

## Fotovoltaik Isıl Sistem Performansına Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi

Sinan Dölek<sup>1\*</sup> ve Gökhan Arslan<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Makine Mühendisliği / Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Makine Mühendisliği / Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin Üniversitesi, Türkiye

\*(sinandolekk@gmail.com)

**Özet** – Güneş ışınımı şiddeti ve çevre sıcaklığı artması ile fotovoltaik (PV) panellerin hücre sıcaklığı artmakta ve performansı azalmaktadır. Bu çalışmada, PV panel ve tasarımını yapmış olduğumuz, PV/T panel hücre sıcaklıklarının düşürülmesinde ısı transfer akışkanı olarak su kullanılarak, fotovoltaik ısıl sistemin (PV/T), güneş ışınımı ile çevre sıcaklığına bağlı olarak performanslarının değişimi incelenmektedir. Tasarlanmış olduğumuz kapalı çevrim esasına göre çalışan PV/T sistemde, hücre sıcaklığının düşürülmesinde kullanılan ve bir depoda bulunan 25 kg ısı transfer akışkanı, bir pompa yardımı ile 0.0161 kg/s debi de dolaştırılmaktadır. Bu sistemde panel hücrelerinden, ısı transfer akışkanına aktarılan sıcaklık, içerisinde 50 kg su bulunan bir tankta ısı enerjisi olarak depolanmaktadır. Deney 9:00 ile 16:00 saatleri arasında yapılmıştır. Bu süre içerisinde PV panel hücre sıcaklık değişimi takip edilmiştir. Sonuç olarak, PV panel ve tasarlanmış PV/T sistemin performansı ölçülmüştür. Deney süresince, PV panelin hücre sıcaklık değerleri 36.49 °C ile 52.50 °C arasında ölçülürken, PV/T sistemin hücre sıcaklık değerleri 25.75 °C ile 37.04 °C arasında ölçülmüştür. Isı transfer akışkanının sisteme belirli bir sıcaklığı değeri aralığında gönderilmesi için fan soğutmalı bir ısı değiştirici kullanılmış ve hücre sıcaklık değerleri 26.08 °C ile 34.97 °C değerleri arasında ölçülmüştür. Ayrıca, PV/T sisteme eklenen ve atık ısının depolandığı tanktaki suyun sıcaklık değerinin 20 °C'den 30.78 °C'ye, fan soğutmalı ısı değiştiricisi sisteme eklendiğinde ise 20 °C'den 27.39 °C'ye arttığı gözlemlenmiştir. Böylece ısı transfer akışkanı kullanılarak soğutulan PV/T sistemin elektriksel performansı %2 oranın artmaktadır. Tasarlanan PV/T sistemlerde fan soğutmalı ısı değiştiricisi eklendiğinde ısı performans %13 oranında azalmaktadır. Ayrıca tankta depolanan suyun sıcaklığı %50 oranında artmaktadır.

**Anahtar Kelimeler** – Güneş Enerjisi, PV/T Sistemler, Isı Değiştirici, Isı Transfer Akışkanı, Enerji Depolama

### I. GİRİŞ

Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelen güneş, geçmişten günümüze birçok alanda kullanılmıştır. Bunlardan bazıları, ısınma, kurutma, sıcak su temini olarak sıralanabilir. 21. yüzyılın ortalarından başlayarak güneşten elektrik enerjisi üretilmesi için araştırmalar yapılmaya başlanmış ve sonlarına doğru güneş ışınlarının elektrik enerjisine dönüştürülmesi başarılı olmuş böylece birçok alanda insanların kullanımına sunulmuştur. Güneşten elektrik enerjisi elde etmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Günümüzde, özellikle fotovoltaik (PV) güneş panelleri ile elektrik üretimi yapılmakta

ve giderek yaygınlaşmaktadır. Son yıllarda, araştırmacıların birçoğu güneş enerjisi dönüşüm teknolojileri üzerine yoğun bir şekilde çalışmalar yapmakta olup, bu konuda fotovoltaik (PV), fototermal, fotokimyasal ve üçüncü nesil güneş sistemleri olarak fotovoltaik termal (PV/T) sistemlerin geliştirilmesine olanak sağlamışlardır. Geliştirilen bu sistemlerden birisi olan PV/T sistemlerini diğer güneşten elektrik enerjisi üreten sistemlerinden ayıran en önemli özellik, elektrik ve ısı enerjisinin birlikte üretilmesidir. Aynı anda elektrik ve ısı enerjisi üretimine ulaşmak için güneş kolektörleri ve fotovoltaik teknolojinin

birleştirilmiş versiyonu olarak tanıtılan PV/T sistemler, farklı yöntemlerin uygulanması ile gelişim göstermektedir.

Bir ısı borulu PV/T sistemi üzerinde sayısal ve deneysel bir çalışmada, sıcaklık ölçüm verileri ile deneysel ölçüm verileri %5'ten daha az tutarsızlık göstermiştir. Elektrik üretimi ve termal ortalama verimleri sırasıyla %9.4 ve %41.9 olarak ölçülmüştür [1].

Sıcak iklim koşulları için modülün arkasına monte edilmiş, bir sistem ile PV modül ısını düşürerek, PV modülünün performansını değerlendirmek için sayısal ve deneysel bir çalışma ile soğutma sıvısı olarak su kullanılmıştır. Aktif bir soğutma tekniği eklemenin modülün çalışma sıcaklığını yaklaşık %20 oranında azalttığını ve elektrik verimliliğini yaklaşık %9 oranında artırdığı gözlemlenmiştir [2].

Fotovoltaik güneş panellerinin soğutulması, büyük öneme sahip bir sorundur. Bu çalışma üç yönden benzersizdir. İlk olarak, PV panellerin merkezi soğutma konsepti tanıtılmıştır. İkinci olarak, herhangi bir PV paneli soğutma sisteminde ilk kez toprak bağlantılı ısı değiştirici kullanılmıştır. Üçüncüsü, test sahada gerçek güneş ışınımı altında yapılmıştır. Güneş enerjisinin maliyetini üç şekilde düşürme potansiyeline sahiptir. İlk olarak, standart düz plaka PV modüllerinde soğutma, elektrik üretimini iyileştirebilir. İkincisi, soğutma hibrit PV sistemlerinin kullanımını mümkün kılar. Son olarak, PV soğutma sistemi tarafından soğurulan ısı, evsel veya endüstriyel kullanım için kullanılabilir [3].

