

# PV/T SİSTEMLERDE SOĞUTUCU OLARAK ÇDKNT-SU NANO AKIŞKAN KULLANIMININ DENEYSEL İNCELENMESİ

Muhammet KAYFECİ<sup>1</sup>, Salaheldin ALOUS<sup>2</sup>, Ali UYSAL<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

<sup>2</sup>Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

<sup>3</sup>Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, Türkiye

## ÖZET

Güneş ısı uygulamalarında nano-akışkan kullanımı dikkate değer araştırmalarda önemli sonuçlar elde edilmesine rağmen, güneş ısı sistemlerinde en iyi nano-akışkan kullanımını etkileyen sayısız faktörün kapsamlı ve bütünsel olarak anlaşılması için daha ayrıntılı teorik ve deneysel çalışmalara ihtiyaç vardır. PV/T sistemlerin performansının, nano-akışkanları çalışma akışkanları olarak kullanarak arttırması son yıllarda yaygın şekilde araştırılmasına rağmen, bu uygulama ile ilgili literatür çalışmalarında hala eksikler vardır.

Bu çalışma, PV/T kollektörlerin performansını arttırmak için nano-akışkan kullanılması deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmada bir PV/T kollektör tasarımı yapılmış ve Karabük, Türkiye’de dış şartlarında test edilmiştir. Bu çalışmada ele alınan çalışma akışkanları ağırlıkça % 0,5 konsantrasyona sahip baz akışkan olarak su içerisinde dağılmış çok duvarlı karbon nanotüplerdir (ÇDKNT). Deneyler ÇDKNT ve referans akışkan olarak saf su için 0,5 L / dak’lık hacimsel debide gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonuçları, ÇDKNT-su nano-akışkanının, elektriksel enerji bakımından, saf su ile karşılaştırıldığında daha iyi bir performans sergilediğini göstermiştir. Ayrıca, PV modülüne termal ünite eklenmesi, toplam enerji verimliliğini saf su için % 53,4; ÇDKNT-su için % 57,2 arttırmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** PV/T panel; güneş enerjisi, ÇDKNT; nano-akışkan, verimlilik.

## 1. GİRİŞ

Fotovoltaik termal kollektörlerde (PV/T) soğutucu olarak, geleneksel çalışma akışkanlarına (su, hava, yağ) kıyasla termo-fiziksel özelliklerinin gelişmiş olması nedeniyle, nano-akışkanların kullanılması son yıllarda oldukça ilgi çekmiştir. 1995 yılında Choi ve Estman [1] tarafından tanıtılan nano-akışkanlar, tipik olarak sıvı içinde asılı halde 1 ila 100 nm boyutlarında katı nano partiküllerden veya nano fiberlerden oluşan katı-sıvı kompozit malzemelerdir. Literatürde PV/T sistemlerde nano-akışkanların kullanılmasıyla ilgili birçok araştırma bulunmakta, nano-akışkan soğutmalı PV/T sistemlerinin performansında, diğer geleneksel soğutmalı PV/T sistemlerine kıyasla çok daha verimli sistemler olduğu gösterilmiştir. Sardarabadi ve diğ. [3], bir PV/T sisteminde 30 L/s akış hızında ağırlıkça % 1,0 ve %3,0 konsantrasyonlarda SiO<sub>2</sub>/su nano-akışkanı kullanarak deneysel bir çalışma yürütmektedir. Toplam verimdeki artışın ağırlıkça %1 için %3,6 ve ağırlıkça %3 için %7,9 olduğunu, ısı veriminin PV/T-su sistemine göre sırasıyla %7,6 ve %12,8 ile %12,8 arttığını göstermişlerdir. PV sistemi ile PV/T sisteminin toplam ekserjisi karşılaştırıldığında saf su, %1 ve %3 oranında silika/su için sırasıyla %19,36; %22,61 ve %24,31 artmıştır. Al-shamani ve diğ. [4] deneysel olarak, 0,068; 0,102; 0,136 ve 0,17 kg/s debilerinde SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, SiC su bazlı nano-akışkanlar ile PV/T sisteminin performansını incelemişlerdir. Ağırlıkça % 0,5; 1,0 ve 2,0 nanofluid konsantrasyonlarında; SiC nanofluid, % 13,52 en yüksek elektriksel verimi ve % 81,73 en yüksek toplam verimi göstermiştir. Ebaid ve diğ. [5], deneysel çalışmalarında, 0,5-5 L/dak akış hızında ağırlıkça %0,01; 0,05; 0,1 konsantrasyonlarda TiO<sub>2</sub>/su-setiltrimetilamonyum bromür karışımı ve AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ su-polietilen glikol karışımı kullanmışlardır.

