



# NANOAKIŞKAN KULLANILAN GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİNİN ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

*Comparison of Nanofluidic Solar Collectors in Terms of Energy Efficiency*

Fırat Kesen  
Hüseyin Günerhan  
Arif Hepbaşlı

## ÖZET

Bu çalışmada, nanoakışkan kullanılan güneş kolektörlerinde, nanoakışkanların kolektörlerin enerji verimliliğine etkileri değerlendirilmiştir. Değerlendirme farklı nanoakışkan türleri, boyutları, derişimleri ve sürfaktan kullanılması gibi etkenler göz önüne alınarak yapılmıştır. Çalışma kapsamlı bir literatür çalışması içermektedir. Nanoakışkanların düzlemsel kolektör ve parabolik kolektörün verimliliğine etkileri tablolarda detaylı olarak sunulmuştur. Kolektörlerde kullanılan standart sıvılar yerine çok yüksek ısı iletkenlik sağlama kapasiteleri ve buna bağlı olarak verimi artırma yeteneği olan nanoakışkanların kullanılmasıyla enerji verimliliğinde önemli ölçüde iyileşme olabileceği görülmüştür. Bu çalışmada detaylı araştırma sonuçlarına bağlı olarak, uygun nanoakışkan kullanımı ile kolektör verimliliğinde %95'lere varan enerji verimliliği artışları sağlanmasının mümkün olabileceği vurgulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Kolektör, Nanoakışkan, Enerji verimliliği.

## ABSTRACT

In this study, the effects of nanofluids on the energy efficiency of collectors in solar collectors using nanofluids were evaluated. The evaluation was made by considering factors such as different nanofluid types, sizes, concentrations and surfactant usage. The study includes a comprehensive literature study. The effects of nanofluids on the efficiency of the flat-plane collector and parabolic collector are presented in detail in the tables. It has been observed that a significant improvement in energy efficiency can be achieved by using nanofluids with very high thermal conductivity capacity and consequently the ability to increase efficiency instead of standard liquids used in collectors. In this study, it was emphasized that, depending on the detailed research results, it is possible to achieve energy efficiency increases of up to 95% in collector efficiency with the use of appropriate nanofluid.

**Key Words:** Collector, Nanofluid, Energy efficiency.

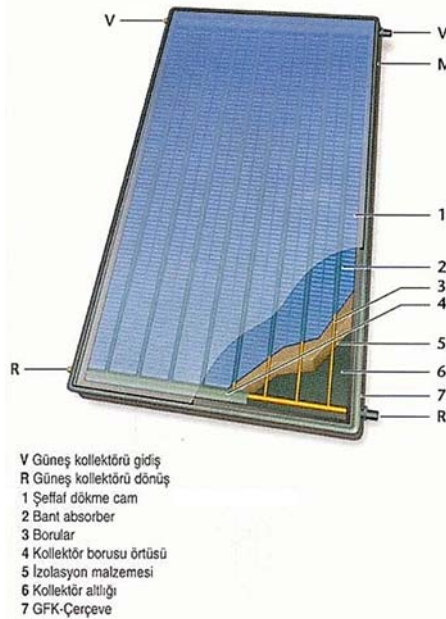
## 1. GİRİŞ

Fosil yakıtların kontrolsüz kullanımı nedeniyle çevre kirliliği kötüleştiğçe, fosil yakıtların yenilenmesi için yenilenebilir enerjiye olan ilgi artmaktadır. Bir tanesi güneş enerjisi olan çok sayıda yenilenebilir enerji formu vardır. Güneş enerjisi, çevre dostu ve sonsuz olmanın avantajlarına sahiptir. Güneş enerjisini kullanmanın ana yöntemlerinden biri, bir güneş kolektörü kullanarak güneş radyasyonundan termal enerji elde etmektir. Güneş kolektörleri genellikle binalara ısıtma ve sıcak su sağlamak için

kullanıldığından, güneş kolektörleri kurarak binalarda fosil yakıtların enerji tüketimini azaltmak mümkündür [1].

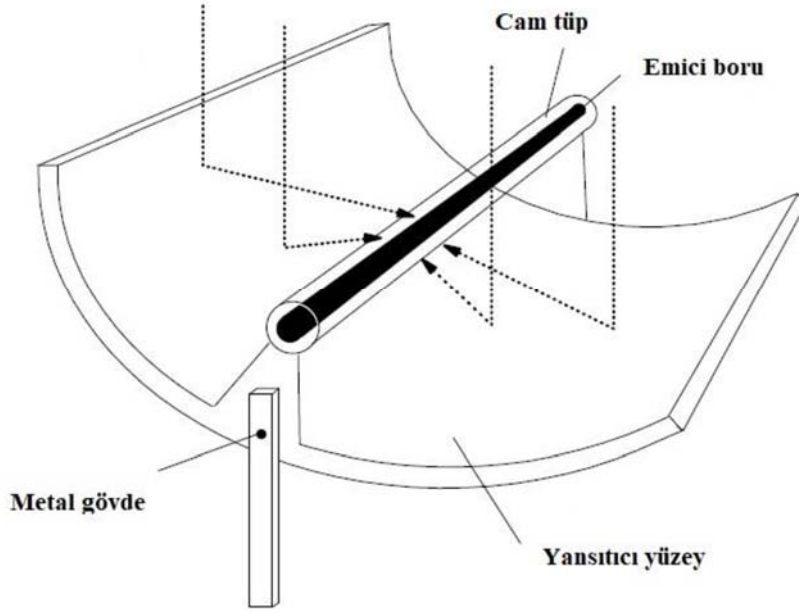
Güneş kolektörleri, harici bir enerji kaynağına ihtiyaç duymadan güneş enerjisini ısı enerjisine dönüştürmek için kullanılan çevre dostu cihazlardır. Termal kolektörler ağırlıklı olarak güneş enerjisinden elde edilen ısıyı çalışma akışkanına aktarmak için kullanılır. Böylelikle ısı transferi artırılırsa sistemin verimi de artacaktır [2].

Güneş termal kolektörleri, güneş radyasyonu enerjisini termal enerjiye dönüştüren özel bir ısı eşanjörü türüdür. Güneş enerjisini toplamak için çok sayıda güneş enerjisi toplayıcısı kullanılmıştır. Düz plakalı güneş kolektörleri (FPSC'ler) en yaygın türdür ve güneş enerjisini "soğurucu plaka" adı verilen katı bir yüzey kullanarak termal enerjiye dönüştürür. Soğurucu plakanın yüzeyi, düşük emisyonlu güneş spektrumunun yüksek emiciliğini elde etmek için genellikle siyah maddeyle boyanır veya spektral olarak seçilerek kaplanır. Alınan güneş radyasyonu, kolektörün soğurucu plakası tarafından ısı enerjisi olarak emilir ve kolektörün tüplerinden akan ısı transfer ortamına aktarılır. FPSC'lerin diğer güneş termal kolektörlerine kıyasla tercih edilmesinin nedenleri, nispeten düşük üretim maliyeti, hem ışın hem de difüze radyasyon toplama yeteneği ve herhangi bir güneş izleme sistemine ihtiyaç duyulmamasıdır. FPSC'nin şeffaf kapağından geçerek gelen güneş radyasyonunun büyük kısmı emici plaka tarafından emilir. Kolektörün soğurucu plakasının alt ve yanları, iletim ve doğal konveksiyon yoluyla ısı kayıplarını en aza indirmek için tamamen yalıtılmıştır. FPSC'lerin dezavantajı, sadece düşük ısı verimi değil, aynı zamanda emici ve dolaşım sıvısı arasındaki düşük konvektif ısı transfer katsayısıdır. Güneş ışınlarının emilimini artırmak için soğurucu malzemelerin optik özelliği iyileştirilmesi, ısı kaybını azaltmak için cam kapak sayısı artırılarak kolektör veriminin artırılmıştır. Sıvı akışı için polimer emici, mini ve mikro kanallar, ısı transfer akışkanları olarak çeşitli nanoakışkanların kullanılması, faz değiştiren malzemelerin kullanımı, farklı soğurucu plaka tasarımları, enerji depolamayı entegre ederek toplayıcının verimliliği artırılmıştır [3].



