

Araştırma Makalesi / Research Article

Eş Merkezli İç İçe Borulu Isı Değiştiricisinde GO-Al₂O₃/Su Hibrit Nanoakışkanının Deneysel Analizi

Emine YAĞIZ GÜRBÜZ

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Muğla, Türkiye,
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5200-8536>, eminegurbuz@mu.edu.tr

Geliş/ Received: 01.02.2023;

Kabul / Accepted: 03.04.2023

ÖZET: Isı değiştiricileri, ısıtma ve soğutma sistemleri gibi birçok endüstriyel uygulamada sıklıkla kullanılmaktadır. Isı değiştiricilerin ısıl performanslarının artırılması için, çalışma akışkanının termofiziksel özelliklerini iyileştirecek nano boyutlu parçacıklar eklenmesi iyi bir çözüm olabilir. Bunun yanında, son yıllarda hibrit nanoakışkanlar olarak bilinen iki veya daha fazla farklı nanopartikül kullanılarak elde edilen nanoakışkanların ısıl performanslarında daha yüksek iyileştirme elde edildiği görülmektedir. Bu deneysel çalışmada grafen oksit (GO) – alüminyum oksit (Al₂O₃)/su hibrit nanoakışkanı GO-Al₂O₃ /su hibrit nanoakışkan kullanılarak, borulu bir ısı değiştiricisinin termal veriminin artırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda GO-Al₂O₃ /su hibrit nanoakışkanı, ısı değiştiricide iki farklı modda (paralel ve karşıt) olarak denenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Kullanılan GO-Al₂O₃ /su hibrit nanoakışkanının konsantrasyon oranı %1 olarak seçilmiştir. Bu çalışmanın deneysel sonuçları, ısı değiştiricide GO-Al₂O₃ /su hibrit nanoakışkanının kullanılmasının ısıl performansı önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermiştir. GO-Al₂O₃ /su hibrit nanoakışkanının %1 konsantrasyon oranında kullanıldığı sistemde toplam ısı transfer katsayısında paralel ve karşıt akışlı durumda sırasıyla %9.8 ve %10.7 artış değerleri kaydedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Borulu Isı Değiştirici, Nanoakışkan, Hibrit, GO-Al₂O₃, Isıl Performans.

*Sorumlu yazar / Corresponding author: eminegurbuz@mu.edu.tr

Bu makaleye atıf yapmak için /To cite this article

Gürbüz Yağız, E. (2023). Eş Merkezli İç İçe Borulu Isı Değiştiricisinde GO-Al₂O₃/Su Hibrit Nanoakışkanının Deneysel Analizi. Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM), 4(1), 211-223.

Experimental Analysis of GO-Al₂O₃/Water Nanofluid in A Concentric Tube Heat Exchanger

ABSTRACT: Heat exchangers are frequently used in many industrial applications such as heating and cooling systems. Increasing the thermal performance of heat exchangers, adding nano-sized particles to enhance thermophysical properties of the working fluid can be a good solution. Moreover, in recent years, it is seen that higher improvement in thermal performance of nanofluids obtained by utilizing two or more nanoparticles known as hybrid nanofluids. In this experimental work, it is aimed to increase the thermal efficiency of a tube heat exchanger by applying graphene oxide (GO) - aluminum oxide (Al₂O₃) /water hybrid nanofluid. In this context, GO-Al₂O₃/water hybrid nanofluid was tested in two different modes (parallel flow and cross flow) in the tubular heat exchanger and the results were compared. The concentration ratio of the GO-Al₂O₃/water hybrid nanofluid was chosen as 1%. The experimental results of this study proved that utilization of GO-Al₂O₃/water hybrid nanofluid in the heat exchanger significantly improved the thermal performance. In the system that GO-Al₂O₃/water hybrid nanofluid was used at 1% concentration, as increase of 9.8% and 10.7% were recorded in the total heat transfer coefficient in parallel and counter flow, respectively.

Keywords: Tubular Heat Exchanger, Nanofluid, Hybrid, GO-Al₂O₃, Thermal Performance.

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun gittikçe artması ve kaynakların bilinçsizce tüketilmesi küresel enerji ihtiyacının her geçen gün artışına neden olmaktadır. Bu durum ile ilişkili olarak fosil kaynakların sınırlılığı ve sera gazı emisyonlarının önemli artışı daha verimli enerji dönüşüm sistemleri kullanılmasına ihtiyaç doğurmaktadır. Enerji dönüşüm sistemleri ile ilgili endüstride sıklıkla tercih edilen cihazlar ısı değiştiricileridir. Isı değiştiricilerinde önemli olan faktör ise gerçekleştirilebilecek etkin ısı transferidir (Afshari ve ark., 2017; Afshari ve ark., 2018; Aytac ve ark., 2023; Variyenli ve ark., 2023). Farklı alanlarda, çeşitli özelliklere sahip ısı eşanjörleri kullanılmaktadır. Bu farklı ısı değiştiriciler aynı zamanda ısı performansını arttırmak amacıyla farklı yöntemleri de gerektirmektedir. Isı değiştiricilerde etkinliğin artışı, ısı değiştirici sisteminde yapısal değişikliğe gidilmesi ya da çalışma akışkanının değiştirilmesi ile sağlanabilir (Göldaş ve ark., 2022). Literatüre bakıldığında yapısal değişikliğin ön plana çıkarıldığı pek çok çalışma bulunmaktadır (Gürel ve ark., 2020; Gürel ve ark., 2022). Bunun yanında çalışma akışkanının değiştirilmesi yöntemi ise, diğer yöntemlere göre daha yenidir.