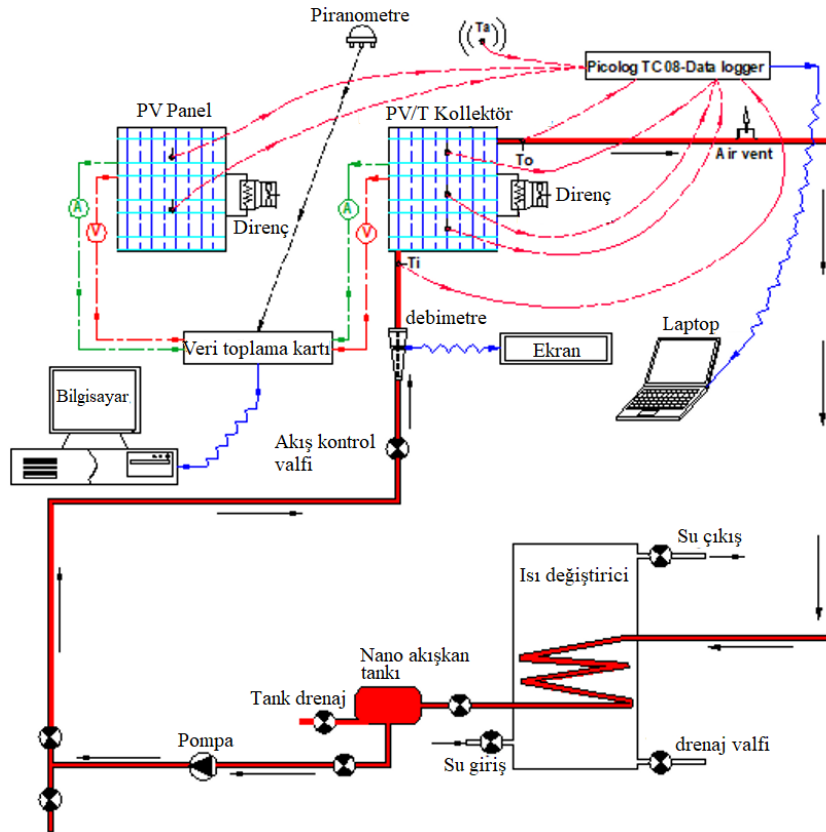
Sonuçlar  $Al_2O_3$  nanofluid'in  $TiO_2$  nanofluid ve sudan daha iyi performansı olduğunu göstermiştir. Üstelik, daha yüksek nano-akışkan konsantrasyonu, çalışılan tüm hava debisi aralığı için PV hücresinde daha etkin soğutma sağlamıştır. Fayaz et.al. [6], ÇDKNT-su nano-akışkanının kullanılmasının farklı akış hızlarında PV/T sisteminin performansı üzerindeki etkisini sayısal ve deneysel olarak araştırmıştır. Ağırlıkça %0,75 nano akışkan konsantrasyonunda ve sabit  $1000 \text{ W/m}^2$  güneş ışınımı  $32 \text{ }^\circ\text{C}$  giriş sıcaklığı,  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  ortam sıcaklığında,  $10 \text{ L/saat}$  debisinde, hücre sıcaklığının sayısal analizde  $0,72 \text{ }^\circ\text{C}$  ve  $0,77 \text{ }^\circ\text{C}$  düştüğünde PV'nin elektriksel verimlilik artışının, sırasıyla %10,72 ve %12,25 arttığını göstermiştir.