Şekil 1. Düzlemsel güneş kolektörünün yapısı [4]

Güneş kolektörleri arasında en yaygın kullanılan bir diğer kolektör tipi de parabolik oluklu kolektörlerdir (PTC).



**Şekil 2.** Parabolik oluk tipi güneş kolektörünün yapısı [5].

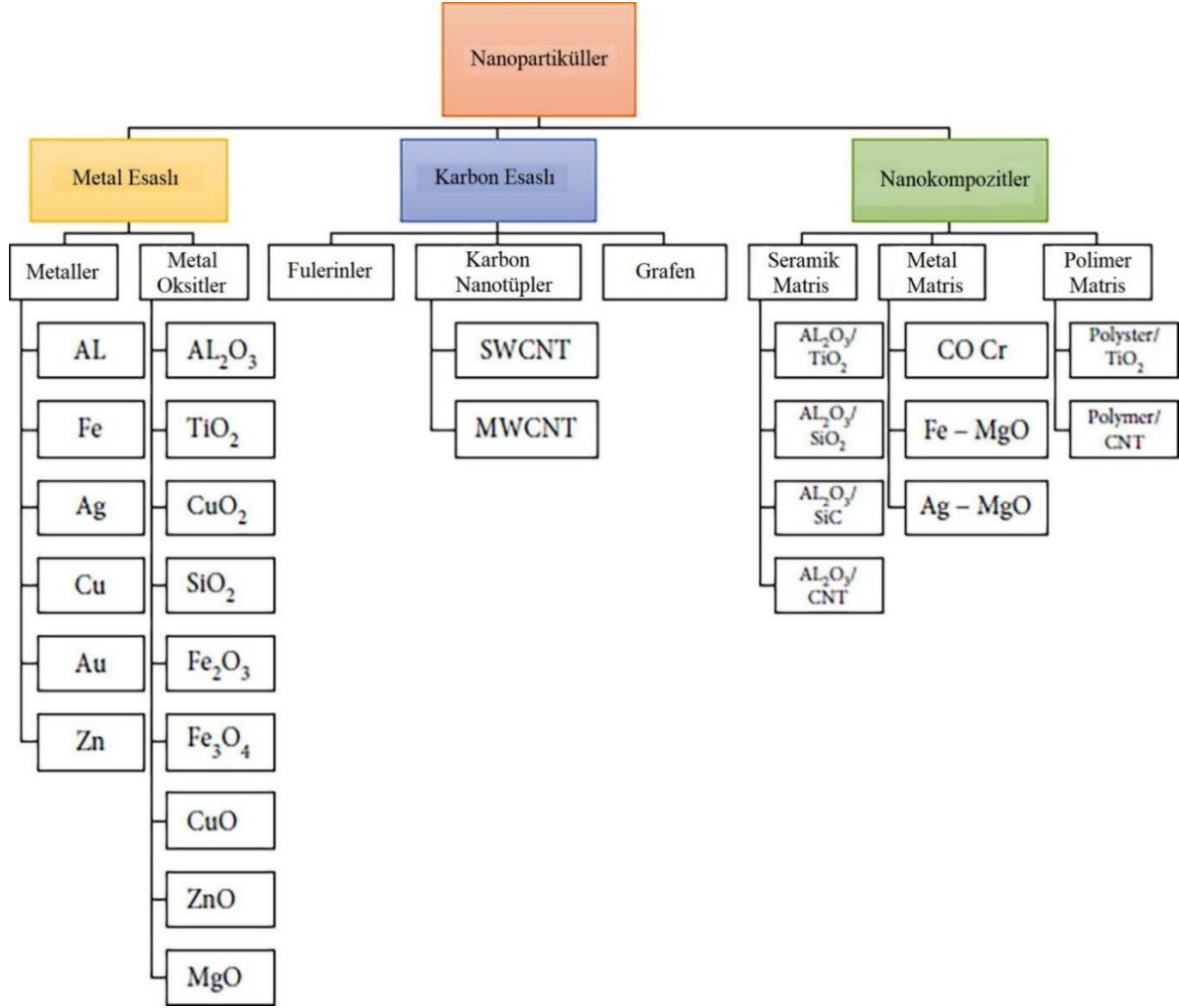
Parabolik kolektörler, daha iyi performansı ve karşılaştırmalı maliyet etkinliği nedeniyle güneş enerjisi uygulamasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Parabolik oluklu kolektör, esas olarak üç bileşenle donatılmıştır: odak noktasında bir soğurucu tüp, parabolik reflektör plakası ve soğurucu tüpün içindeki çalışma sıvısı. Parabolik kolektördeki, parabolik reflektör güneş ışığını reflektörün odak hattına yerleştirilen alıcı tüpe doğru yoğunlaştırır, buradan ısı şeklinde dönüştürülen enerji, çeşitli uygulamalar için bir çalışma sıvısı tarafından aktarılır ve su ısıtma, yerden ısıtma, hatta güç üretimi gibi uygulamalarda kullanılır [6].

Nanopartiküller, su ve yağlar gibi sıvıların termo fiziksel özelliklerini geliştirmek için kullanılmıştır. Nanoakışkanlar, nano boyutlu partiküllerin (1-100 nm) geleneksel baz sıvısındaki süspansiyonudur. Baz sıvı içinde dağılmış daha yüksek termal iletkenliğe sahip nanopartiküller, sıvıların etkili termal iletkenliğini artırabilir ve ısı transfer kabiliyetini artırabilir [7].

Nanoakışkanlar'ın güneş enerjisi sisteminde kullanılmasının birçok avantajı vardır; bunlar aşağıda verilmiştir [8]:

1. Nanopartiküllerin boyutları çok küçüktür ve yüzey alanı çok geniştir, bu nedenle nanoakışkanlar yüksek bir ısı kapasitesine ve güneş enerjisi absorptivitesine sahiptir,
2. Nanosıvılar, su ve yağ gibi baz sıvılara kıyasla daha iyi optik özelliklere sahiptir,
3. Nanoakışkanlar, baz sıvı ile karşılaştırıldığında yüksek termal iletkenliğe sahiptir ve bu nedenle ısı transfer oranı çok yüksektir,
4. Nanoakışkanın kararlılık özelliği geniş bir sıcaklık aralığında çok iyidir,
5. Nanopartiküllerin çok küçük boyutlarından dolayı nanoakışkanlar söz konusu olduğunda tortulaşma, tıkanma ve kirlenme sorunu yoktur,
6. Güneş sisteminin maliyetini düşüren nanoakışkanların kullanılması nedeniyle güneş sisteminin ısı transfer alanı azaltılır,

Nanoakışkanların kullanılması nedeniyle güneş sisteminin verimliliği artar. Bunun tek nedeni, konvektif ısı transfer katsayısı ve nanoakışkanın kütle yoğunluğunun çok yüksek olmasıdır.



Şekil 3. Nanopartiküllerin sınıflandırılması [8].