Bir güneş enerjili su parçalama sistemi tasarlayarak ve çalıştırarak hidrojen üretimi sistemine dayalı fotovoltaik termal performansın araştırıldığı bir çalışmada sonuçlar, sıcaklık, voltaj ve güç dahil olmak üzere tüm kolektör çıktılarının sistemin akış hızı ile doğrudan matematiksel ilişkisi olduğunu ve ayrıca PVM sıcaklığının akış hızı ile ters ilişkisi olduğunu ortaya koymuştur. Çalışmada sistemin termal verimini %33.8 ve elektrik üretim verimini %8.5'i olarak hesaplanmıştır [4].

Camlı ve camsız durumlarda tek fazlı PV/T sistemlerinin verimliliğindeki iyileştirmelerin incelendiği bir çalışmada, PV panel arka yüzeyindeki kanalın ortasına metal levha yerleştirmenin veya kanalın arka duvarına bir kanat

takmanın ısı soğurumunu iyileştirebileceği sonucuna varılmıştır. Ortam sıcaklığının, termal verimin üzerinde olumsuz etkisi olduğu belirlenmiştir. Ayrıca PV/T sistemler için optimize edilmiş bir geometriye sahip olmanın, sistemin toplam verimliliğini artıracaklarını belirtilmiştir. Örneğin, sistem verimliliği üzerinde önemli etkili parametreler olarak kanalın optimal derinliğini tanıtılmıştır [5].

Hibrit PV/T sisteminin, sıcak suyun doğal sirkülasyonlu olması durumunda sistem duyarlılığını incelediği bir çalışmada, deneysel sonuçlara göre bu sistem için kullanılan 0,83'lük bir PV hücre faktörü ile günlük birincil enerji tasarrufu parametresinin %65'e yükseltilebileceği gösterilmiştir. Öte yandan, PV hücre kaplama faktörü, genel sistem performansını iyileştirmiştir. Ayrıca PV/T sistemlerinin güneş enerjisi çıkışını en üst düzeye arttırmak için en iyi seçenek olduğu belirtilmiştir [6].

Hibrit fotovoltaik termal sistemlerin performansının değerlendirildiği tek fazlı PV/T sisteminde, fotovoltaik panellerin sıcaklığındaki artışla sistemin elektrik üretim veriminin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, bir PV/T kolektörünün verimliliğinin, ısı toplama plakası, PV hücreleri ve cam kapak ile camlı bir kolektör oluşturmak için yan yana yerleştirildiğinde geliştirilebileceği gösterilmiştir. Ek olarak, PV/T kolektör üretim maliyetinin ve bir fotovoltaik panele birleştirilmiş termal sisteminin maliyetinin de düşürülebileceğini belirtilmiştir [7].

Balıkesir Üniversitesi, Çağış kampüsünde kurulan PV/T sistemin elektriksel ve termal çalışma performansları incelenmiştir. 0.015, 0.044 ve 0.069 kg/s' lik akışkan hızlarında yapılan ölçümlerde sistemin termal veriminin %49.9 ile %52.11 arasında değiştiği görülmüştür. Sistemin şebeke bağımsız elektriksel performans incelemesi sonucunda akülerle yük besleme yaparken şarj durumu %40 ile %100 arasında değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca PV/T panelin soğutmalı ve soğutmasız durumlarda elektriksel performansı incelenmiştir ve soğutma yapıldığı durumda elektriksel çıkış maksimum güç noktasında %12.9'lük bir artış belirlenmiş ve bu değerlerde elektriksel verim %12 olarak hesaplanmıştır [8].

Çevre havası sıcaklığından ve güneş ışınımından kaynaklanan panel sıcaklığı artışı, panellerdeki en önemli kayıpları oluşturduğu belirtilen çalışmada, 0-5 m/s hava hızları ve 10-40 °C çevre sıcaklıkları için, panel arkası sıcaklığının değişimleri ve ayrıca, farklı panel arkası sıcaklıklarını, panel arkası hava hızlarını ve çevre havası sıcaklıklarını dikkate almak suretiyle, panel yüzeyinden olan ısı transferi incelenmiştir. Çevre havası ile panel arkası yüzeyi arasındaki farklı sıcaklık farklarının ısı transfer katsayısına etkisi hava hızınınkinden daha az olduğu belirlenmiştir [9].

Bu çalışmada, sıvı tip, fan soğutmalı ısı değiştiricili bir PV/T sistem tasarlanarak, Mersin iklim şartları göz önünde bulundurularak elektriksel ve ısıl performans analizi yapılmıştır. Çalışmanın amacı, farklı boyut ve şekillerde PV/T sistemlerin tasarlanması, PV panellerde ki sıcaklığa bağlı elektriksel performans kayıplarının önüne geçilmesi ve bu panellerde meydana gelen fazla sıcaklığın, daha sonra kullanılmak üzere ısı enerjisi olarak depolanması deneysel olarak incelenmektedir. Daha sonra deneysel olarak ölçülen veriler karşılaştırılmıştır.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

Deney çalışması, Mersin Üniversitesi, Yenişehir kampüsü, makine mühendisliği bölümü, çatı katında ve 36° 47' 1.7412" ile 34° 31' 41.2104" GPS koordinatlarında, haritalarda gösterilen 36.7875 enlem ve 34.5350 boylam konumunda yapılmıştır. Deneysel verilerin ölçümleri 22.01.2023, 23.01.2023, 24.01.2024 tarihlerinde ve saat 09:00 ile 16:00 arasında yapılmıştır. Deney yapılan günlerde, hava sıcaklığı 22 °C ile 32 °C arasında, rüzgar hızı 0.1 m/s ile 6.5 m/s arasında ve nem miktarı %50 ile %75 arasında ölçülmüştür.

### A. PV/T Tasarımı

Deney düzeneğinde panel yerleşim yeri panel açısının ayarlanabilmesi için hareketli olacak şekilde tasarlanmıştır. Kullanılan ORBUS ORB-020P model fotovoltaik (PV) panel teknik özellikleri, Tablo 1'de verilmektedir.