Bu çalışmada, güneş paneli verimine sıcaklık etkisinin incelenmesi ve panellerin ısı değiştirici eklenerek soğutulmasının panel elektrik, termal ve toplam enerji verimlerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla serpantin tipi ısı değiştirici kullanılan PV/T sisteminde saf su ve ağırlıkça %0,5 ÇDKNT nano akışkanı kullanılarak soğutkan performansları ve PV panel ile PV/T panel verimlilikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Deneysel Sistem

Deney düzeneği Şekil 1'de gösterildiği, hareketli bir kutu içerisine  $30^\circ$  sabit eğim açısında monte edilmiş PV modülü (referans) ve PV/T kolektöründen oluşmaktadır. PV paneller  $40 \text{ W}$  gücünde, polikristalin, açık devre gerilimi  $22,1 \text{ V}$ , açık devre akımı  $2,58 \text{ A}$ , açıklık alanı  $355 \times 652 \text{ mm}$ 'dir. PV/T kolektörü ile PV panel aynı elektriksel ve mekanik özelliklerde olup; PV/T panel arkasına serpantin tipi bir ısı değiştirici termal macun, bakır levha ve üst katmanda ısı yalıtım malzemesi kullanılarak kolektör oluşturulmuştur.



Şekil 1. Deneysel sistem şeması

Deneysel sistem değişken hızlı sirkülasyon pompası, soğutucu eőanjör, nano-akışkan tankı, bağlantı boruları, debi ölçer, akım, gerilim, sıcaklık ve ışı nım sensöründen oluşmaktadır. Deney tesisatı üzerinde panel ön ve arka yüzey sıcaklıkları, PV/T kollektör giriş ve çıkış sıcaklıkları, ısı değiştirici giriş ve çıkış sıcaklıkları, yük olarak dirence bağlanan panellerde akım ve gerilim değerleri, panel eğim açısına gelen ışı nım şiddeti değerleri 30 s aralıklar ile ölçülerek MATLAB Simulink kontrollü veri toplama kartı ile kaydedilmiştir.

## 2.2. Nano akışkanlar

Soğutkan olarak PV/T kollektörde kullanılan ÇDKNT-su dispersiyonu içinde (18-28 nm dış çapında ve %96'dan fazla saflıkta) NANOGRAFI Ltd. Şti'den alınmıştır. Nano akışkanlar ağırlıkça %0,5 konsantrasyonlarda hazırlanmıştır. Nanopartiküllerin ve suyun termo-fiziksel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1. Su ve ÇDKNT termofiziksel özellikleri**

Malzeme	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	k (W/mK)	$C_p$ (kJ/kgK)
Su [8]	997	0,607	4,180
ÇDKNT [9]	1600	3000	0,796

Nano akışkanların termofiziksel özelliklerinin hesaplanmasında yoğunluk hesabında, Pak ve Cho modeli [11], özgül ısıların hesaplanmasında Xuan and Roetzel modeli [12] ve ısı iletkenliğin hesaplanmasında Maxwell-Garnet modeli [13] kullanılarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$\rho_{nf} = \phi \cdot \rho_n + (1 - \phi) \cdot \rho_f \quad (1)$$

$$(\rho_{nf} \cdot C_{p,nf}) = \phi \cdot (\rho_n \cdot C_{p,n}) + (1 - \phi) \cdot (\rho_f \cdot C_{p,f}) \quad (2)$$

$$k_{nf} = k_f \frac{k_n + 2k_f - 2\phi(k_f - k_n)}{k_n + 2k_f + \phi(k_f - k_n)} \quad (3)$$