## 2. GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ ANALİZİ

$A_c$  kolektör alanı,  $F_R$  ısı giderme faktörü,  $I_T$  toplam güneş radyasyonu,  $\tau$  cam geçirgenliği,  $\alpha$  kolektör emiciliği,  $T_{amb}$  ortam sıcaklığı,  $T_{in}$  çalışma sıvısı giriş sıcaklığı,  $T_{out}$  çalışma sıvısı çıkış sıcaklığı,  $\dot{m}$  kütle akış hızı,  $c_p$  çalışma sıvısının özgül ısısı olmak üzere bir güneş kolektöründen elde edilen faydalı ısı kazancı ( $\dot{Q}_u$ ) Denklem (1) yardımıyla hesaplanır [9];

$$\dot{Q}_u = A_c F_R [I_T (\tau \alpha) - U_L (T_{in} - T_{amb})] \quad (1)$$

$F_R$  ısı giderme faktörü Denklem (2) yardımıyla hesaplanır;

$$F_R = \frac{\dot{m} c_p (T_{out} - T_{in})}{A_c [I_T (\tau \alpha) - U_L (T_{in} - T_{amb})]} \quad (2)$$

Kolektörün ısı verimi şu şekilde hesaplanır:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_U}{A_c I_T} = F_R \left[ (\tau\alpha) - U_L \frac{(T_{in} - T_{amb})}{I_T} \right] \quad (3)$$

### 3. GÜNEŞ KOLEKTÖRLERİNDE NANOAKIŞKAN KULLANIM UYGULAMALARI

#### 3.1. Düz Plakalı Güneş Kolektörleri (FPSC) İçin Uygulamalar

##### 3.1.1. Metal oksit nanoakışkanların FPSC'ler içinde dolaşan sıvılar olarak uygulamaları

Tablo 1. FPSC'ler için metal oksit nanoakışkanların enerji verimliliğine etkileri

Baz Sıvısı	Nanopartiküller			Sülfaktan	Emici	Sonuçlar
	Tür	Boyut (nm)	Kütle/Hacim Yüzdesi(%)			
[10] H <sub>2</sub> O	CuO	/	0.05	SDBS and Triton X-100	/	Enerji verimliliğinde %6,3 artış
[11] H <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15	0.4462, 0.7383 0.9267	SDBS	1.51 m <sup>2</sup>	Optimum enerji verimliliği, artan T <sub>amb</sub> /G <sub>T</sub> değerleri ile katlanarak azalmış
[12] H <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13, 20	0–0.1	/	1.84 m <sup>2</sup>	13 nm nanopartikül kullanılarak enerji verimliliğinde %73,7 artış
[13] H <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13	0.1–0.3	/	1.84 m <sup>2</sup>	Hacimce %0,3 ve 1,5L/dk'da enerji verimliliğinde yaklaşık % 83,5 artış
[14] H <sub>2</sub> O	MgO	40	0.25–1.25	/	0.375 m <sup>2</sup>	Hacimce %0,75 için enerji verimliliğinde %9,34 artış
[15] DW	CuO	25	0.1–2	/	2 m <sup>2</sup>	Hacimce %2 için enerji verimliliğinde %5 artış
[16] H <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20	0.1	/	1.51 m <sup>2</sup>	Enerji verimliliğinde yaklaşık %23,6 artış
[17] H <sub>2</sub> O/EG	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ZnO	68.12 µm, 0.196 µm	0.25	/	170 (L) × 90 (W) × 0.5 (T)	Enerji verimliliğinde maksimum %15,13 artış
[18] H <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CuO, TiO <sub>2</sub>	<50, <50, <25	0.2, 0.4, 0.8	/	/	Enerji verimliliklerinde sırasıyla %71, %87,8 ve %52,2 artış
[19] H <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<20	0.1–3	Triton X-100	2.1 m <sup>2</sup>	Enerji verimliliğinde %3-18 artış
[20] H <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11	0.25–5	/	2.01 m <sup>2</sup>	Enerji verimliliğinde % 5,5 azalma
[21] H <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CuO	20, 40	0.5–1	/	1.877 m <sup>2</sup>	Enerji verimliliğinde %21 ve %16 artış
[22] EG/H <sub>2</sub> O	MgO	40	0.08–0.4	CTAB	1.895 × 0.945 m <sup>2</sup>	Enerji verimliliğinde %16,36 artış
[23] H <sub>2</sub> O	CuO	40	0.1	PEG	1.4 m <sup>2</sup>	Enerji verimliliğinde 1, 2 ve 4 L / dk akış hızları için sırasıyla %15,2,%17,1 ve %55,1 artış
[24] H <sub>2</sub> O	MgO	74.5	0.014 –0.032	PEG-40	4 m <sup>2</sup>	14 L/dk'da %0,014 ve %0,032 hacimde % 69 ve %77 maksimum enerji verimliliği
[25] H <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CuO	20–50	0.2–0.4	/	0.5 m <sup>2</sup>	Enerji verimliliğinde %2,1-6,54 artış
[26] H <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	/	0.1, 0.2, 0.3	SDBS	3 m <sup>2</sup>	Kütlece %0,3 için enerji verimliliğinde %37,7 artış
[27] H <sub>2</sub> O:EG	ZnO	35	0.2–1	CTAB, SDBS, SLS	2.1 m <sup>2</sup>	Hacimce %1 için maksimum enerji verimliliği %69,24
[28] H <sub>2</sub> O:EG	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	30	0.2–1	SDBS	2.05 × 1.05 m <sup>2</sup>	Enerji verimliliğinde %15,27 artış
[29] H <sub>2</sub> O	ZnO	23	0.05–0.1	/	/	Nanopartikül içermeyenlere göre enerji verimliliğinde %4,81 ve % 6,57 artış

Düz plakalı güneş kolektörlerinde kullanılan metal oksit nanoakışkanlarının kolektörün verimine etkileri Tablo 1'de detaylı olarak verilmiştir. Buna göre kolektörün verimini etkileyen parametrelerin değişken olması, baz sıvısının değişmesi, kullanılan nanoakışkan türünün farklı olması, nanoakışkan boyutu ve farklı hacim oranları değişmesine bağlı olarak enerji verimliliği de artış veya azalış göstermektedir.



Düz plakalı güneş kolektörlerinin nanoakışkan kullanılmadığı durumlarda enerji verimliliklerinin düşük olması sebebiyle kolektörün metal oksit nanoakışkanlar kullanıldığında enerji verimliliği artışları açıkça göstermektedir ki doğru özelliklerdeki metal oksit nanoakışkan seçimiyle %87,8 verim artışı sağlayabilmek mümkündür.

### 3.1.2. Metal olmayan oksit nanoakışkanların FPSC'ler içinde dolaşan akışkanlar olarak uygulamaları

Tablo 2. FPSC'ler için metal olmayan oksit nanoakışkanların enerji verimliliğine etkileri

Baz Sıvısı	Nanopartiküller			Süfaktan	Emici	Sonuçlar
	Tür	Boyut (nm)	Kütle/Hacim Yüzdesi(%)			
[30] EG-H <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	40	0.5, 0.75, 1	/	1.59 m <sup>2</sup>	Enerji verimliliğinde %4-8 artış
[31] H <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	/	0.2, 0.4, 1	/	1.84 m <sup>2</sup>	Enerji verimliliğinde %23,5 artış
[32] H <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	20-30	0.2, 0.4, 0.6	/	90 × 20 × 7 × 10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup>	Enerji verimliliğinde %8,1 artış

Metal oksit nanoakışkanların, metal olmayan oksit nanoakışkanlara göre enerji verimliliğini artırma konusunda bir üstünlüğü söz konusudur.