Çalışma akışkanının değiştirilmesi yönteminde, baz çalışma akışkanı içerisine belirli oranda nanopartikül parçacıklar eklenerek nanoakışkan çözeltisi elde edilir (Khanlari ve ark., 2018; Gürbüz ve ark., 2022). Nanoakışkan çözeltisi kullanılarak termal iletkenliğin artırılması kavramı, literatüre ilk olarak Choi ve Eastman (1995) tarafından yapılan çalışma ile girmiştir. Yapılan araştırma, metalik veya metalik olmayan nanoparçacıkların su veya yağ gibi bir çalışma sıvısına eklenmesi ile çalışma akışkanlarının termofiziksel özelliklerinin arttırabileceği prensibini savunmaktadır. Bu önerme ile ilgili olarak başlıca iki sebep gösterilmektedir. Birinci sebep, nanopartiküllerin baz sıvıya kıyasla daha yüksek ısı iletkenliğe sahip olmasından kaynaklanmaktadır. İkinci sebep ise, baz sıvıya nanoparçacıkların eklenmesi ile termal transfer yüzey alanının artırılması ile sağlanmaktadır. Bunun yanında, nanopartiküllerin kullanılması, çalışma akışkanının etkin ısı kapasitesini de arttırmış olacaktır. Ayrıca yapılan çalışmalarda nanopartiküller, nanoakışkanının ısı iletkenliğini etkileyen ana parametre olan akışkan aktivitesinde ve türbülans şiddetinde artışı sağlayacaktır (Afshari ve Muratçobanoğlu 2022; Tuncer ve ark., 2023). Nanoparçacık boyutu, şekli ve konstrasyonu,

nanoakışkan özelliklerini etkileyen en önemli parametrelerdir (Avramenko ve ark., 2014; Avramenko ve ark., 2018).

Literatürde nanoakışkanların borulu ısı değiştirici ile kullanımı üzerine çok çeşitli çalışmalar mevcuttur. Sonawane ve diğerleri (2013) bir borulu ısı değiştiricisinde farklı parçacık konsantrasyonlarında alüminyum oksit/su (Al_2O_3/su) nanoakışkan çözeltilerinin ısı transfer davranışlarını analiz etmiştir. Deneysel sonuçlar, artan nanoparçacık konsantrasyonunun, özellikle yüksek Reynolds (Re) sayılarında ısı transferinde iyileşmeye yol açtığını göstermiştir. Aynı şekilde Prasad ve Gupta (2016) farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3/su nanoakışkan çözeltisinin termal verimliliğini borulu ısı değiştiricisinde deneysel olarak incelemiştir. Araştırma sonuçlarında Al_2O_3/su nanoakışkan çözeltisi kullanılarak Nusselt sayısında maksimum %31.28 bir artış elde edilebileceği elde edilmiştir. Başka bir çalışmada Darzi ve diğerleri (2013), 5000-20000 Re sayılarında borulu bir ısı değiştiricisinde Al_2O_3-su nanoakışkan kullanımı üzerine bir çalışma yapmışlardır. Sonuçlarda, Al_2O_3-su nanoakışkan kullanımının, ısı değiştiricinin ısı performansını önemli ölçüde geliştirdiği bulunmuştur. Başka bir çalışmada ise Sadeghinezhad ve diğerleri (2015), grafen nano plaka (GNP) partikülleri /su nanoakışkanı dört farklı oranda (% 0.025, %0.05, %0.075, %0.1) partikül oranı ile incelenmiştir. Kullanılan nanoakışkan çözeltilerinin ısı verimliliği %7.96-%25 oranında arttığı bulunmuştur.

Nanoakışkanların ısı performansını, hibrit nanoakışkanlar olarak bilinen iki veya daha fazla farklı parçacık kullanılarak da yükseltilebilir. Yalnızca tek çeşit nanopartikül kullanımı, çalışma akışkanından istenen tüm özellikleri sağlayamadığında bu yöntem başvurulabilir. Bu nedenle, hibrit nanoakışkanlar birleşik özellikleri ile gelişmiş termal davranış için uygun görülmektedir (Sajid ve Ali, 2018). Bazı araştırmacılar, hibrit nanoakışkanların tekli nanoparçacık içeren nanoakışkanlara göre daha iyi termal davranış gösterdiklerini de belirtmişlerdir (Bahiraei ve ark., 2017; Bahiraei ve ark., 2018; Khanlari 2020a; Tuncer ve ark.,2023).

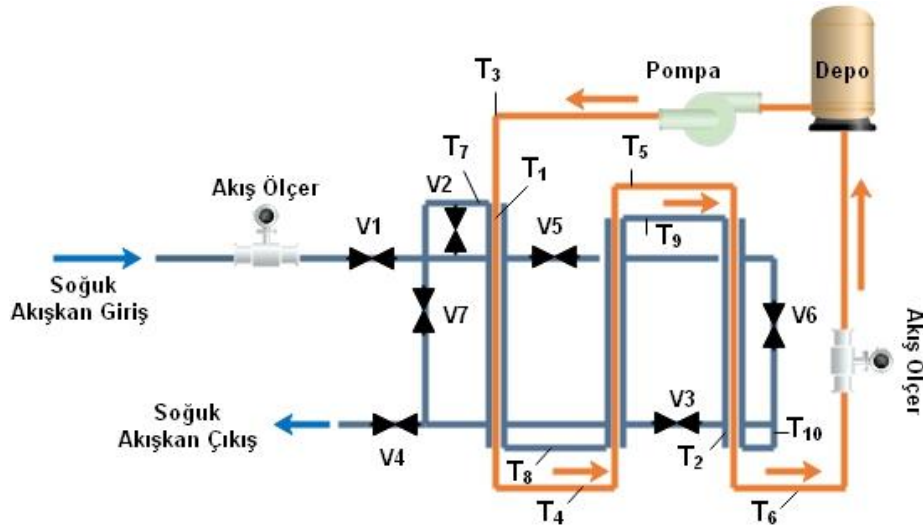
Bu çalışmada, eş merkezli iç içe borulu bir ısı değiştiricisinde saf su ve grafen oksit (GO)-alüminyum oksit (Al_2O_3)/su hibrit nanoakışkanı paralel ve karşıt akışlı olmak üzere farklı koşulda denenmiştir. Hibrit nanoakışkan ağırlıkça %1 partikül konsantrasyonunda hazırlanmış ve sonuçlar saf su ile karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Deneysel Çalışma