$$\phi = \frac{m_n/\rho_n}{m_n/\rho_n + m_f/\rho_f} \quad (4)$$

burada:  $\rho$  yoğunluk (kg/m<sup>3</sup>),  $C_p$  özgül ısı (kJ/kgK), k ısı iletkenlik katsayısı (W/mK), ve  $\phi$  baz akışkan içerisinde nano partiküllerin hacimsel oranını göstermektedir. Alt indisler n, f, ve nf sırasıyla nano partikül, baz akışkan ve nano akışkanı ifade etmektedir. PV/T kollektörde faydalı ısı güç kazanımı  $Q_u$  (W) Őu şekilde hesaplanabilir;

$$Q_u = \dot{m} C_p (T_o - T_i) \quad (5)$$

burada,  $\dot{m}$  soğutucu akışkan kütleli debisi (kg/s),  $C_p$  soğutucu özgül ısı (kJ/kgK),  $T_i$  ve  $T_o$  soğutucu giriş ve çıkış sıcaklıklarını göstermektedir. PV ve PV/T modüller elektriksel gücü Őu şekilde bulunabilir;

$$P = I_{opt} \times V_{opt} \quad (6)$$

burada:  $I_{opt}$  (A) optimum akım ve  $V_{opt}$  (V) optimum gerilim değeridir PV/T'nin enerji verimliliği (termodinamik verimin birinci yasası), PV/T kollektörün güneş ışı masından elde ettiği enerji miktarını (elektriksel ve termal) temsil eder. Termal ( $\eta_{th}$ ) ve elektriksel ( $\eta_{el}$ ) verimleri Őöyle ifade edilir:

$$\eta_{th} = \frac{Q_u}{I_R \times A_{th}} \quad (7)$$

$$\eta_{el} = \frac{P}{I_R \times A_{PV}} \quad (8)$$

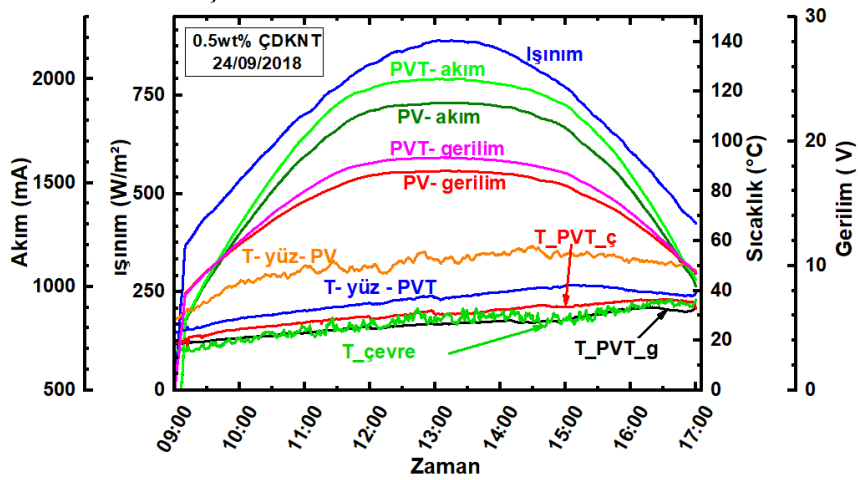
burada:  $I_R$ , PV ve PV/T kollektör yüzey alanına gelen ( $W/m^2$ ) toplam güneş ışınımı,  $A_{PV}$  ve  $A_{th}$  PV panel ve PV/T kollektör yüzey alanlarıdır ( $m^2$ ). PV/T kollektör toplam enerji verimliliği ( $\eta_{tot}$ ) şu şekilde hesaplanabilir[14]:

$$\eta_{tot} = \eta_{th} + r \cdot \eta_{el} \quad (9)$$

Burada:  $r = A_{PV}/A_{th}$  paketleme faktörüdür.