### 3.1.3 Katı metal nanoakışkanların FPSC'ler içinde dolaşan akışkanlar olarak uygulamaları

Tablo 3. FPSC'ler için katı metal nanoakışkanların enerji verimliliğine etkileri

Baz Sıvısı	Nanopartiküller			Süfaktan	Emici	Sonuçlar
	Tür	Boyut (nm)	Kütle/Hacim Yüzdesi(%)			
[33] EG	Cu	10	0.2, 0.3	/	0.67 m <sup>2</sup>	1,5L/dak ve hacimce %0,3 te maksimum enerji verimliliği
[34] H <sub>2</sub> O	Cu	25, 50	0.2, 0.3	SDBS	2 m <sup>2</sup>	Enerji verimliliğinde %23,83 artış
[35] H <sub>2</sub> O	Cu	100	2	/	/	Enerji verimliliğinde yaklaşık %2,5 artış
[36] H <sub>2</sub> O	Cu	/	0-4	/	2.5 × 1.2 × 0,086 (m)	Hacimce %4 için enerji verimliliğinde %1,8 artış

Katı metal nanoakışkanların kolektör verimini süfaktan kullanmadan artırma yeteneği zayıf olduğu ancak süfaktan kullanımı ile bir miktar daha arttırılabildiği görülmüştür.

### 3.1.4. Yarıiletken nanoakışkanların FPSC'ler içinde dolaşan akışkanlar olarak uygulamaları

Tablo 4. FPSC'ler için yarıiletken nanoakışkanların enerji verimliliğine etkileri

Baz Sıvısı	Nanopartiküller			Süfaktan	Emici	Sonuçlar
	Tür	Boyut (nm)	Kütle/Hacim Yüzdesi(%)			
[37] H <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	20	0-0.3	/	0.5 × 0.2 × 0.001 [m]	MLP-ANN, FPSC için gerçek ölçülen enerji verimlilik değerine dayanan en iyi tahmin modeli
[38] PEG-H <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	21	0.1-0.3	/	1.84 m <sup>2</sup>	%0,1 hacim oranı ve 1,5 kg/dak için enerji verimliliğinde %76,6 artış
[39] H <sub>2</sub> O	WO <sub>3</sub>	90	0.0167, 0.0333, 0.0666	/	1.78 m <sup>2</sup>	Maksimum enerji verimliliğinde %13,48 artış
[40] H <sub>2</sub> O	CeO <sub>2</sub>	25	0.01	/	2 m <sup>2</sup>	Maksimum enerji verimliliği %78,2
[41] H <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	44	0.2	Triton X-100	1.82 m <sup>2</sup>	Maksimum enerji verimliliği %48,67
[42] H <sub>2</sub> O	CeO <sub>2</sub>	25	0.0167, 0.033, 0.066	/	2.03 m <sup>2</sup>	Enerji verimliliğinde %10,74 artış
[43] H <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	20	0.1-5	SDS	D <sub>0</sub> = 1.5 cm, D <sub>i</sub> = 1.3 cm	%5 ve %2,5 hacimde enerji verimliliğinde %45 ve %17 artış
[44] H <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	/	1, 3.5	/	1 m <sup>2</sup>	Maksimum enerji verimliliği %78

Yarıiletken nanoakışkanlar düz plakalı güneş kolektörlerinde enerji verimliliğini önemli ölçüde arttıran nanoakışkan türlerinden biridir. Yüksek verim artırma kapasiteleri ile metal oksit nanoakışkanlara yakın verim artırma kabiliyetleri Tablo 4'te görülmektedir.

### 3.1.5. Karbon nanoakışkanların FPSC'ler içinde dolaşan sıvılar olarak uygulamaları

**Tablo 5. FPSC'ler için karbon nanoakışkanların enerji verimliliğine etkileri**

Baz Sıvısı	Nanopartiküller Tür	Nanopartiküller		Süpfaktan	Emici	Sonuçlar
		Boyut (nm)	Kütle/Hacim Yüzdesi(%)			
[45] H <sub>2</sub> O	MWCNTs	10–12	0.15–1	/	L = 0.51 m, t = 0.001 m	Hacimce %0,6 için enerji verimliliği yaklaşık %73
[46] H <sub>2</sub> O	SWCNTs	1–2	0.1–0.3	SDS	1.84m <sup>2</sup>	Hacimce %0,3 ve 0,5 kg/dak için enerji verimliliğinde % 95,12 artış
[47] H <sub>2</sub> O	GNPs	/	0.01–0.2	/	0.47 m × 0.27m × 0.001 m	%18,87 maksimum enerji verimliliği
[48] H <sub>2</sub> O	Gr, MWCNTs, CuO, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub> , SiO <sub>2</sub>	20, 7, 42, 45, 44, 10	0.25–2	Triton 100-X	0.375m <sup>2</sup>	Maksimum enerji verimliliği %23,47
[49] H <sub>2</sub> O	CGNPs	2	0.025,0.075,0.1	/	0.4645 m <sup>2</sup>	Enerji verimliliğinde %18,2 artış
[50] H <sub>2</sub> O	PEG-GNPs	/	0.025, 0.05, 0.075, 0.1	/	0.464 m <sup>2</sup>	Değişen kütle akış hızlarında, enerji verimliliklerinde %10,7, %11,1 ve %13,3 artış
[51] H <sub>2</sub> O	MWCNTs	10–40	0.01, 0.05, 0.1	/	2m <sup>2</sup>	Enerji verimliliğinde %16-34.13 artış
[52] H <sub>2</sub> O	TEA-GNPs	/	0.025–0.1	/	914.4 × 508.0 mm	%10,53 maksimum enerji verimliliği
[53] H <sub>2</sub> O	GNPs, Gr, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub>	/	0.25-1	/	3m <sup>2</sup>	En yüksek enerji verimlilikleri sırasıyla %76,56, %72,45, %67,03 ve %64,45
[54] H <sub>2</sub> O	MWCNTs	/	0.1	/	2m <sup>2</sup>	Enerji verimliliğinde yaklaşık %34 artış
[55] H <sub>2</sub> O	MWCNTs, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CuO, Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , WO <sub>3</sub> , CeO <sub>2</sub>	20, 20, 40, 30, 90, 25	0.005 ,1 0.5 . 0.015 0.0666 .0.066	/	1.877m <sup>2</sup>	Maksimum enerji verimliliği %87

Karbon nanoakışkanlarının kullanımı da oldukça yaygındır. Kolektörün enerji verimliliğini artırma yönünden bakıldığında oldukça yüksek verim artırma kapasiteleri olduğu gözlemlenmiştir. Karbon nanoakışkanlarının kolektör verime etkileri Tablo 5'te sunulmuş olup incelendiği zaman kolektörün enerji verimliliğinde **%92,12**'ye varan bir verim artışı olduğu görülmektedir.

### 3.1.6. Hibrit nanoakışkanların FPSC'ler içinde dolaşan sıvılar olarak uygulamaları

**Tablo 6. FPSC'ler için hibrit nanoakışkanların enerji verimliliğine etkileri**

Baz Sıvısı	Nanopartiküller Tür	Nanopartiküller		Süpfaktan	Emici	Sonuçlar
		Boyut (nm)	Kütle/Hacim Yüzdesi(%)			
[56] H <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /TiO <sub>2</sub>	20/15	0.1–0.2	CTAB	2 m × 0.925 m	Maksimum %26 enerji verimliliği
[57] H <sub>2</sub> O	Cu/CuO, Cu, CuO	/	1-5	/	/	Enerji verimliliklerinde sırasıyla %2,175 % 0,93 ve %1,05 artış
[58] H <sub>2</sub> O	MWCNTs/MgO, MWCNTs/CuO	/	0.25–2	Triton 100-X	0.375m <sup>2</sup>	%18,05 ve %20,52 maksimum enerji verimliliği
[59] H <sub>2</sub> O	MWCNTs/GNPs/h-BN	(D = 15 nm, L = 5 µm)/ D = 2 µm)	0.05–0.1	Tween-80	1.92m <sup>2</sup>	Enerji verimliliğinde %85 artış

Düz plakalı güneş kolektörlerinde hibrit nanoakışkanların kullanılmış olduğu bazı çalışmalar Tablo 6'da sunulmuştur. Hibrit nanoakışkanlar kullanılarak kolektör verimlerindeki artışların çok düşüğe olabileceği aynı zamanda çok yüksek değerlerde de artış sağlayabildiği görülmektedir. Hibrit nanoakışkanlar çok farklı sayıda çoğaltılabileceği düşünüldüğünde kolektör verimini arttırmada tercih edilebilir bir nanoakışkan olduğunu söylemek mümkündür.