Bu çalışmada, GO- Al_2O_3/su hibrit tip nanoakışkan kullanmanın ısı performans üzerindeki etkisini incelemek için eş merkezli iç içe borulu bir ısı değiştiricisi kullanılmıştır. Deney düzeneğinin ısı değiştiricisi bölümünde Şekil 1'de görüldüğü gibi iç boru üzerinden sıcak akışkan, dış boru üzerinden ise soğuk akışkan geçmektedir. Sistemde kullanılan elektrikli ısıtıcının gücü 3 kW'dır. Deney düzeneğinde aynı zamanda devre kesiciler ve basınç valfleri gibi bazı güvenlik önlemleri de alınmıştır. Bunun yanında sıcak ve soğuk akışkan debilerinin yapılabilmesi için iki adet akış ölçer bulunmaktadır. Farklı noktalarda olmak üzere 10 adet termokupla yer verilmiştir.

Sistem çalışmasında, sıcak akışkan bir depo içerisinde ısıtılır ve ısı değiştiricinin iç tarafından akması sağlanır. Soğuk akışkan ise, ısı değiştiricisinin dış tarafından akar ve sistemden dışarı çıkarılır. Sistemde hibrit GO- Al_2O_3 nanoakışkanı, ısı değiştiricisinin sıcak çevriminin olduğu tarafında test edilmiştir. Sistemin soğuk tarafında ise saf su kullanılmıştır. Sıcak taraftaki yüzey alanı $0.026 m^2$, soğuk taraftaki yüzey alanı ise $0.031 m^2$ olarak ölçülmüştür. Akış yönünün etkisinin de gösterilebilmesi için ısı değiştirici için paralel ve karşıt akış olmak üzere iki farklı koşulda denemesi yapılmıştır.



Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik gösterimi

2.2. Nanoakışkan Çözeltisinin Hazırlanması

Bu deneysel çalışmada hibrit nanoakışkan elde etmek için iki farklı nanoparçacık kullanılmıştır. Bu bağlamda ısıl performansı yükseltmek amacıyla Al_2O_3 nanopartikülleri GO nanopartikülleri ile karıştırılarak hibrit nanoakışkan elde edilmiştir. İlk olarak kullanılan partikül boyutunu küçültmek ve homojen bir partikül elde edebilmek için Spex-8000 kullanılarak bilyeli öğütme tekniği ile 6 saat süreyle öğütme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bir sonraki aşamada hazırlanan nanopartikül saf suya %1 ağırlık oranında ilave edilmiştir. Ayrıca Al_2O_3 -GO/saf su nanoakışkanının çökmesini önlemek ve kararlılığını arttırmak için nanoakışkan çözeltilerine Triton X-100 yüzey aktifleştirici madde eklenmiştir. Son olarak, hazırlanan nanoakışkan solüsyonları daha kararlı ve homojen solüsyonlar elde edebilmek için, ultrasonik banyoda 3 saat süre ile bekletilmiştir.



Şekil 2. Nanoakışkan çözeltisine uygulanan ultrasonik banyo işlemi

2.3. Kullanılan Hesaplamalar

Bu bölümde deneysel olarak elde edilen verilerin analizinde kullanılan eşitlikler gösterilmiştir. Termal analizde kullanılabilmesi için öncelikle hazırlanan nanoakışkanların partikül hacim konsantrasyonunun (\emptyset) bir fonksiyonu olarak termodinamik özelliklerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu bağlamda, nanoakışkanın yoğunluğu Eşitlik 1. kullanılarak elde edilebilir (Khairul et al.,2014).

$$\rho_{na} = \emptyset\rho_p + (1 - \emptyset)\rho_{bs} \quad (1)$$

Yukarıdaki denklemde, ρ_{na} , ρ_p ve ρ_{bs} sırasıyla nanoakışkan, kullanılan nanopartikül ve baz sıvısı için yoğunluk (kg/m^3) değerlerini göstermektedir. Ayrıca hesaplamalarda önemli bir parametre olan nanoakışkan çözeltisinin özgül kapasitesinin hesaplama eşitliği şu şekilde verilebilir:

$$c_{p,na} = \emptyset c_{p,p} - (1 - \emptyset) c_{p,bs} \quad (2)$$

Eşitlik 2. de $c_{p,na}$, $c_{p,p}$ ve $c_{p,bs}$ sırasıyla nanoakışkan, kullanılan nanopartikül ve baz sıvısı için özgül kapasite (kJ/kg.K) değerlerini göstermektedir. Nanoakışkanın termal iletkenliği, nanoparçacık konsantrasyonun (\emptyset) bir fonksiyonu olarak Eşitlik 3. ile ifade edilebilir.

$$k_{na} = k_{bs} \left[\frac{k_p + 2k_{bs} + 2\emptyset(k_p - k_{bs})}{k_p + 2k_{bs} - 2\emptyset(k_p - k_{bs})} \right] \quad (3)$$