### 3. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneysel çalışmalar Karabük ili dış şartlarında Ağustos ve Eylül aylarında, 09:00-17:00 saatleri arasında 0,5 L/dak akışkan debisinde ve ölçümlerde her 30 s'de veri alınarak gerçekleştirilmiştir. ÇDKN-su nano akışkanı kullanılarak yapılan deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar Şekil 2'de gösterilmiş, burada 30 s aralıklarla toplanan verileri 30 dakikalık ortalamaları alınarak kullanılmıştır. Ağırlıkça %0,5 konsantrasyonda hazırlanan nano akışkan özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

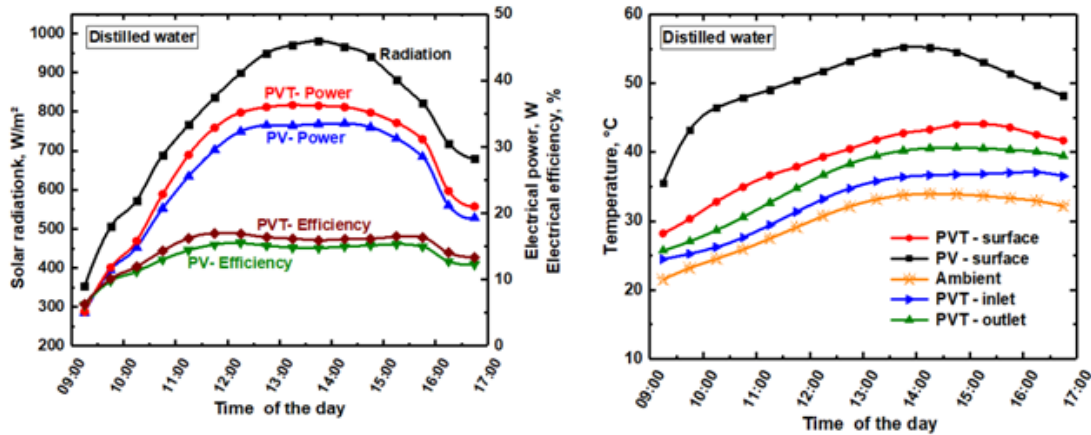


Şekil 2. ÇDKNT zamana bağlı PV ve PV/T parametrelerinin değişimi

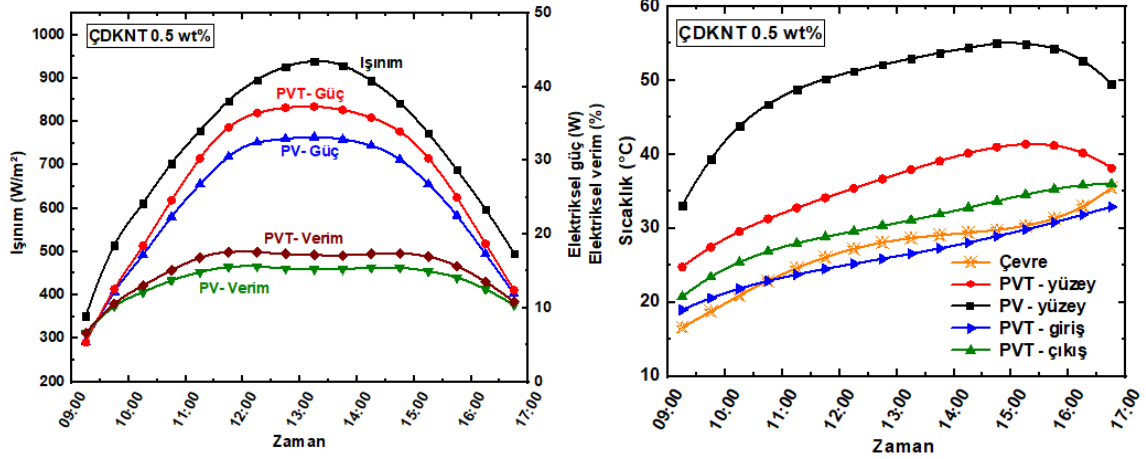
Tablo 2. Nano akışkanların termo-fiziksel özellikleri.