### 3.2. Parabolik Güneş Kolektörleri(PTC) İçin Uygulamalar

**Tablo 7. Farklı türdeki nanoakışkanların parabolik güneş kolektörünün enerji verimliliğine etkileri**

	Nanoakışkanlar/ Nanopartikül	Nanopartikül boyutu (nm)	Hacim konsantrasyonu (%)	Sonuçlar
[60]	Kızgın yağ ve Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O	20	1-2	Enerji verimliliğinde %4,25 artış
[61]	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /syltherm 800	10-20	0-4	Hacimce %4 için enerji verimliliğinde %10 artış
[62]	CuO-gaz fazı	7.4	0.05	Enerji verimliliğinde %65 artış
[63]	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O	40	0.1	Enerji verimliliğinde %7 artış
[64]	MWCNTs/yağ	10	0.2-0.3	Yağa kıyasla MWCNTs kullanarak enerji verimliliğinde %7 artış
[65]	Cu, Ag Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /therminol VP-1	<100	0-6	Ag-Therminol VP-1 kullanarak enerji verimliliğinde %13 artış
[66]	Al/therminol VP-1	5	0.05	Enerji verimliliğinde %5-10 artış
[67]	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /syltherm 800	28	0-8	Enerji verimliliğinde %7,6 artış
[68]	CuO ve Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O	30	0.5, 1.5 ve 0.3	CuO bazlı nanoakışkan, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> bazlı nanoakışkana göre % 35 daha yüksek enerji verimliliği
[69]	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O	20, 20-40	0.2, 0.25 ve 0.3	Sırasıyla Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kullanılarak enerji verimliliğinde % 17 ve % 13 artış
[70]	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O	40-50	0.05-0.5	Hacimce %0.2 için enerji verimliliğinde %3.5-8.5 artış
[71]	TiO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O	20	0.05-0.5	Hacimce %0.2 için enerji verimliliğinde %8.66 artış
[72]	TiO <sub>2</sub> , CuO ve Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O	<100	1, 3 ve 5	Sırasıyla TiO <sub>2</sub> , CuO ve Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> kullanılarak enerji verimliliğinde %1.14, %1.06 ve %1.17 artış
[73]	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve TiO <sub>2</sub> /syltherm 800	/	1.5 ve 3	Enerji verimliliğinde %1.8 artış
[74]	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /sentetik yağ	10-20	0-5	Enerji verimliliğinde %12.3 artış
[75]	Cu/therminol VP-1	100	0-6	Enerji verimliliğinde %12.5 artış
[76]	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O	<100	1-3	Enerji verimliliğinde %10-15 artış
[77]	CuO/syltherm 800 ve CuO/MS	<100	6	Sırasıyla enerji verimliliğinde %0.76 ve %0.26 artış

Parabolik kolektörler genellikle, güneş ışınlarının belli bir bölgeye odaklanması ve bu bölgede bulunan bir akışkana ısının aktarılması prensibi ile çalışırlar. Bu sistemlerde ısı transfer yüzey alanı ve akışkanın termofiziksel özellikleri, ısı transfer performansını etkileyen önemli parametrelerdir. Genellikle parabolik kolektörlerde, akışkan olarak yağ kullanılmaktadır. Fakat yağın genel termofiziksel özelliklerinin zayıf olması, gerçekleşen ısı transferini olumsuz olarak etkileyebilmektedir. Son dönemlerde yapılan bazı çalışmalarda, kolektörde kullanılan mevcut akışkan içerisine, ısı iletim katsayısı yüksek olan nanopartikül ilavesi ile oluşturulan yeni tip akışkan kullanımının gerçekleşen ısı transferi üzerinde oldukça olumlu sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Oluşturulan yeni nanoakışkanın termal-ısı sistemlerde ısı transfer performansını, baz akışkan kullanımına göre anlamlı bir şekilde arttırdığını görmüşlerdir [78].

Parabolik güneş kolektörlerinin verimlerinin düzlemsel güneş kolektörlerine göre daha yüksek olması nedeniyle enerji verimliliklerindeki artışlar düzlemsel güneş kolektörlerinin enerji verimliliklerine kıyasla daha düşük olup, parabolik güneş kolektörlerinin enerji verimliliklerinde de kullanılan standart sıvılar yerine nanoakışkanların kullanılmasıyla önemli miktarlarda artışlar görülmüştür.

Tablo 7'de farklı nanoakışkanların parabolik kolektörün enerji verimliliğine etkisi incelenmiş olup kolektör veriminde %65'e varan artışlar sağlması sebebiyle nanoakışkanların parabolik kolektörlerde de standart sıvılar yerine tercih edilebilir olduğunu göstermektedir.



## SONUÇ

Güneş enerjisinin sonsuz olmasının verdiği avantaj sayesinde bu enerjiyi faydalı termal enerjiye dönüştürmek için güneş kolektörleri kullanılır.

Düzlemsel güneş kolektörleri ve parabolik güneş kolektörleri en yaygın kullanılan güneş kolektörü türlerindedir. Güneş kolektörleri temelde güneş enerjisini termal enerji olarak bir sıvı ile aktarmaya ve bunu ısıtma, sıcak su üretimi ve enerji üretimi gibi alanlarda kullanmaya olanak sağlamaktadır. Güneş enerjisinden kolektör kullanılarak maksimum şekilde faydalanabilmek için kolektör verimliliğinin artırılması gerekmektedir. Kolektör veriminin artırmanın çok iyi bir yöntemi kolektörde nanoakışkan kullanımıdır.

Bu çalışmada, nanoakışkan kullanılan güneş kolektörlerinde, nanoakışkanların kolektörlerin enerji verimliliğine etkileri değerlendirilmiştir. Değerlendirme farklı nanoakışkan türleri, boyutları, derişimleri ve sürfaktan kullanılması gibi etkenler göz önüne alınarak yapılmıştır. Çalışmada kapsamlı bir literatür araştırması yapılmış ve nanoakışkanların düzlemsel kolektör ve parabolik kolektörün verimliliğine etkileri tablolarda detaylı olarak sunulmuştur. Kolektörlerde kullanılan standart sıvılar yerine çok yüksek ısıl iletkenlik sağlama kapasiteleri ve buna bağlı olarak verimi artırma yeteneği olan nanoakışkanların kullanılmasıyla enerji verimliliğinde önemli ölçüde iyileşme olabileceği görülmüştür.