Eşitlik 3. de k_{na} , k_p ve k_{bs} sırasıyla nanoakışkan, kullanılan nanopartikül ve baz sıvısı için termal iletkenlik (W/mK) değerlerini göstermektedir. Son olarak, hazırlanan nanoakışkan çözeltisinin vizkozitesi şu şekilde hesaplanabilir:

$$\mu_{na} = \mu_{bs} (1 + 2.5 \emptyset) \quad (4)$$

Akışkanlar arasındaki enerji transferi, soğuk taraf enerjisi ($\dot{Q}_{soğuk akışkan}$) ve sıcak taraf enerjisi ($\dot{Q}_{sıcak akışkan}$) ile tanımlanabilir. Sıcak taraftan soğuk tarafa aktarılan termal enerji Eşitlik 5. ile hesaplanabilir. Sıcak tarafta kullanılan özgül ısı kapasitesi ($c_{p,sıcak akışkan}$) ortalama değer olarak hesaplamalar katılmıştır.

$$\dot{Q}_{sıcak akışkan} = \dot{m}_{sıcak akışkan} \cdot c_{p,sıcak akışkan} \cdot (T_3 - T_6) \quad (5)$$

Bu transfer işlemi ile ilgili olarak soğuk taraftan kazanılan ısı ($\dot{Q}_{soğuk akışkan}$) ise Eşitlik 6. da verilmiştir. Bu tarafta da özgül ısı kapasitesi olarak ($c_{p,soğuk akışkan}$) ortalama değer alınarak, hesaplamalar yapılmıştır.

$$\dot{Q}_{soğuk akışkan} = \dot{m}_{soğuk akışkan} \cdot c_{p,soğuk akışkan} \cdot (T_7 - T_{10}) \quad (6)$$

Yukarıda bahsedildiği gibi ısı değiştiricilerin genel prensibine göre maksimum verimin elde edildiği varsayımı ile sıcak taraftaki ısı transferi, soğuk taraftaki ısı transferine eşit kabul edilmektedir. Ancak bu durumda ısı transfer yüzeyinde meydana gelen kayıplar ve ölçüm hataları ihmal edilmektedir. Bu durum göz önüne alındığında, deneysel çalışmanın güvenilirliğinin artırılması amacıyla sistemin en iyi şekilde yalıtılmasına oldukça dikkat edilmiştir.

$$\dot{Q}_{sıcak akışkan} = \dot{Q}_{soğuk akışkan} \quad (7)$$

Isı değiştiriciden geçen sıcak ve soğuk akışkan arasındaki ısı transferi (\dot{Q}), ısı değiştiricinin iç yüzey alanı ($A_{yüzey}$), çalışma akışkanı ile ısı değiştiricinin iç yüzeyi arasındaki taşınım katsayısını (h_{ca}) ve logaritmik sıcaklık farkı (ΔT_{ln}) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\dot{Q} = h_{ca} \cdot A_{yüzey} \cdot \Delta T_{ln} \quad (8)$$

Logaritmik sıcaklık farkı (ΔT_{ln}) şu şekilde yapılabilir:

$$\Delta T_{ln} = \frac{\Delta T_{iç} - \Delta T_{dış}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{iç}}{\Delta T_{dış}}\right)} \quad (9)$$

Sıcak taraftan aktarılan ısı enerjisi ($\dot{Q}_{sıcak akışkan}$) Eşitlik 9. daki logaritmik sıcaklık farkı kullanılarak şu şekilde elde edilebilir:

$$\dot{Q}_{sıcak akışkan} = \frac{h_{sıcak akışkan} \cdot A_{iç} [(T_3 - T_1) - (T_6 - T_2)]}{\ln\left(\frac{T_3 - T_1}{T_6 - T_2}\right)} \quad (10)$$

Sistemin sıcak tarafındaki ısı transfer katsayısı değeri, Eşitlik 10. kullanılarak elde edilebilir. Bu denkleme benzer şekilde, sistemin soğuk tarafındaki ısı transfer katsayısını hesaplamak için Eşitlik 11. kullanılabilir.

$$\dot{Q}_{soğuk akışkan} = \frac{h_{soğuk akışkan} \cdot A_{dış} [(T_1 - T_7) - (T_2 - T_{10})]}{\ln\left(\frac{T_1 - T_7}{T_2 - T_{10}}\right)} \quad (11)$$

Son olarak, Eşitlik 12. ile ısı değiştirici ile genel ısı transfer katsayısını elde etmek mümkündür (Khanlari et al., 2020b).

$$\dot{Q}_{sıcak akışkan} = A_{toplam} U \left[\frac{[(T_3 - T_7) - (T_6 - T_{10})]}{\ln\left(\frac{T_3 - T_7}{T_6 - T_{10}}\right)} \right] \quad (12)$$

Isı değiştiriciler ile ilgili başka bir önemli konu ise, genellikle etkinlik olarak adlandırılan ε terimidir. Isı değiştiricisinin etkinliği (ε) Eşitlik 13. ile elde edilebilir.