Nanoakışkan	wt. (%)	$\rho$ ( $kg/m^3$ )	$k$ (W/mK)	$C_p$ (kJ/kgK)	$(\rho \cdot C_p)$ (kJ/mK)
ÇDKNT-Su	0,5	1185,3	1,4328	2,7538	3264,1

Saf su için yapılan deneysel çalışmada, PV ve PV/T panel yüzey sıcaklıkları, elektriksel performansları ve PV/T kollektör giriş ve çıkış sıcaklıkları ölçülerek yapılan analizlerde elde edilen sonuçlar Şekil 3'te gösterilmiştir.

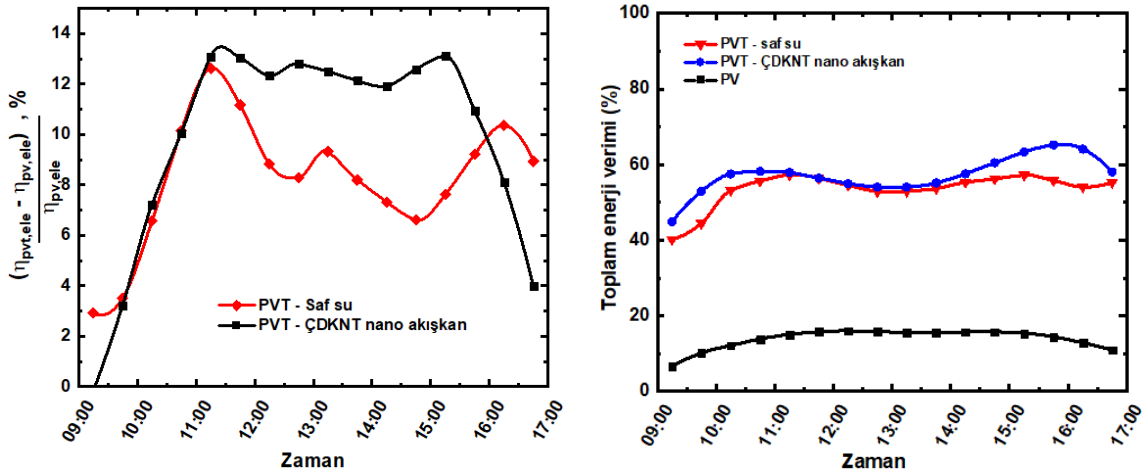


Şekil 3. Saf suyla soğutma için ölçülen ve hesaplanan parametrelerin günlük varyasyonları



Şekil 4. ÇDKNT-su nanofluid ile soğutma için ölçülen ve hesaplanan parametrelerin günlük varyasyonları.