Bu çalışmada detaylı araştırma sonularına bağlı olarak, uygun nanoakışkan kullanımı ile kolektör verimliliğinde %95'lere varan enerji verimliliği artışları sağlanmasının mümkün olabileceği vurgulanmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] TONGA, Y., Woobin, H. L., Cho, K. H., "Energy and exergy comparison of a flat-plate solar collector using water, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluid, and CuO nanofluid", Applied Thermal Engineering, Volume 159, 2019.
- [2] ELTAWHEEL, M., Abdel-Rehim, A. A., Attia, A.A. A., "A comparison between flat-plate and evacuated tube solar collectors in terms of energy and exergy analysis by using nanofluid", Applied Thermal Engineering, Volume 186, 2021.
- [3] ALAWIA, O. A., Kamara, H. M., Mallah, A. R., Mohammed, H. A., Kazi, S. N., Sidik, N.A. C., Najafi, G., "Nanofluids for flat plate solar collectors: Fundamentals and applications", Journal of Cleaner Production, Volume 291, 2021.
- [4] KÜÇÜKÇALI, R., "Isıtma Sektöründe Yeni Teknolojiler ve Gelecek", VI. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi
- [5] ÇAĞLAR, A., TALAY, İ. B., "Tasarım Parametrelerinin Parabolik Oluk Tipi Bir Güneş Kolektörünün Performansına Etkisi", Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 24, Sayı 2, 2019.
- [6] JOSEPH, A., Sreekumar, S., Thomas, S., "Energy and exergy analysis of SiO<sub>2</sub>/Ag-CuO plasmonic nanofluid on direct absorption parabolic solar collector", Renewable Energy, Volume 162, 2020.
- [7] HUSSEIN, A. K., Dong, L., Kol, L., Kat, S., Sahoo, B., "A review of nano fluid role to improve the performance of the heat pipe solar collectors", Energy Procedia, Volume 109, 2017.
- [8] GUPTA, S. K., Dixit, S., "Progress and application of nanofluids in solar collectors: An overview of recent advances", Materials Today: Proceedings, 2021.
- [9] KALOGIROU, S. A., "Solar Energy Engineering Processes and Systems", 2009.
- [10] MICHAEL, J. J., Iniyar, S., "Performance of copper oxide/water nanofluid in a flat plate solar water heater under natural and forced circulations", Energy Convers. Manag., Volume 95, 2015.
- [11] SHOJAEIZADEH, E., Veysi, F., "Development of a correlation for parameter controlling using exergy efficiency optimization of an Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/water nanofluid based flat-plate solar collector", Appl. Therm. Eng., 2016.

- [12] SAID, Z., Saidur, R., Rahim, N. A., "Energy and exergy analysis of a flat plate solar collector using different sizes of aluminium oxide based nanofluid", J. Clean. Prod., Volume 133, 2016.
- [13] SAID, Z., Saidur, R., Sabiha, M. A., Hepbasli, A., Rahim, N.A., "Energy and exergy efficiency of a flat plate solar collector using pH treated Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluid", J. Clean. Prod., 2016.
- [14] VERMA, S. K., Tiwari, A. K., Chauhan, D. S., "Performance augmentation in flat plate solar collector using MgO/water nanofluid", Energy Convers. Manag., Volume 124, 2016.
- [15] SINT, N.K. C., Choudhury, I. A., Masjuki, H. H., Aoyama, H., "Theoretical analysis to determine the efficiency of a CuO-water nanofluid based-flat plate solar collector for domestic solar water heating system in Myanmar", Sol. Energy, Volume 155, 2017.
- [16] MIRZAEI, M., Hosseini, S.M. S., Kashkooli, A.M. M., "Assessment of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles for the optimal operation of the flat plate solar collector", Appl. Therm. Eng., 2018.
- [17] ARIKAN, E., Abbasoğlu, S., Gazi, M., "Experimental performance analysis of flat plate solar collectors using different nanofluids", Sustainability, Volume 10, 2018.
- [18] ZİYADANOGULLARI, N. B., Yucel, H. L., Yildiz, C., "Thermal performance enhancement of flat-plate solar collectors by means of three different nanofluids", Therm. Sci. Eng. Prog., Volume 8, 2018.
- [19] HAWWASH, A. A., Abdel Rahman, A. K., Nada, S. A., Ookawara, S., "Numerical investigation and experimental verification of performance enhancement of flat plate solar collector using nanofluids", Appl. Therm. Eng., 2018.
- [20] MONDRAGON, R., Sánchez, D., Cabello, R., Liopis, R., Juliá, J. E., "Flat plate solar collector performance using alumina nanofluids: experimental characterization and efficiency tests", PLoS One, 2019.
- [21] TONG, Y., Lee, H., Kang, W., Cho, H., "Energy and exergy comparison of a flat plate solar collector using water, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluid, and CuO nanofluid", Appl. Therm. Eng., 2019.
- [22] CHOUDHARY, S., Sachdeva, A., Kumar, P., "Investigation of the stability of MgO nanofluid and its effect on the thermal performance of flat plate solar collector", Renew. Energy, Volume 147, 2020.
- [23] MIRZAEI, M., "Experimental investigation of CuO nanofluid in the thermal characteristics of a flat plate solar collector", Environ. Prog. Sustain. Energy., 2019.
- [24] DEHAJ, M. S., Mohiabadi, M. Z., "Experimental investigation of heat pipe solar collector using MgO nanofluids", Sol. Energy Mater. Sol. Cells., 2019.
- [25] MUNUSWAMY, D. B., Devarajan, Y., Babu, M. N., Ramalingam, S., "Experimental investigation on lowering the environmental hazards and improving the performance patterns of solar flat plate collectors by employing the internal longitudinal fins and nano additives., Environ. Sci. Pollut. Res., 2020.
- [26] SUNDAR, L. S., Sintie, Y. T., Said, Z., Singh, M. K., Punnaiah, V., Sousa, A.C. M., "Energy, efficiency, economic impact, and heat transfer aspects of solar flat plate collector with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluids and wire coil with core rod inserts", Sustain. Energy Technol. Assess., Volume 40, 2020.
- [27] CHOUDHARY, S., Sachdeva, A., Kumar, P., "Influence of stable zinc oxide nanofluid on thermal characteristics of flat plate solar collector", Renew. Energy., 2020.
- [28] CHOUDHARY, S., Sachdeva, A., Kumar, P., "Time-based analysis of stability and thermal efficiency of flat plate solar collector using iron oxide nanofluid", Appl. Therm. Eng., 2020.
- [29] MOHAMED, M. M., Mahmoud, N. H., Farahat, M. A., "Energy storage system with flat plate solar collector and water-ZnO nanofluid", Sol. Energy Volume 202, 2020.
- [30] MEIBODI, S. S., Kianifar, A., Niazmand, H., Mahian, O., Wongwises, S., "Experimental investigation on the thermal efficiency and performance characteristics of a flat plate solar collector using SiO<sub>2</sub>/EG-water nanofluids", Int. Commun. Heat Mass Tran., 2015.
- [31] FAIZAL, M., Saidur, R., Mekhilef, S., Hepbasli, A., Mahbubul, I. M., "Energy, economic, and environmental analysis of a flat-plate solar collector operated with SiO<sub>2</sub> nanofluid", Clean Technol. Environ. Policy., 2015.
- [32] JOUYBARI, H. J., Saedodin, S., Zamzamin, A., Nimvari, M. E., Wongwises, S., "Effects of porous material and nanoparticles on the thermal performance of a flat plate solar collector: an experimental study", Renew. Energy., 2017.
- [33] ZAMZAMIAN, A., KeyanpourRad, M., KianiNeyestani, M., Jamal-Abad, M. T., "An experimental study on the effect of Cu-synthesized/EG nanofluid on the efficiency of flat-plate solar collectors", Renew. Energy, Volume 71, 2014.
- [34] HE, Q., Zeng, S., Wang, S., "Experimental investigation on the efficiency of flat plate solar collectors with nanofluids", Appl. Therm. Eng., Volume 88, 2015.