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{maksimum}} = \frac{C_{sıcak akışkan} (T_{sıcak,giris} - T_{sıcak,cıkis})}{C_{minimum} (T_{sıcak,giris} - T_{soğuk,giris})} = \frac{C_{soğuk akışkan} (T_{soğuk,cıkis} - T_{soğuk,giris})}{C_{minimum} (T_{sıcak,giris} - T_{soğuk,giris})} \quad (13)$$

Yukarıdaki eşitlikte verilen sıcak akışkan ısı kapasitesi oranı ($C_{sıcak akışkan}$) ve soğuk akışkan ısı kapasitesi oranı ($C_{soğuk akışkan}$) değerleri aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$C_{sıcak akışkan} = \dot{m}_{sıcak akışkan} \cdot c_{p,sıcak akışkan} \quad (14)$$

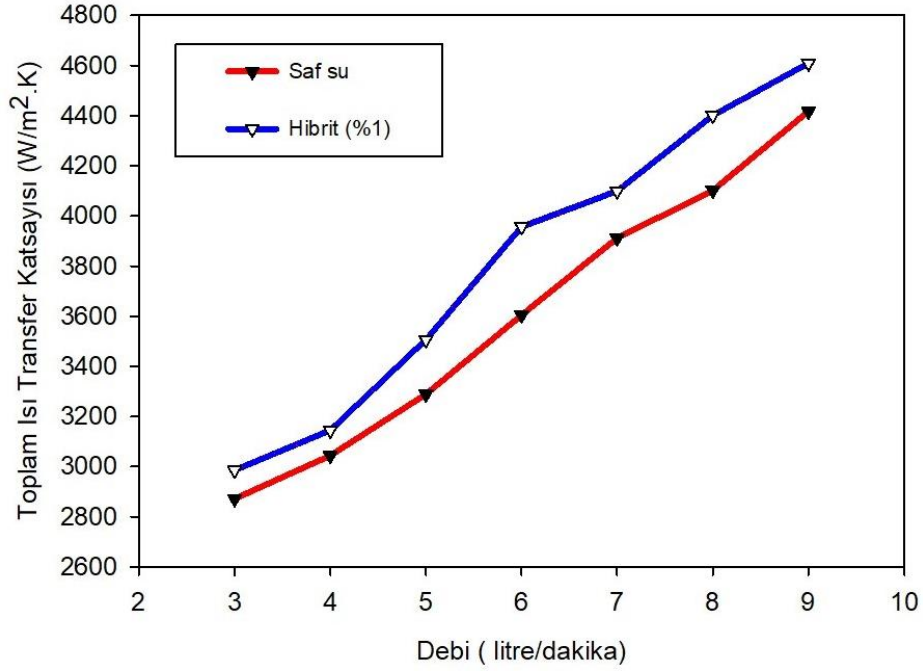
$$C_{soğuk akışkan} = \dot{m}_{soğuk akışkan} \cdot c_{p,soğuk akışkan} \quad (15)$$

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, saf su ve hibrit nanoakışkanın (GO-Al₂O₃/su) eş merkezli iç içe borulu bir ısı değiştiricisinde farklı debilerde test edilmesinin deneysel sonuçları verilmiş ve ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Materyal ve yöntem bölümünde belirtildiği gibi Al₂O₃ ve GO nanoparçacıkları mekanik olarak karıştırıldıktan sonra saf suya katılarak hibrit tip nanoakışkanlar elde edilmiştir.

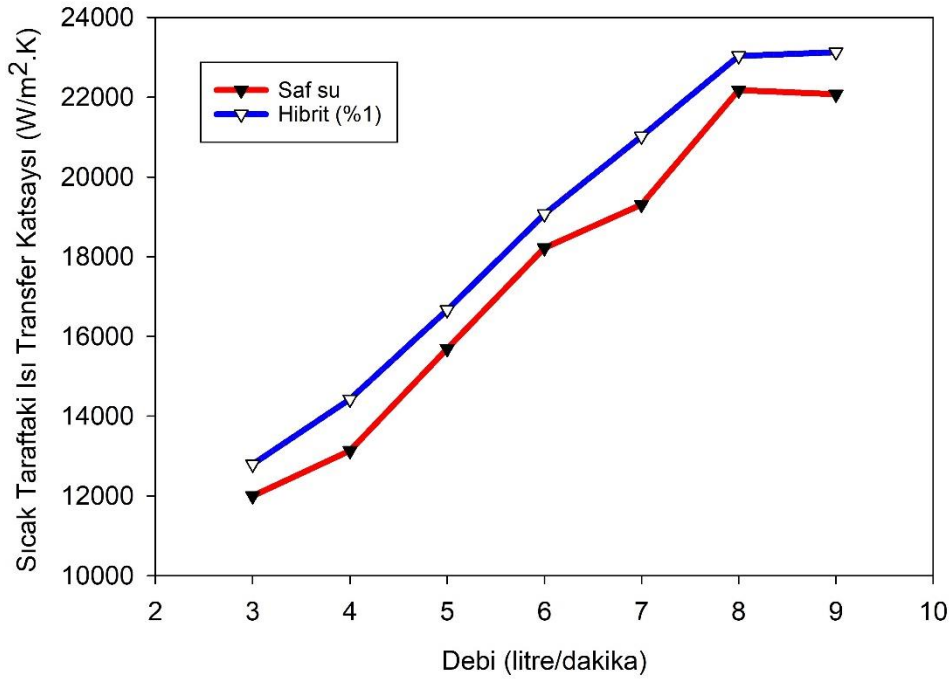
Toplam ısı transfer katsayısı, iç içe borulu bir ısı değiştiricisinde ısı performansının analizinde önemli bir göstergedir. Şekil 3 sıcak çalışma sıvısının debisine göre paralel akışlı durumdaki toplam ısı transfer katsayısındaki değişimi göstermektedir. Bununla birlikte, %1 ağırlık oranında GO-Al₂O₃/su nanoakışkan kullanıldığında, paralel akışlı durumda toplam ısı transfer katsayısında

maksimum % 9.8 artış 6 litre/dakika değerinde elde edilmiştir. Toplam ısı transferinde ortalama artış ise %5.7 olarak bulunmuştur.