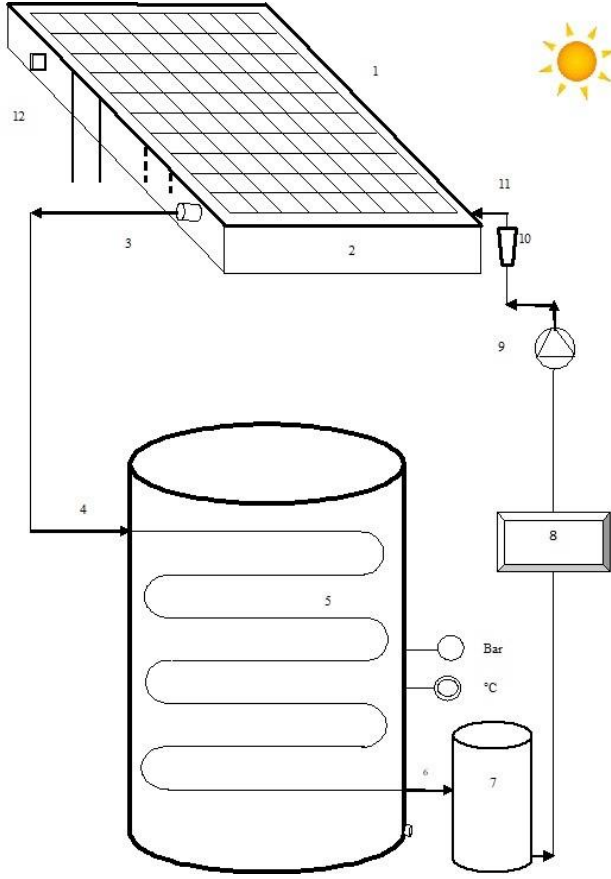
Tablo 1. PV Panel teknik özellikleri

Özellik	Orbus ORB-020P
Maksimum Güç Oranı ( $P_{max}$ )	20W
Güç Tolerans Oranı	-3~+3 %
Maksimum Güç Akımı ( $I_{mpp}$ )	1.1 A
Maksimum Güç Voltajı ( $V_{mpp}$ )	18.18 V
Kısa Devre Akımı ( $I_{sc}$ )	1.2 A
Açık Devre Gerilimi ( $V_{oc}$ )	22.14 V
Sıcaklık Döngü Aralığı	45 ±0.2 %
Maksimum Sistem Gerilimi	1000 V <sub>DC</sub>
Maksimum Sistem Akımı	10 A
Hücre Sayısı	36
Ağırlık	1.86 kg
Standart Test Şartları	Am=1.5,E=1000W/m <sup>2</sup>

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.

Şekil 1'de, fotovoltaik ısı (PV/T) panel (1), panel arkasında içerisinde ısı transfer akışkanın dolaşımı sağlayan bakır borulu levha ve iç yüzeyi ısı kaybını önlemek için cam elyafı ile kaplanmış sac kapak (2), panel çıkışı (3), panel hücrelerinden transfer edilen ısı enerjisinin depolanması için kullanılan depo ve girişi (4), bu ısı enerjisini depo içerisinde bulunan suya aktarılması için tasarlanan bakır boru (5), depo çıkışı (6), içerisinde ısı transfer akışkanı bulunan tank (7), ısı transfer akışkanın PV/T sisteme yaklaşık olarak sabit bir sıcaklıkta girmesini sağlamak için kullanılan fan soğutmalı ısı değiştirici (radyatör) (8), bu akışkanın sistemde dolaşımını sağlamak amacıyla kullanılan pompa (9), soğutucu akışkan akış hızını belirlemek için debimetre (10), panel ısı transfer akışkanı girişi (11), 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

yalıtılmış ve içerisinde ısı transfer akışkanının dolaşımı için 1" bakır borular ile tasarlanmış 50 kg'lık su tankı gösterilmektedir. Burada, panel hücrelerinde ki fazla sıcaklık, daha sonra kullanılmak üzere ısı enerjisi olarak depolanmaktadır.

PV panel arka kısmı EVA ile kaplı olduğundan bakır levha ile EVA arasına hiçbir hava boşluğu kalmayacak şekilde ısı transfer macunu sürülmüştür. Isı transfer macunu, panelden bakır levha olan ısı iletimini iyileştirmektedir. Daha sonra panel arkasına ısı kaybını önlemek için ısı yalıtım malzemesi olarak 4 cm kalınlığında cam yünü bulunan sac kapak montajlanmıştır.



Şekil 3. Sıcak su deposu



Şekil 2. PV/T sistem çalışma şeması

Bu çalışmada, PV panel hücre sıcaklığını düşürmek için ısı transfer akışkanı olarak su kullanılmıştır ve hücrelerden alınan fazla sıcaklık, şekil 3'te gösterilen dış yüzeyi cam elyafı ile

Deney esnasında, birçok farklı noktadan ölçülen verilerin tespiti ve PV/T sistem yapı elemanları üzerindeki sıcaklık değişimlerini anlık olarak takip edebilmek için kayıt cihazı (data logger) kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Elimko marka E-680 serisi universal girişli gelişmiş tarayıcı kayıt cihazı seçilmiştir. Bu cihaz ile ihtiyacımız olan sıcaklık verileri, istenilen süre boyunca, aralıklı olarak sayısal değerlerde bilgisayar ortamına aktarılarak kayıt altına alınmaktadır.

Deney setimizde panel tarafından üretilen elektrik enerjisi belirlemek için sistemde 24 Volt değerinde yük bulunmaktadır. Burada iki adet dijital multimetre ile sistemdeki elektriksel değeri, temel olarak gerilim ve akım ölçmek için kullanılmıştır. Deneylerimizde sıcaklık değerlerini ölçmek için K tipi termokupl kullanılmıştır. Ayrıca sıcaklık, nem, atmosferik basınç, rüzgar hız-yön ve yağış miktarı gibi farklı parametreleri ölçebilen TFA Nexus

profesyonel hava istasyonu kullanılarak kablosuz sensörler ile dış ortam da sıcaklık, nem, yağış miktarını, rüzgar hızını ve yönünü ölçmekteyiz. Bunlara ek olarak, ana ünite ile rüzgar hızı değerlerini ve atmosferik basınç değerlerini ölçmekteyiz.