- [35] BELLOS, E., Tzivanidis, C., "Performance analysis and optimization of an absorption chiller driven by nanofluid based solar flat plate collector", *J. Clean. Prod.*, 2018.
- [36] SHAMSHIRGARAN, S., Assadi, M. K., Al-Kayiem, H. H., Sharma, K. V., "Energetic and exergetic performance of a solar flat-plate collector working with cu nanofluid", *J. Sol. Energy Eng. Trans. ASME.*, 2018.
- [37] SADEGHZADEH, M., Ahmadi, M.H., Kahani, M., Sakhaeinia, H., Chaji, H., Chen, L., "Smart modeling by using artificial intelligent techniques on thermal performance of flat-plate solar collector using nanofluid", *Energy Sci. Eng.*, 2019.
- [38] SAID, Z., Sabiha, M. A., Saidur, R., Hepbasli, A., Rahim, N. A., Mekhilef, S., Ward, T. A., "Performance enhancement of a flat plate solar collector using titanium dioxide nanofluid and polyethylene glycol dispersant", *J. Clean. Prod.*, Volume 92, 2015.
- [39] SHARAFELDIN, M. A., Gróf, G., Mahian, O., "Experimental study on the performance of a flat-plate collector using  $WO_3$ /Water nanofluids", *Energy*, Volume 141, 2017.
- [40] STALIN, P.M. J., Arjunan, T. V., Matheswaran, M. M., Sadanandam, N., "Experimental and theoretical investigation on the effects of lower concentration  $CeO_2$ / water nanofluid in flat-plate solar collector", *J. Therm. Anal. Calorim.*, Volume 135, 2017.
- [41] KILIC, F., Menlik, T., Sözen, A., "Effect of titanium dioxide/water nanofluid use on thermal performance of the flat plate solar collector", *Sol. Energy*, 2018.
- [42] SHARAFELDIN, M. A., Gróf, G., "Experimental investigation of flat plate solar collector using  $CeO_2$ -water nanofluid", *Energy Convers. Manag.*, Volume 155, 2018.
- [43] AHMADLOUYDARAB, M., Ebadolahzadeh, M., Ali, H. M., "Effects of utilizing nanofluid as working fluid in a lab-scale designed FPSC to improve thermal absorption and efficiency", *Phys. A Stat. Mech. Appl.*, Volume 540, 2019.
- [44] MORAVEJ, M., Bozorg, M. V., Guan, Y., Li, L.K. B., Doranehgard, M. H., Hong, K., Xiong, Q., "Enhancing the efficiency of a symmetric flat-plate solar collector via the use of rutile  $TiO_2$ -water nanofluids", *Sustain. Energy Technol. Assess.*, Volume 40, 2020.
- [45] CHOUGULE, S. S., Sahu, S. K., Pise, A. T., "Thermal performance of two phase thermosyphon flat-plate solar collectors using nanofluid", *J. Sol. Energy Eng.*, Volume 136, 2014.
- [46] SAID, Z., Saidur, R., Sabiha, M. A., Rahim, N. A., Anisur, M. R., "Thermophysical properties of Single Wall Carbon Nanotubes and its effect on exergy efficiency of a flat plate solar collector", *Sol. Energy*, Volume 115, 2015.
- [47] AHMADI, A., Ganji, D. D., Jafarkazemi, F., "Analysis of utilizing Graphene nanoplatelets to enhance thermal performance of flat plate solar collectors", *Energy Convers. Manag.*, Volume 126, 2016.
- [48] VERMA, S. K., Tiwari, A. K., Chauhan, D. S., "Experimental evaluation of flat plate solar collector using nanofluids", *Energy Convers. Manag.*, Volume 134, 2017.
- [49] AKRAM, N., Sadri, R., Kazi, S. N., Ahmed, S. M., Zubir, M.N. M., Ridha, M., Soudagar, M., Ahmed, W., Arzpeyma, M., Tong, G. B., "An experimental investigation on the performance of a flat-plate solar collector using eco-friendly treated graphene nanoplatelets-water nanofluids", *J. Therm. Anal. Calorim.*, Volume 138, 2019.
- [50] ALAWI, O. A., Kamar, H. M., Mallah, A. R., Kazi, S. N., Sidik, N.A. C., "Thermal efficiency of a flat-plate solar collector filled with Pentaethylene Glycol-Treated Graphene Nanoplatelets: an experimental analysis", *Sol. Energy*, 2019.
- [51] ELTAWHEEL, M., Abdel-Rehim, A. A., "Energy and exergy analysis of a thermosiphon and forced-circulation flat-plate solar collector using MWCNT/Water nanofluid", *Case Stud. Therm. Eng.*, 2019.
- [52] SARSAM, W. S., Kazi, S. N., Badarudin, A., "Thermal performance of a flat-plate solar collector using aqueous colloidal dispersions of graphene nanoplatelets with different specific surface areas", *Appl. Therm. Eng.*, Volume 172, 2020.
- [53] LIU, S., Afan, H. A., Aldlemy, M. S., Al-Ansari, N., Yaseen, Z. M., "Energy analysis using carbon and metallic oxides-based nanomaterials inside a solar collector", *Energy Rep.*, Volume 6, 2020.
- [54] ELTAWHEEL, M., Abdel-Rehim, A. A., Hussien, H., "Indirect thermosiphon flat-plate solar collector performance based on twisted tube design heat exchanger filled with nanofluid", *Int. J. Energy Res.*, 2020.
- [55] TONG, Y., Chi, X., Kang, W., Cho, H., "Comparative investigation of efficiency sensitivity in a flat plate solar collector according to nanofluids". *Appl. Therm. Eng.*, 2020.