Hem PV/T kollektör ve hem de PV paneli için ölçülen yüzey sıcaklıkları ortalamaları, termal ve elektriksel verimleri saf su ve ÇDKNT nano akışkanı için Şekil 3 ve 4'te verilmiştir. Hem PV panel hem de PV/T toplayıcı tarafından üretilen elektrik gücünün değişimi, deney süresi boyunca güneş radyasyonu değerine paralel olarak değişmiş ve en büyük elektriksel verim öğle saatlerinde ışınımın maksimum olduğu anlarda elde edilmiştir. PV/T kollektör yüzey sıcaklığı, soğutma sistemi eklenmesinin bir sonucu olarak daha düşük ölçülmüştür (soğutmalı PV modülü) ve dolayısıyla PV/T toplayıcısının ürettiği elektrik enerjisi, PV modülünün ürettiğinden daha yüksek olmuştur. Ağustos ayında yapılan PV/T kollektörde saf suyun kullanıldığı deneylerinde, öğle saatlerinde, güne ışınımının  $981 W/m^2$  ve çevre sıcaklığının  $34 ^\circ C$  olduğu bir anda PV panel ortalama yüzey sıcaklığı  $55 ^\circ C$ 'ye ulaşırken PV/T kollektör yüzey sıcaklığı  $34 ^\circ C$  ölçülmüştür. ÇDKNT nano-akışkan için yapılan deneylerde ise ışınım değeri maksimum  $939 W / m^2$ , çevre sıcaklığı  $29 ^\circ C$ 'ye ulaştığı öğle saatlerinde ölçülen ortalama PV yüzey sıcaklığı  $53 ^\circ C$  iken PV/T kollektör yüzey sıcaklığı  $38 ^\circ C$  olarak ölçülmüştür. PV panel ile PV/T panel yüzey sıcaklıkları arasındaki maksimum fark saf sulu sistemde  $14 ^\circ C$  iken ÇDKNT kullanımında  $16 ^\circ C$  olmuştur. Grafiklerde de görüldüğü gibi en yüksek termal verim ÇDKNT kullanımında elde edilmiştir. Ölçümler esnasında günlük ortalama güneş radyasyonu değeri saf su ve ÇDKNT nano akışkanı için sırasıyla  $783$  ve  $737 w/m^2$  olmuştur. Ayrıca ÇDKNT nano akışkanı termal stabilite ve elektriksel verimlilik açısından sudan daha iyi performans göstermiştir. Bunun nedeni termal iletkenliğinin yüksek olmasından dolayı akışkan içerisinde ısının daha iyi yayılmasıdır.



#### Şekil 5. Zamana bağlı, a) PV panele göre enerji verimliliği artış oranları, b) Toplam enerji verimleri

PV panel ve PV/T kollektör toplam enerji verimleri Şekil 5a ve b'de karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Toplam enerji verimliliği, elektrik verimliliğinden çok, termal verimlilikten etkilenir. Test süresi boyunca ısıl verimin değişmesi, ortam sıcaklığı, rüzgar hızı, nem ve güneş radyasyonu miktarı gibi deneysel koşullar değişimlerinin bir sonucu olarak belirli bir eğilimi takip etmemektedir. PV modülüne ısı değiştirici eklenmesi durumunda, toplam enerji verimliliğini saf su için %53, ÇDKNT-su nano akışkanı için %57 olarak elde edilmiştir. Diğer yandan toplam ekserji verimindeki artış saf su ve ÇDKNT-su nano-akışkanı ile soğutulmuş PV/T kollektörler için sırasıyla %11 ve %12 olarak hesaplanmıştır.

## 4. SONUÇLAR

Bu deneysel çalışmada, saf su ve ağırlıkça %0,5 konsantrasyonlu ÇDKNTS-su nano-akışkan kullanılan bir PV/T sisteminin performans değerlendirmesi, 0,5 L/dak sabit soğutucu akışkan debisinde yapılmıştır ve geleneksel bir PV ile karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen bulgular aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- Konvansiyonel bir PV modülüne soğutma sistemi eklendiğinde, günlük ortalama güneş ışınımını saf su ve ÇDKNT deneylerinde sırasıyla 783 ve 737 W/m<sup>2</sup> olduğu durumda PV panel yüzey sıcaklığı, sırasıyla 14 °C ve 16 °C düşürülmüştür.
- Saf su ile yapılan deneylerde PV/T sistem elektriksel verimi %8,5 artarken, PV panel verimi %13,5 olduğu anda PV/T panel günlük ortalama enerji verimliliği %53,4 olmuştur.
- ÇDKNT-su nano akışkanı kullanıldığında PV/T panel elektriksel verimliliği %10,6 oranında artmıştır.
- Elektriksel enerji verimliliği artışı bakımından, ÇDKNT-su nano-akışkanları, güneş ışınımı ve hücre sıcaklığının en yoğun olduğu anlarda saf suya göre daha iyi bir stabilite göstermiştir.
- PV/T-saf su yerine ÇDKNT-su nano akışkanı kullanılması durumunda günlük ortalama toplam enerji verimliliği %7 artarken, günlük ortalama termal enerji verimliliği %8,6 oranında arttırılmıştır.