### B. Deney Seti

Güneş ışınım verilerinin ölçülebilmesi için kullanılan piranometre panel ile aynı düzlemde ve yönde hareket ettirilerek bu düzleme düşen güneş ışınımının ölçümü yapılmaktadır. PV/T panel ve piranometre güney yönünde ve 45° açı ile konumlandırılmış durumda, sistemde dolaşan ısı tranfer akışkanının kütle debisini ölçen debimetre ile bu akışkanın sisteme yaklaşık olarak belirli sıcaklık değerleri aralığında girmesini sağlayan fan soğutmalı ısı değiştiricisi gösterilmektedir.

Deney setimizin şase kısmı panel açısı ayarlanacak ve diğer ekipmanları taşıyacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 4'te, panel akım ve gerilim verilerinin ölçümü için kullanılan multimetreler gösterilmektedir. Burada, PV/T sistem sıcaklıkları 'K tipi' termokupullar kullanılarak ölçülmektedir. 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 termokupullar 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 4. PV/T sistemde kontrol masası

### C. Belirsizlik Analizi

Deneyisel verilerin hata analizi için belirsizlik analizi olarak adlandırılan, hassas bir yöntem kullanılmaktadır. Kline ve McClintock tarafından geliştirilen denklem 1'de, bu yöntemde göre, sistemde ölçülmesi gereken büyüklük R, ve bu büyüklüğe etki eden n adet bağımsız değişkenler ise  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  olsun. Burada,  $R=R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$  yazılmaktadır. Her bir bağımsız değişkene ait hata oranları  $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$  şeklindedir. Ayrıca, R büyüklüğünün hata oranı ise  $W_R$  olarak tanımlanmaktadır [10].

$$W_R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_3} w_3 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{0.5} \quad (1)$$

### D. Sistem Performansının Hesaplanması

Sistemin elektriksel performansını hesaplamak için öncelikle denklem 2'de PV panel elektriksel gücü  $P_{pv}$  bulunmalıdır [11].

$$P_{pv} = IV \quad (2)$$

Burada, PV panel akımı I, gerilimi V ile gösterilmektedir. Sistemin elektriksel verimi  $\eta_{elektrik}$  denklem 3 ile hesaplanmaktadır [12].

$$\eta_{elektrik} = \frac{P_{pv}}{I(A_{pv})} \quad (3)$$

Sistemin ısı performansını belirleyebilmek için denklem 4'teki faydalı enerji  $Q_f$  hesaplanmaktadır [13].

$$Q_f = \dot{m}C_p(T_c - T_g) \quad (4)$$

Burada, ısı transfer akışımının kütleli debisi m, özgül ısı  $C_p$ , sisteme giriş sıcaklığı  $T_g$ , sistemden çıkış sıcaklığı  $T_c$  ile gösterilmektedir. Sistemin ısı verimi  $\eta_{ısıl}$  denklem 5 ile hesaplanmaktadır [14].

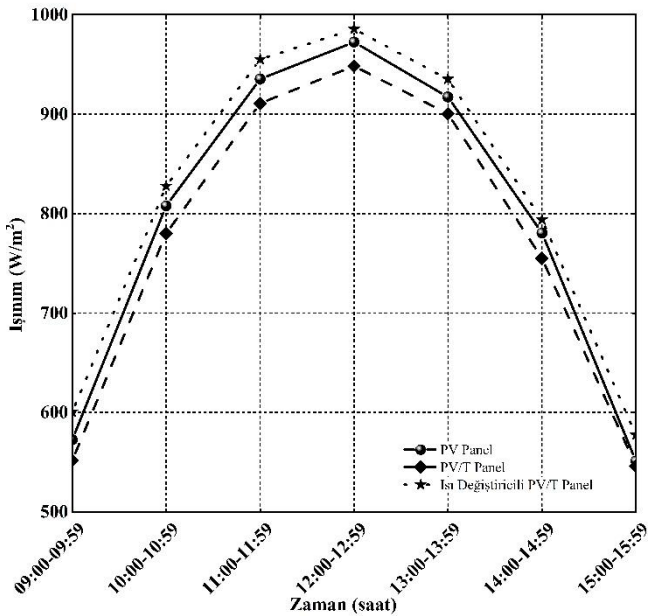
$$\eta_{ısıl} = \frac{Q_f}{G(A_{pv})} \quad (5)$$

Burada, PV panel üzerine düşen güneş ışınımı G ve yüzey alanı  $A_{pv}$  ile gösterilmektedir.

### III. BULGULAR

Deneysel çalışmalar, güneş ışınlarında en yüksek faydayı elde edebilmek için 09:00 ve 16:00 saatleri arasında yapılmıştır. 22.01.2023 tarihinde ısı değiştiricili PV/T sistem, 23.01.2023 tarihinde soğutmasız PV panel ve 24.01.2023 tarihinde sadece ısı transfer akışkanı bulunan PV/T sistemler tasarlanarak, deneysel veriler elde edilmiştir. Güneş ışınım şiddetinin ve ortam sıcaklığının artmasına bağlı değişimler grafik üzerinde görülmektedir. Işınım şiddeti ve ortam sıcaklığındaki değişimlere bağlı olarak PV/T sistem katmanlarında meydana gelen sıcaklık değişimlerine bağlı elektriksel ve ısı performans değişimleri grafikler üzerinden takip edilmektedir.