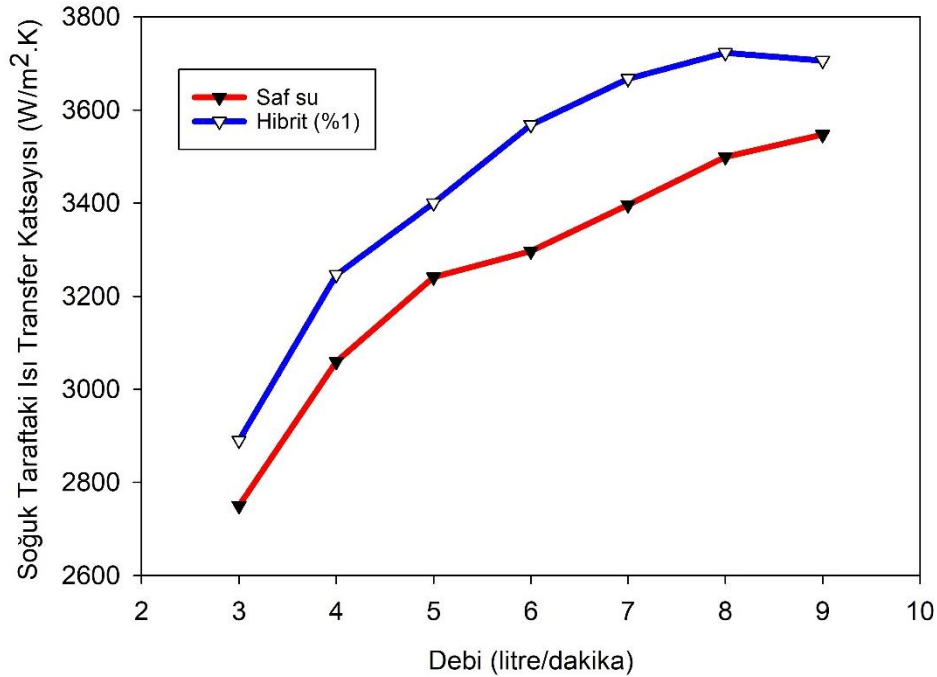
Şekil 3. Toplam ısı transfer katsayısının debiye göre farklı çalışma akışkanları için değişimi (paralel akış)

Eş merkezli iç içe borulu ısı değiştiricinin ısı performansının değerlendirilmesinde diğer önemli parametreler, paralel akış durumunda sıcak ve soğuk taraftaki ısı transferi katsayısı değerleridir. Şekil 4 sıcak çalışma sıvısının debisine göre paralel akışlı durumdaki sıcak taraftaki ısı transfer katsayısındaki değişimi göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi sıcak tarafta hibrit nanoakışkan kullanımı ısı transfer katsayısında saf su ile karşılaştırıldığında tüm debilerde artışa sebep olmuştur. Sonuçlar incelendiğinde %1 ağırlık oranında GO-Al₂O₃/su nanoakışkan kullanıldığında, paralel akışlı durumda sıcak tarafın ısı transfer katsayısında maksimum % 10.8 artış 4 litre/dakika değerinde elde edilmiştir. Paralel akışlı durumda sıcak tarafın ısı transfer katsayısında ortalama artış ise %6.4 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4. Sıcak taraftaki ısı transfer katsayısının debiye göre farklı çalışma akışkanları için değişimi (paralel akış)

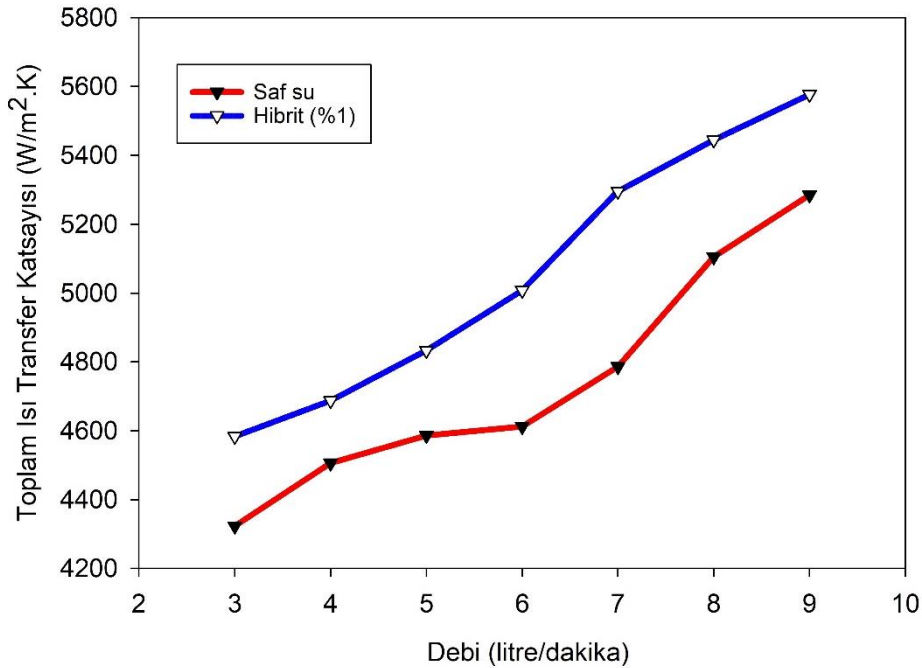
Şekil 5 sıcak çalışma sıvısının debisine göre paralel akışlı durumdaki soğuk taraftaki ısı transfer katsayısındaki değişim değerlerini vermektedir. Daha önceki şekillere benzer şekilde, hibrit nanoakışkan ile saf su karşılaştırıldığında soğuk tarafta ısı transfer katsayısında tüm debilerde belirgin bir yükseliş görülmektedir. %1 ağırlık oranında GO-Al₂O₃/su nanoakışkan kullanıldığında, paralel akışlı durumda soğuk tarafın ısı transfer katsayısında özellikle 6 litre/dakika değerinde % 8.2 artış ile maksimum artış değerini vermektedir. Paralel akışlı durumda soğuk tarafın ısı transfer katsayısında ortalama artış ise %6.1 olarak elde edilmiştir.