### Teşekkür

KBÜ-BAP-17-DR-262 kodlu Doktora BAP projesi kapsamında projeye destek veren Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkür ediyoruz.

### Kaynaklar

- [1] Chol S. and Estman J., "Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles," *ASME-Publications-Fed*, vol. 231, pp. 99-106, 1995.
- [2] Sridhara V. and Satapathy L. N., "Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-based nanofluids: a review," *Nanoscale Research Letters*, vol. 6, p. 456, 2011.
- [3] Sardarabadi M., Passandideh-Fard M. and Heris S. Z., "Experimental investigation of the effects of silica/water nanofluid on PV/T (photovoltaic thermal units)," *Energy*, vol. 66, pp. 264-272, 2014.
- [4] Al-Shamani A. N., Sopian K., Mat S., Hasan H. A., Abed A. M. and Ruslan M. H., "Experimental studies of rectangular tube absorber photovoltaic thermal collector with various types of nanofluids under the tropical climate conditions," *Energy Conversion and Management*, vol. 124, pp. 528-542, 2016.

- [5] Ebaid M. S., Ghrair A. M., and Al-Busoul M., "Experimental investigation of cooling photovoltaic (PV) panels using (TiO<sub>2</sub>) nanofluid in water-polyethylene glycol mixture and (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) nanofluid in water-cetyltrimethylammonium bromide mixture," *Energy Conversion and Management*, vol. 155, pp. 324-343, 2018.
- [6] Fayaz H., Nasrin R., Rahim N. A. and Hasanuzzaman M., "Energy and exergy analysis of the PV/T system: Effect of nanofluid flow rate," *Solar Energy*, vol. 169, pp. 217-230, 2018/07/15/ 2018.
- [7] Abdallah S. R., Saidani-Scott H. and Abdellatif O. E., "Performance analysis for hybrid PV/T system using low concentration ÇDKNT (water-based) nanofluid," *Solar Energy*, vol. 181, pp. 108-115, 2019.
- [8] Sengers J. and Watson J. T. R., "Improved international formulations for the viscosity and thermal conductivity of water substance," *Journal of physical and chemical reference data*, vol. 15, pp. 1291-1314, 1986.
- [9] Nasrin R., Rahim N. A., Fayaz H., and Hasanuzzaman M., "Water/ÇDKNT nanofluid based cooling system of PV/T: Experimental and numerical research," *Renewable Energy*, vol. 121, pp. 286-300, 2018/06/01/ 2018.
- [10] Contreras E. M. C., Oliveira G. A., and Bandarra Filho E. P., "Experimental analysis of the thermohydraulic performance of graphene and silver nanofluids in automotive cooling systems," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 132, pp. 375-387, 2019.
- [11] Pak B. C. and Cho Y. I., "Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles," *Experimental Heat Transfer an International Journal*, vol. 11, pp. 151-170, 1998.
- [12] Xuan Y. and Roetzel W., "Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids," *International Journal of heat and Mass transfer*, vol. 43, pp. 3701-3707, 2000.
- [13] Maxwell-Garnett J. C., "Colours in metal glasses and in metallic films," *Phil. Trans.*, vol. 203, pp. 385-420, 1904.
- [14] Chow T. T., Pei G., Fong K., Lin Z., Chan A., and Ji J., "Energy and exergy analysis of photovoltaic–thermal collector with and without glass cover," *Applied Energy*, vol. 86, pp. 310-316, 2009.
- [15] Vakili M., Hosseinalipour S., Delfani S., Khosrojerdi S., and Karami M., "Experimental investigation of graphene nanoplatelets nanofluid-based volumetric solar collector for domestic hot water systems," *Solar Energy*, vol. 131, pp. 119-130, 2016.