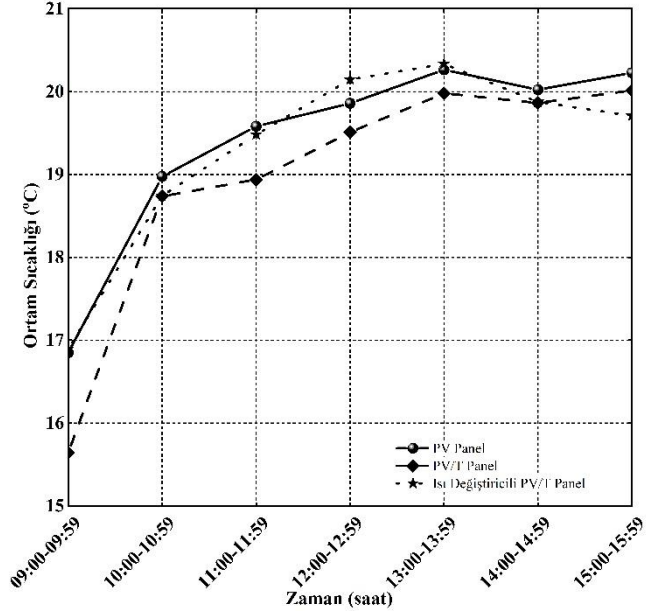
PV/T panel üzerine düşen güneş ışınımı, panel ile aynı yönde ve eğim açısında, bir piranometre ile ölçülmüştür. Şekil 5'te görülebileceği deney yapılan günlerde kayıt edilen ışınım verileri birbirine çok yakındır. Grafik incelendiğinde sabah 9:00'da 560 ve 590 W/m<sup>2</sup> aralığından, öğlen 12:00'dan 13:00'a 950 ve 980 W/m<sup>2</sup> aralığında maksimum değerine ulaşmakta, saat 16.00'da 530 ve 550 W/m<sup>2</sup> aralığına düşmektedir.



Şekil 5. Panel üzerine gelen Güneş Işınımı miktarı

PV/T sistemlerin çalışma performanslarını etkileyen birçok parametre vardır. Bu parametrelerde en önemlisi meteorolojik etmenlerdir. Panel hücre performanslarının ışınım

miktarı kadar ortam sıcaklığını da bağlı olduğu göz önüne alınmalıdır. Deneysel çalışmalar yapıldığı tarihlerde saatlik olarak ortam sıcaklıkları takip edilmiştir. Şekil 6'da ortam sıcaklıklarına ait grafikler incelendiğinde, saatlik ortalama sıcaklık değişimlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür.

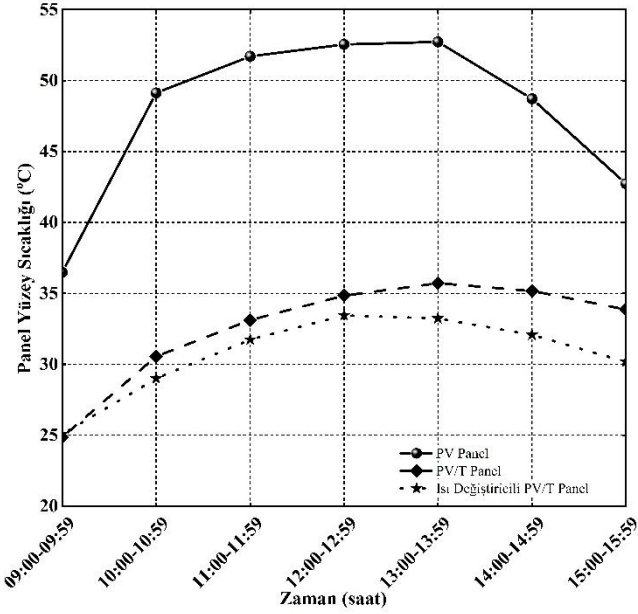


Şekil 6. Ortam sıcaklığı

PV/T sistemde kullanılan PV panel katmanlardan oluşmaktadır. En üstte cam, alt kısmında şeffaf EVA, daha sonra PV hücreleri, ardından tekrar EVA, bu kısımları bir arada tutmak için en altta TEDLAR bulunmaktadır. Panel yüzeyine gelen güneş ışınları cam ve EVA kısımlarından geçerek hücrelere ulaşmaktadır. Bu ışınların bir kısmı atmosfere geri yansıtılmakta, bir kısmı diğer katmanlardan geçerken kırılmakta ve kalan kısmı da hücrelere ulaşarak burada farklı tepkimler sonucu meydana gelen elektron hareketi ile elektrik enerjisine dönüşmektedir. Bu sırada hücrelerde ısı artışı oluşmakta ve zamanla hücre performansını düşürmektedir. Bu ısı, iletim yoluyla diğer katmanlara aktarılmakta, taşınım ve ışınım yoluyla da çevreye transfer edilmektedir. Her katmanın sıcaklıkları takip edilerek panel performansı hesaplanabilmektedir.

Panel yüzey sıcaklıkları, cam yüzeyde belirli noktalara yerleştirilen termokupllar yardımı ile belirlenmektedir. Şekil 7 ve 8'de, yapılan deneylerde elde edilen veriler incelendiğinde

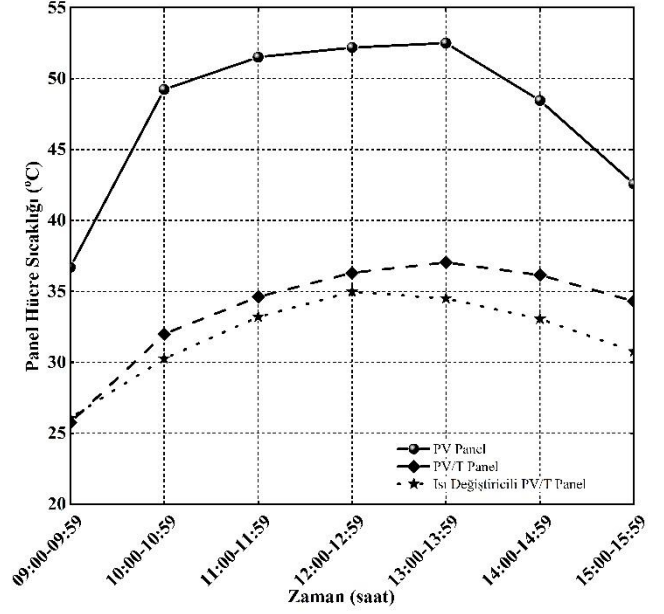
soğutmasız PV panel yüzey sıcaklığı ile hücre sıcaklığı sabah saatlerinde 36°C'den başlayarak, öğle saatlerinde 53 °C'lere ulaşmıştır. Fakat PV/T sistemlerde panel yüzey ve hücre sıcaklıkları 25,5 °C'den en fazla 37 °C'lere kadar yükselmektedir. Burada, PV/T sistemlerde panel yüzey ve hücre sıcaklıklarının yaklaşık %35 oranında azaldığı görülmektedir.