- [56] FARAJZADEH, E., Movahed, S., Hosseini, R., “Experimental and numerical investigations on the effect of  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}$  nanofluids on thermal efficiency of the flat plate solar collector”, *Renew. Energy*, Volume 118, 2018.
- [57] BABU, J.A. R., Kumar, K. K., “Thermodynamic analysis of hybrid nanofluid based solar flat plate collector”, *World J. Eng.*, Volume 15, 2018.
- [58] VERMA, S. K., Tiwari, A. K., Tiwari, S., Chauhan, D. S., “Performance analysis of hybrid nanofluids in flat plate solar collector as an advanced working fluid”, *Sol. Energy*, Volume 167, 2018.
- [59] HUSSEIN, O. A., Habib, K., Muhsan, A. S., Saidur, R., Alawi, O. A., Ibrahim, T. K., “Thermal performance enhancement of a flat plate solar collector using hybrid nanofluid”, *Sol. Energy*, Volume 204, 2020.
- [60] BELLOS, E., Tzivanidis, C., Antonopoulos, K. A., Daniil, I., “The use of gas working fluids in parabolic trough collectors – An energetic and exergetic analysis”, *Appl. Therm. Eng.*, Volume 109, 2016.
- [61] KALOUDIS, E., Papanicolaou, E., Belessiotis, V., “Numerical simulations of a parabolic trough solar collector with nanofluid using a two-phase model”, *Renew. Energy*, Volume 97, 2016.
- [62] POTENZA, M., Milanese, M., Colangelo, G., Risi, A. De, “Experimental investigation of transparent parabolic trough collector based on gas-phase nanofluid”, *Appl. Energy*, Volume 203, 2017.
- [63] CHAUDHARI, K. S., Walke, P. V., Wankhede, U.S., Shelke, R.S., “An Experimental Investigation of a Nanofluid ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ) Based Parabolic Trough Solar Collectors”, *British Journal of Applied Science & Technology*, Volume 9, 2015.
- [64] KASAEIAN, A., Daviran, S., Danesh, R., Rashidi, A., “Performance evaluation and nanofluid using capability study of a solar parabolic trough collector”, *Energy Convers. Manag.*, Volume 89, 2015.
- [65] MWESIGYE, A., Meyer, J.P., “Optimal thermal and thermodynamic performance of a solar parabolic trough receiver with different nanofluids and at different concentration ratios”, *Appl. Energy*, Volume 193, 2017.
- [66] KHULLAR, V., Tyagi, H., Phelan, P. E., Otanicar, T. P., Singh, H., Taylor, R. A., “Solar Energy Harvesting Using Nanofluids-Based Concentrating Solar Collector”, *ASME 2012 Third Int. Conf. Micro/Nanoscale Heat Mass Transf.*, Volume 3, 2012.
- [67] MWESIGYE, A., Huan, Z., Meyer, J. P., “Thermodynamic optimisation of the performance of a parabolic trough receiver using synthetic oil –  $\text{Al}_2\text{O}_3$  nanofluid”, *Appl. Energy*, Volume 156, 2015.
- [68] GHASEMI, S. E., Ranjbar, A. A., “Thermal performance analysis of solar parabolic trough collector using nanofluid as working fluid: A CFD modelling study”, *J. Mol. Liq.*, Volume 222, 2016.
- [69] REHAN, M. A., Ali, M., Sheikh, N. A., Khalil, M. S., Chaudhary, G. Q., Rashid, T. U., Shehryar, M., “Experimental performance analysis of low concentration ratio solar parabolic trough collectors with nanofluids in winter conditions”, *Renew. Energy*, Volume 118, 2018.
- [70] SUBRAMANI, J., Nagarajan, P. K., Wongwises, S., El-Agouz, S. A., Sathyamurthy, R., “Experimental study on the thermal performance and heat transfer characteristics of solar parabolic trough collector using  $\text{Al}_2\text{O}_3$  nanofluids”, *Environ. Prog. Sustain. Energy*, Volume 37, 2018.
- [71] SUBRAMANI, J., Nagarajan, P. K., Mahian, O., Sathyamurthy, R., “Efficiency and heat transfer improvements in a parabolic trough solar collector using  $\text{TiO}_2$  nanofluids under turbulent flow regime”, *Renew. Energy*, Volume 119, 2018.
- [72] ALLOUHI, A., Amine, M. B., Saidur, R., Kousksou, T., Jamil, A., “Energy and exergy analyses of a parabolic trough collector operated with nano fluids for medium and high temperature applications”, *Energy Convers. Manag.*, Volume 155, 2018.
- [73] BELLOS, E., Tzivanidis, C., “Thermal analysis of parabolic trough collector operating with mono and hybrid nanofluids”, *Sustain. Energy Technol. Assessments*, Volume 26, 2018.
- [74] KHAKRAH, H., Shamloo, A., Hannani, S. K., “Determination of Parabolic Trough Solar Collector Efficiency Using Nanofluid: A Comprehensive Numerical Study”. *J. Sol. Energy Eng.*, Volume 139, 2017.
- [75] MWESIGYE, A., Huan, Z., Meyer, J. P., “Thermal performance and entropy generation analysis of a high concentration ratio parabolic trough solar collector with Cu-Therminol/VP-1 nanofluid”, *Energy Convers. Manag.*, Volume 120, 2016.
- [76] TAGLE-SALAZAR, P. D., Nigam, K.D. P., Rivera-solorio, C. I., “Heat transfer model for thermal performance analysis of parabolic trough solar collectors using nanofluids”, *Renew. Energy.*, 2018.



- [77] BELLOS, E., Tzivanidis, C., Tsimpoukis, D., “Thermal , hydraulic and exergetic evaluation of a parabolic trough collector operating with thermal oil and molten salt based nano fluids”, Energy Convers. Manag., Volume 156, 2018.
- [78] KAYA, M., Demircan, T., Gemicioğlu, B., “Parabolik Güneş Kolektörlerinde Nanoakışkan Kullanımının Isı Transfer Performansı Üzerine Olan Etkileri”, DEÜ FMD 23(67), 2021.

## ÖZGEÇMİŞ

### Fırat KESEN

1995 yılı Antalya doğumludur. 2014 yılında Antalya Atatürk Anadolu Lisesini bitirdi. 2019 Haziran ayında Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı yıl Eylül ayında Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans Eğitimine başlamıştır. Şu an yüksek lisansta tez aşamasındadır.

### Hüseyin GÜNERHAN

1983 yılında İzmir Atatürk Lisesini bitirdi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü 1990 yılında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında yaptığı yüksek lisans öğrenimini 1992 yılında ve Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Güneş Enerjisi Anabilim Dalında yaptığı doktora öğrenimini 1999 yılında tamamladı. 1991-2001 yılları arasında, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji Teknolojisi Anabilim Dalında öğretim elemanı görevi ve araştırma görevlisi unvanı ile çalıştı. 2001-2012 yılları arasında, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalında öğretim üyesi görevi ve yardımcı doçent doktor unvanı ile çalıştı. 2012-2018 yılları arasında ise, aynı bölüm ve aynı anabilim dalında öğretim üyesi görevi ve doçent doktor unvanı ile çalıştı. 2018 yılından itibaren aynı bölüm ve aynı anabilim dalında profesör doktor olarak çalışmaya devam etmektedir. Çalışma alanlarını, ısı transferi, termodinamik, ısı enerji depolama, ısı pompaları ve yeni enerji kaynakları oluşturmaktadır.

### Arif HEPBAŞLI

1958 yılı İzmir doğumludur. 10 yılı değişik sanayi şirketlerinde ve geri kalanı 1996 yılından beri, farklı üniversitelerde Öğretim Üyesi olarak (sanayi öncesi yaklaşık 5 yılı Araş. Gör. olarak) çalışarak geçmekte olup, 38 yıldan beri enerjiyle ilgili konularda uğraşmaktadır. Sanayi (S), Profesyonel Kuruluşlar (P) ve Üniversite (Ü)'nin, yani SPÜ (bugünlerde Araştırma, İnovasyon ve Ticaretleştirme; RIC)'nin dengeli olarak birlikte sağlanmasını amaçlamaktadır. 660 adetten (300'den fazlası SCI kapsamında makale) fazla bilimsel yayının yazarı/ortak yazarıdır. 27 Kasım 2020 tarihi itibarıyla, Web of Science (WOS) kategorisinde akademik ayak izi (h-indeks) 57 ve atıf sayısı 10248 (kendi atıfsız) iken, Google Akademik kapsamında, h-indeks: 77 (18746 atıf) ve Scopus kapsamında ise, h-indeks: 61 (12816 atıf)'dir. Çok sayıda ulusal/uluslararası bilimsel etkinliklerin organizasyonunda yer alan/almakta olan Dr. Hepbaşı, prestijli 7 derginin Uluslararası Yayın Danışma Kurulu Üyesi ve 1 uluslararası derginin Yardımcı Editörü olup, enerjiyle ilgili çok sayıda ulusal ve uluslararası dergilere ve projelere de hakemlik yapmaktadır. Bunun yanı sıra, ulusal ve uluslararası bazda, değişik meslek kuruluşları üyelikleri olup, ilgi alanları çerçevesinde sanayiye de uzun yıllardır danışmanlık hizmeti vermektedir. Dr. Hepbaşı, 16 Şubat 2017 tarihinden beri Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) Enerji Çalışma Grubu'nda yer alırken, 29 Haziran 2019 tarihli 55. genel kurul toplantısında TÜBA-Asli Üyesi olarak seçilmiştir. Sertifikalı Enerji Yöneticisi olan Dr. Hepbaşı; İngilizce, Almanca ve Basic II düzeyinde Japonca bilmektedir. Fevziye Hanım ile evli olup, Nesrin isminde bir kızı vardır.