Şekil 5. Soğuk taraftaki ısı transfer katsayısının debiye göre farklı çalışma akışkanları için değişimi (paralel akış)

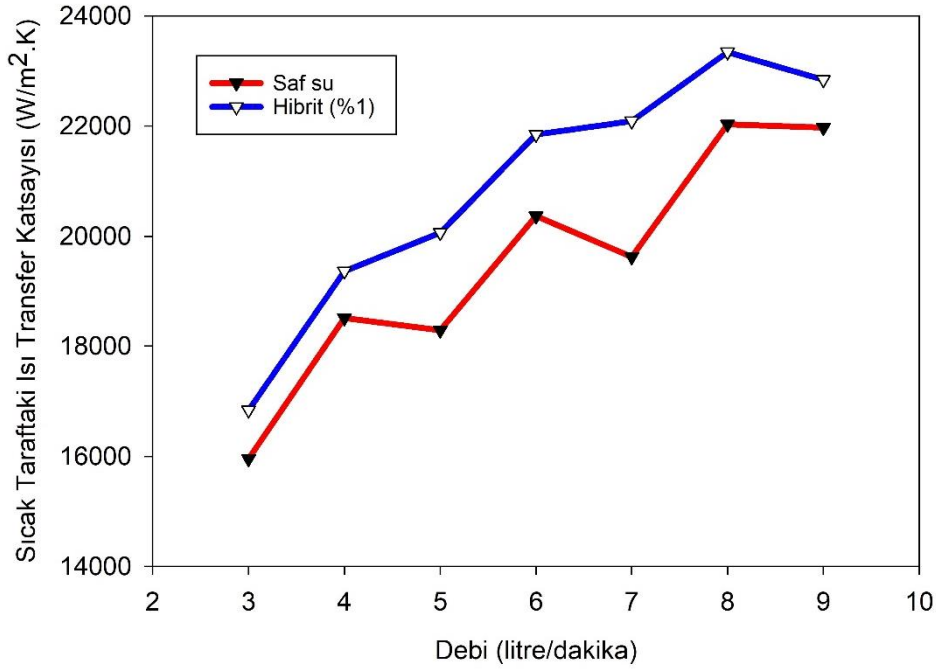
Daha önceki bölümlerde de belirtildiği üzere borulu ısı değiştirici sistemi paralel ve karşıt akış olmak üzere iki farklı modda incelenmiştir. Şekil 6 sıcak çalışma sıvısının debisine göre karşıt akışlı durumdaki toplam ısı transfer katsayısındaki değişimi göstermektedir. Öncelikle karşıt akışta elde edilen toplam ısı transfer katsayısı değerlerinin paralel akışa göre oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Daha yüksek akış hızlarında bu toplam ısı transfer katsayısı değerleri daha da artış göstermiştir. Karşıt akışlı durumda %1 ağırlık oranında GO- Al_2O_3 /su nanoakışkanı kullanıldığında toplam ısı transfer katsayısında maksimum % 10.7 artış 7 litre/dakika değerinde elde edilmiştir. Toplam ısı transferinde ortalama artış ise karşıt yönlü akışta % 6.7 olarak bulunmuştur. Deneysel sonuçlar, saf suya hibrit nanoparçacık eklenmesinin toplam ısı transfer katsayısını kesinlikle arttırdığını kanıtlamıştır.

Şekil 7 sıcak akışkanın debisine göre karşıt akışlı durumdaki sıcak tarafın ısı transfer katsayısının değişimini göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi sıcak tarafta nanoakışkan kullanımı saf suya oranla ısı transfer katsayısında tüm debi değerlerinde artışı sağlamıştır. Aynı zamanda incelenen durumda saf suyun sıcak taraftaki ısı transfer katsayısında dalgalanmalar olduğu görülmektedir. Dolayısıyla karşıt akışta hibrit nanoakışkan kullanıldığında, sıcak taraftaki ısı transfer katsayısı daha dengeli çıktığı sonucuna ulaşılabılır. Sıcak akışkanın debisine göre karşıt akışlı durumda sıcak tarafın ısı transfer katsayısında maksimum artışın 7 litre/dakika debi değerinde %12.6 olarak gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır. Aynı zamanda, karşıt akış durumunda sıcak tarafın ısı transfer katsayısında ortalama artışın % 7 olduğu bulunmuştur.