Şekil 7. Panel yüzey sıcaklığı

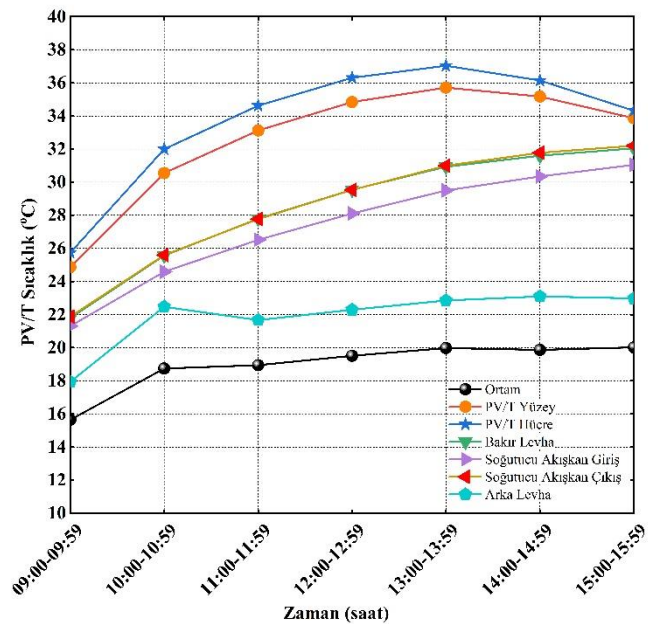
Deneyde, PV/T sistemlerde hücre sıcaklığını düşürmek için ısı transfer akışkanı kullanılmaktadır. Şekil 7 ve 8'de PV/T panel yüzey ve hücre sıcaklıkları 36 °C'lere kadar yükselirken, sisteme fan soğutmalı bir ısı değiştirici eklendiğinde bu sıcaklıkların ortalama %4 oranında azaldığı takip edilmiştir.

Deneylerde kullandığımız PV panel arkasına TEDLAR kısmından sonra 0.5 mm kalınlığında bakır levha yerleştirilmiştir. TEDLAR ve bakır levha arasında ısı transferini arttırmak için herhangi bir hava boşluğu kalmayacak şekilde 0.2 mm kalınlığında termal macun sürülmüştür.



Şekil 8. Panel hücre sıcaklığı

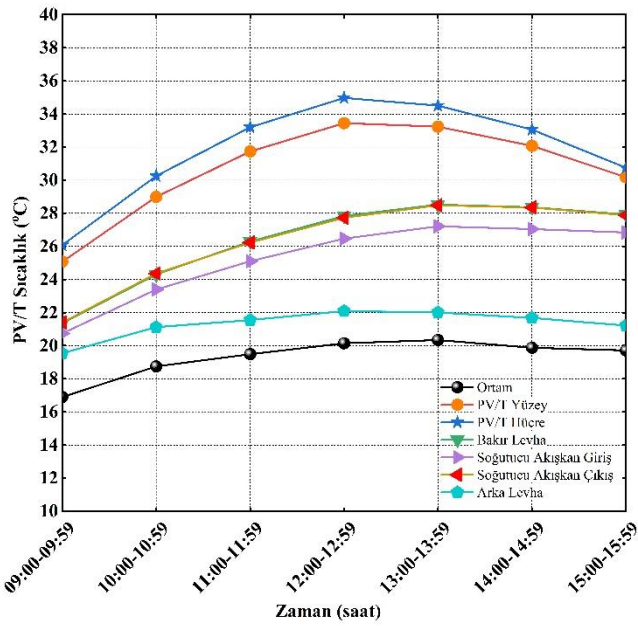
Panel hücrelerinde artan sıcaklığın düşürülmesi için içerisinde ısı transfer akışkanının dolaştırıldığı 1/4'lük bakır boru, panel arkasına yerleştirilen bakır levha üzerine kaynaklanmıştır. Daha sonra panel arkasına içerisinde 6 cm kalınlığında cam yünü yalıtım malzemesi bulunan bir kasa yerleştirilmiştir. Şekil 9'da PV/T sistem katmanlarında belirli noktalara yerleştirilen termokupullar ile sıcaklıkların ölçümü yapılmakta ve saatlik değişimi incelenmektedir.



Şekil 9. PV/T sistem katman sıcaklıkları

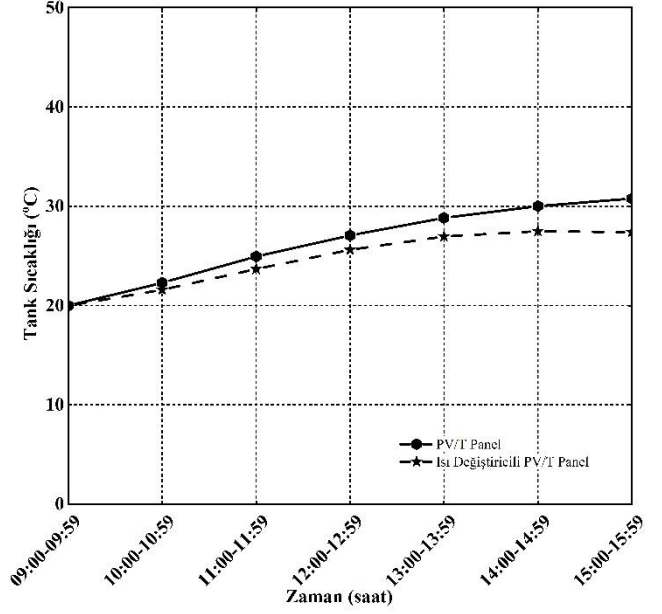
Deneyde, PV/T sistemlerde hücre sıcaklığını düşürmek için ısı transfer akışkanı sisteme soğutucu akışkan olarak girmekte ve sıcaklığı ölçülmektedir. Şekil 10'da PV/T panel katmaları ile soğutucu akışkan giriş çıkış sıcaklıkları takip edilmekte, sisteme fan soğutmalı bir ısı değiştirici eklendiğinde bu sıcaklıkların ortalama %1 oranında değişim gösterdiği belirlenmektedir.

