4.80 iken, en yüksek ışınım miktarının ölçüldüğü öğle saatinde bu değer %2.07 değerlerine düşmüştür. Deney sonunda ise panel verimi %2.94 olarak ölçülmüştür. Grafikte incelendiğinde, saat 12:25 ile 13:15 arasında güneş ışınım miktarını azaldığı zaman aralığında panel verimi de yükselme göstermiş ve saat 12:35'te %3.34 olarak belirlenmiştir.



Şekil 11. Panel elektriksel performansı

Şekil 12 incelendiğinde tasarımı yaptığımız deney setinde bulunan PV/T sistemlerin panellerine düşen ışınım miktarına bağlı olarak değişen termal verim miktarları gösterilmektedir. Sabah saatlerinde ölçülen değerler zaman ilerledikçe belirli bir düzende devam etmektedir. Burada iki panelinde termal verimleri birbirlerine çok yakın olmasına rağmen ısı transfer akışkanı hızı 0.014 kg/s debi olan panelin verimi daha yüksektir. Düşük debide çalışan 1. PV/T sistemin termal verimi sabah saatlerinde %9.55 iken, yüksek debide çalışan 2. PV/T sistemin termal verimi %16.02 olarak belirlenmiştir. Güneş ışınımının en yüksek ölçüldüğü saatte 1. PV/T sistemin termal verimi %17.92 iken, 2. PV/T sistemin termal verimi %21.02 olarak belirlenmiştir. Deney sonunda ise 1. PV/T sistemin termal verimi %18.56 iken, 2. PV/T sistemin termal verimi %22.85 olarak belirlenmiştir.



Şekil 12. Panel ısısal performansı

Deneyde, tasarlanan PV/T sistemlerin verimlerinin kütle akış hızına bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir.

IV. TARTIŞMA

PV/T sistemlerin performansına etki eden birçok parametre vardır. Bunlardan biri olan ısı transfer akışkanının kütle akış hızıdır. Isı transfer akışkanı olarak su kullanıldığında, yüksek kütle akış hızı uygulana PV/T sistemin veriminde artış gözlemlenmiştir. Burada kütle akış hızı belirlenirken, ısı transfer akışkanı olarak kullanılacak maddenin teknik özellikleri göz önüne alınmalıdır. Deneysel çalışmalarda, kullanılacak malzemelerin sistem performansına etkilerini teknik altyapı ve cihazlar ile takip edilebilmek çok önemlidir.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada, tasarlanan PV/T sistemlerin verimleri, ısı transfer akışkanının kütle akış hızına bağlı olarak takip edilmiş ve karşılaştırılması yapılmıştır. 0.014 kg/s kütle akış hızı ile çalışan PV/T sistemin, emici plaka yüzeyinde ölçülen sıcaklık değerinin %12 daha az olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, elektriksel verim yaklaşık olarak %3 ve ısısal verim %19 daha fazla hesaplanmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi, 2022-2-TP3-4727 no'lu proje ile desteklenmiştir. Katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] O. El Manssouri, C. El Fouas, B. Hajji, A. Rabhi, G.M. Tina, A. Gagliano, A. "Mass Flow Rates Effect on the Performance of PV/T Bi-fluid Hybrid Collector (Single and Simultaneous Modes)," in *ICEERE 2020: Proceedings of the 2nd International Conference on Electronic Engineering and Renewable Energy Systems* pp 869–878.
- [2] D. Engin and M. Engin, "Simulation modelling of a photovoltaic and thermal collector (PV/T) hybrid system," in *IEESE 2012: 6th International Ege Energy Symposium & Exhibition* pp 471-482.
- [3] M.A. Yildirim, V. Cebula, M. Sulowicz, "A cooling design for photovoltaic panels e Water-based PV/T system," *Energy*, vol. 256, pp. 124654, October 2022.
- [4] C. Shen, Y. Zhang, C. Zhang, J. Pu, S. Wei, Y. Dong, "A numerical investigation on optimization of PV/T systems with the field synergy theory," *Applied Thermal Engineering*, vol. 185, pp. 116381, February 2021.
- [5] M. Mourshed, N.I. Masuk, H.Q. Nguyen, B. Shabani, "An Experimental Approach to Energy and Exergy Analyses of a Hybrid PV/T System with Simultaneous Water and Air Cooling," *Energies*, vol. 15, pp. 58-88, Sept. 2022.
- [6] H.A. Kazem, A.H.A. Al-Waeli, M.T. Chaichan, K.H. Al-Waeli, A.B. Al-Aasam, K Sopian, "Evaluation and comparison of different flow configurations PVT systems in Oman: A numerical and experimental investigation," *Solar Energy*, vol. 208, pp. 222–237, Sept. 2020.
- [7] A.L. Abdullah, S. Misha, N. Tamaldin, M.A.M. Rosli, F.A. Sachit, "Theoretical study and indoor experimental validation of performance of the new photovoltaic thermal solar collector (PVT) based water system," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 18, pp. 100595, April 2020.
- [8] W. Pang, Y. Cui, Q. Zhang, H. Yu, L. Zhang, H. Yan, "Experimental effect of high mass flow rate and volume cooling on performance of a water-type PV/T collector," *Solar Energy*, vol. 188, pp. 1360-1368, August 2019.
- [9] L. Idoko, A.L. Olimpo and A. McDonald, "Enhancing PV modules efficiency and power output using multi-concept cooling technique," *Energy Reports*, vol.4, pp. 357-369, May. 2018.
- [10] O. Rejeb, M. Sardarabadi, C. Ménézo, M. Passandideh Fard, M.H. Dhaou and A. Jemni, "Numerical and model validation of uncovered nanofluid sheet and tubet ype photovoltaic thermal solar system," *Energy Convers. and Manage.*, vol.110, pp. 367-377, Nov. 2015.
- [11] A.H.A. Al-Waeli, K. Sopian, M.T. Chaichan, H.A. Kazem, A. Ibrahim, S. Mat, M.H. Ruslan, "Evaluation of the nanofluid and nano-PCM based photovoltaic thermal (PVT) system: an experimental study," *Energy Convers. Manage.*, vol. 151, pp. 693-708, Sep. 2017.
- [12] A.H.A. Al-Waeli, K. Sopian, M.T. Chaichan, H.A. Kazem, H.A. Hasan, A.N. Al-Shamani, "An experimental investigation of SiC nanofluid as a base-fluid for a photovoltaic thermal PV/T system", *Energy Convers. Manage.*, vol. 142, pp. 547-558, March 2017.