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. Isı değiştiricili PV/T sistem katman sıcaklıkları

Şekil 11'de 20 °C'de bulunan su, PV/T panel hücrelerindeki ısının transfer edilmesiyle 31 °C'ye kadar yükselmektedir. Tankta bulunan suyun ısısı %50 oranında artmaktadır. Fakat sisteme ısı değiştirici eklendiğinde bu ısı %40 oranında artmaktadır. Bunun sebebi belirli bir sıcaklık aralığında çalışan ısı değiştiricisinde ısı transfer akışkanı yaklaşık olarak sabit sıcaklık aralığında panele tekrar giriş yapmaktadır. Fan soğutmalı ısı değiştiricisi sistemde dolaşan ısı transfer akışkanının sıcaklığını düşürdüğü için tanktaki su daha az ısınmaktadır. Böylece panele tekrar giren ısı transfer akışkanı, panel hücrelerinden daha fazla ısı olarak elektriksel performansın artmasını sağlamaktadır.

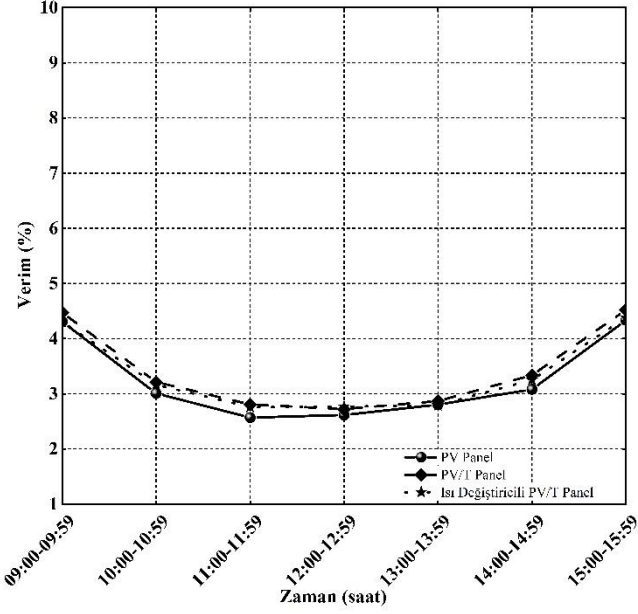


Şekil 11. Tank sıcaklığı

Güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirerek birçok alanda kullanılmasını sağlayan PV paneller gün geçtikçe geliştirilmektedir. Teknolojik olarak geliştirilen bu panellerin elektrik enerjisi üretme performansı artmakta ve ısı enerjisi üreterek evlerde, tarımsal alanlarda, endüstriyel tesislerde kullanılabilir. Günümüzde enerji üretimi kadar üretilen bu enerjinin depolanması da çok büyük önem arz etmektedir. Enerji üretiminde kullanılan çok çeşitli teknolojiler olmasına rağmen, depolama alanında sınırlamalar vardır. Güneş enerjisi ile üretilen elektrik hemen kullanılmakta veya çok kısa süreler ile bataryalarda depolanabilmektedir. Geliştirilen PV/T sistemlerde aynı anda elde ısı enerjisi de genellikle belirli hacimlerdeki su tanklarında ısı enerjisi olarak depolanabilmektedir. Bu sistemlerin, en etkin şekilde kullanılabilmesi için bazı parametreler vardır. Bu parametreler, sistemlerin çalışma kapasitelerini ve performanslarını göstermektedir.

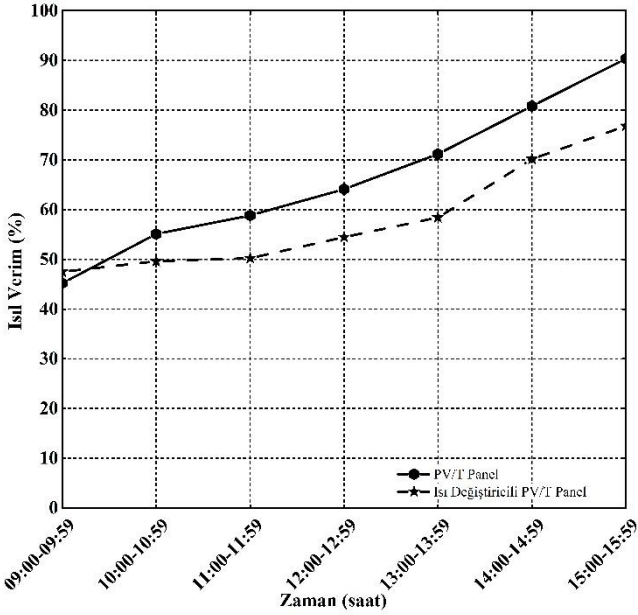
PV/T sistemlerin performansları Şekil 12 ve 13'te PV panel ve PV/T panellerin saatlik olarak elektriksel ve ısıl performansları takip edilmektedir.





Şekil 12. Panel elektriksel performansı

PV/T sistemlerdeki elektriksel performans ortalaması %2 oranında daha fazladır.



Şekil 13. Panel ısı performansını

Deneylerde, PV/T sistem ısı performansını ile ısı değiştiricisi eklenerek tasarlanan PV/T sistemin performansını Şekil 13'te gösterilmektedir. İki sistem arasında %13'lük ısı performans farkı oluştuğu görülmektedir.

Burada kullanılan ısı değiştiricinin fan soğutmalı olması ile ısı transfer akışkanının belirli bir sıcaklık

aralığında hareket ettiği göz önüne alındığında fan soğutmalı PV/T sistemin ısı performansı daha düşük olmaktadır.

#### IV. TARTIŞMA

PV/T panelin performansına etki eden meteorolojik etmenler dışında, emici plakada ki ısı transfer akışkanının termal iletkenliği, teknik özellikleri, katmanların teknik özellikleri, emici plaka arkasına yerleştirilen boruların çapı, kütle akış hızı ve sistem boyutu ile tasarımı gibi birçok parametre vardır. Deneysel çalışmalarda bu parametrelerin etkileri uygun teknik altyapı ile takip edilebilmek çok önemlidir. Deneysel çalışmalarda verileri takip edebilmek kullanılan ölçüm aletlerinin belirsizlik analizleri yapılmalıdır.

Bu çalışmada, tasarlanan PV/T sistemlerin performanslarının da karşılaştırılması yapılmıştır. Deneysel veriler de sisteme fan soğutmalı ısı değiştirici eklemenin, hücre sıcaklıklarını %10 oranında daha da azalttığı ve elektriksel verim üzerinde %2'lik bir performans artışı sağladığı görülmüştür. Fakat ısı performansını %13 kadar azaldığı tespit edilmiştir. Çünkü ısı transfer akışkanını sistemde dolaştıktan sonra tekrar panele girmeden önce ısı değiştiricisine girmekte ve sıcaklığı düşmektedir. Böylece tankta depolanan suyun sıcaklığı bir miktar düşüş göstermektedir.

#### V. SONUÇLAR

Deneysel çalışmalarımızın yapıldığı 22, 23 ve 24.01.2023 tarihleri aynı zamanda küresel iklim değişikliğinin bir göstergesi olmuştur. Çünkü bulunduğumuz coğrafyada yılın en soğuk günlerini yaşamamız gereken Ocak ayında elde ettiğimiz verilere göre ortam sıcaklığı geçmiş yıllara göre daha yüksek seviyelerde ölçülmüştür.

Dünyada artan nüfus miktarına bağlı olarak insanların ihtiyaçları da artmakta ve bu ihtiyaçların karşılanabilmesi için enerjiye ihtiyaç duyan teknolojiler gelişmektedir. Enerji üretiminde kullanılmakta olan fosil yakıtlardan ortaya çıkan karbon monoksit, karbondioksit, kükürt dioksit gibi gaz atıklar ve aerosol gibi gaz, sıvı veya katı parçacıklardan oluşan atıkların çevreye verdiği zararların sonuçları başta olmak üzere, küresel iklim değişikliğine sebep olduğu açıkça görülmektedir. Enerji üretmede etkin olarak kullanılan teknolojiler eğer çevrede kalıcı ve düzeltilmesi çok zor olan

kirliliklere sebep oluyorsa, ayrıca çevreyi ekolojik açıdan küresel anlamda olumsuz yönde etkiliyorsa temiz enerji teknolojilerinden bahsedilemez. Fakat günümüzde insan sağlığına zarar vermeyi tamamen ortan kaldırmaya da en aza indiren çevre dostu teknolojiler büyük bir hızla gelişmekte ve yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi giderek artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en başında gelen güneş enerjisinden faydalanmak için geliştirilen teknolojilere olan ilgi her geçen gün artmaktadır.

Bu çalışmada, güneş enerjisi kullanarak elektrik üreten fotovoltaiik panellerin elektriksel performansının düşmesine neden olan sıcaklık etkisi incelenmiştir. Tasarlan bir PV/T panel üzerine sıcaklık değişimlerini gözlemleyebilmek için termokuplar yerleştirilmiştir. Üç gün 9:00 ve 16:00 saatleri arasında deneyler yapılmıştır. PV/T sistemde sadece ısı transfer akışkanını dolaştırılarak, sistemde soğutma işlemi uygulanmadan ve sistemde dolaştırılan ısı transfer akışkanının sıcaklığını belirli aralıkta tutarak sisteme göndermek için fan soğutmalı bir ısı değiştirici ile deneyler yapılmıştır.

PV/T sistemlerde panel sıcaklığı düşürülmesi için fazla ısının taşınması gerekmektedir. Bunun için de ısı transfer akışkanları kullanılmaktadır. PV panel hücrelerinde meydana gelen ve performansını düşüren fazla sıcaklık ısı enerjisi olarak, farklı uygulamalarda kullanılmak üzere tanklarda depolanabilmektedir.

Sonuç olarak, PV/T panellerde hücre sıcaklığının düşürülmesi ile panel elektrik üretim performansı artmaktadır. Bu sistemlerin farklı teknolojiler ve tasarımlarla geliştirilerek elektriksel ve ısı performanslarının daha fazla iyileştirilebileceği ve enerji depolama sistemi eklenerek daha etkin kullanılabilmesi görülmüştür.

## TEŞEKKÜR

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

## KAYNAKLAR

- [1] P. Gang, F. Hide, Z. Tao, J. Jie, "A numerical and experimental study on a heat pipe PV/T system," *Solar Energy*, vol. 85, pp. 911-921, Feb. 2011.
- [2] H. Bahaidarah, A. Subhan, P. Gandhidasan, S. Rehman, "Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions." *Energy*, vol. 59, pp. 445-453, Aug. 2013.

- [3] A. Sahay, V.K. Sethi, A.C. Tiwari, M. Pandey, "A review of solar photovoltaic panel cooling systems with special reference to Ground coupled central panel cooling system (GC-CPCS)," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 42, pp. 306-312, October. 2015.
- [4] S. Senthilraja, R. Gangadevi, R. Marimuthu, M. Baskaran, "Performance evaluation of water and air based PVT solar collector for hydrogen production application," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 45, pp. 7498-7507, March. 2019.
- [5] J.K. Tonui, Y. Tripanagnostopoulos, "Performance improvement of PV/T solar collectors with natural air flow operation," *Solar Energy*, vol. 82, pp. 1-12, June. 2007.
- [6] J. Ji, J.P. Lu, T.T. Chow, W. He, G. Pei, "A sensitivity study of a hybrid photovoltaic/thermal water-heating system with natural circulation," *Applied Energy*, vol. 84, pp. 222-237, Feb. 2007.
- [7] B.J. Huang, T.H. Lin, W.C. Hung, F.S. Sun, "Performance evaluation of solar photovoltaic/thermal systems," *Solar Energy*, vol. 70, pp. 443-448, Sep. 2001.
- [8] M. Gül ve E. Akyüz, "Fotovoltaiik-termal (PV/T) bir sistemin deneysel performansının incelenmesi," *Balikesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 21, pp. 444-458, 2019.
- [9] Ö. İnanç, "Fotovoltaiik (PV) Panelde Isı Taşımının Analizi," Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, Turkey. 2020.
- [10] S. J. Kline and F. A. McClintock, "Describing Uncertainties in Single-Sample Experiments," *Mechanical Engineering*, vol. 75, pp. 3-8, 1953.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.