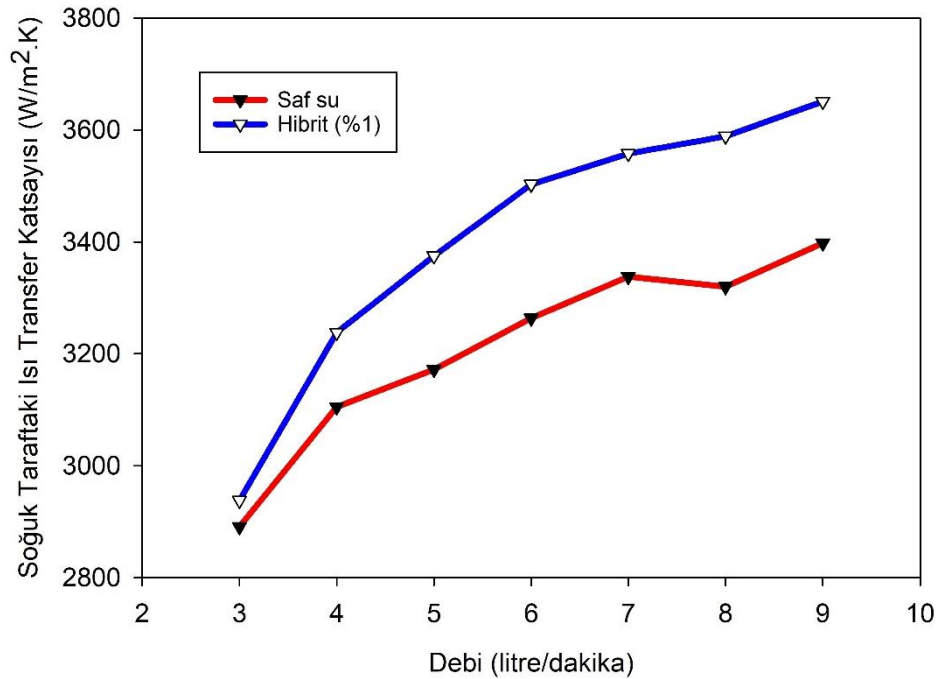


Şekil 6. Toplam ısı transfer katsayısının debiye göre farklı çalışma akışkanları için değişimi (karşıt akış)

Şekil 8 aynı şekilde sıcak akışkanın debisine göre karşıt akışlı durumdaki soğuk tarafın ısı transfer katsayısının değişimini belirtmektedir. Sonuçlar karşılaştırıldığında, sıcak akışkanın debisine göre karşıt akışlı durumda soğuk tarafın ısı transfer katsayısında maksimum artışın 8 litre/dakika debi değerinde %8.1 olarak gerçekleştiğidir. Ortalama artış değeri ise % 6 değerine yakın elde edilmiştir.



Şekil 7. Sıcak taraftaki ısı transfer katsayısının debiye göre farklı çalışma akışkanları için değişimi (karşıt akış)



Şekil 8. Soğuk taraftaki ısı transfer katsayısının debiye göre farklı çalışma akışkanları için değişimi (karşıt akış)

4. SONUÇ

Bu çalışmada, ısıl verimin artışı sağlayabilmek için bir eş merkezli iç içe borulu ısı değiştiricisinde saf su ve GO-Al₂O₃/su hibrit nanoakışkan kullanılmış ve elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Deneyler, GO-Al₂O₃/su hibrit nanoakışkanının davranışını göstermek için paralel ve karşıt akışlı olmak üzere iki şekilde çalıştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışma şu sonuçları vermiştir:

- %1 ağırlık oranında GO-Al₂O₃/su nanoakışkan kullanıldığında, sırasıyla paralel ve karşıt akışlı durumda toplam ısı transfer katsayısında maksimum % 9.8 ve % 10.7 artış elde edilmiştir.
- İncelenen tüm değişkenlerde, paralel ya da karşıt modda çalıştırılması ayırt etmeden %1 ağırlık oranında GO-Al₂O₃/su nanoakışkan kullanımında saf suya göre daha yüksek değerler alındığı görülmüştür.
- Çalışmadan elde edilen bulgular, hibrit tip nanoakışkan kullanımının saf suya oranla belirgin anlamda olumlu etkiler yarattığını göstermiştir. Bu olumlu etkiler ilerleyen çalışmalarda, farklı konsantrasyon oranlarında nanoakışkan çözeltileri kullanılarak da denenebilir.
- Gelecekteki çalışmalarda, farklı parçacık oranlarına sahip farklı tip nanoakışkanlar iç içe merkezli borulu ısı değiştiricisinde test edilebilir. Çünkü farklı nanokışkanlar aynı sistem içerisinde farklı davranışları temsil edebilirler.

5. ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

6. YAZAR KATKISI

Çalışmanın tüm süreçleri yazar tarafından gerçekleştirilmiştir.

7. KAYNAKLAR

- Afshari F., Comakli O., Karagoz S., Zavaragh H. G., A thermodynamic comparison between heat pump and refrigeration device using several refrigerants. *Energy and Buildings*, 168, 272-283,2018.
- Afshari F., Comakli O., Lesani A., Karagoz S., Characterization of lubricating oil effects on the performance of reciprocating compressors in air–water heat pumps. *International Journal of Refrigeration*, 74, 505-516,2017.
- Afshari F., Muratçobanoğlu B., Thermal analysis of Fe₃O₄/water nanofluid in spiral and serpentine mini channels by using experimental and theoretical models. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-16,2022.
- Avramenko A. A., Shevchuk I. V., Moskalenko A. A., Lohvynenko P. N., Kovetska Y. Y., Instability of a vapor layer on a vertical surface at presence of nanoparticles. *Applied Thermal Engineering*, 139, 87-98,2018.
- Avramenko A. A., Shevchuk I. V., Tyrinov A. I., Blinov D. G., Heat transfer at film condensation of stationary vapor with nanoparticles near a vertical plate. *Applied Thermal Engineering*, 73(1), 391-398,2014.
- Aytaç İ., Tuncer A. D., Khanlari A., Variyenli H. İ., Mantıcı S., Güngör L., Ünvar S., Investigating the effects of using MgO-CuO/water hybrid nanofluid in an evacuated solar water collector: A comprehensive survey. *Thermal Science and Engineering Progress*, 101688,2023.
- Bahiraei M., Berahmand M., Shahsavari A., Irreversibility analysis for flow of a non-Newtonian hybrid nanofluid containing coated CNT/Fe₃O₄ nanoparticles in a minichannel heat exchanger. *Applied Thermal Engineering*, 125, 1083-1093,2017.

- Bahiraee M., Rahmani R., Yaghoobi A., Khodabandeh E., Mashayekhi R., Amani M., Recent research contributions concerning use of nanofluids in heat exchangers: a critical review. *Applied Thermal Engineering*, 133, 137-159,2018.
- Choi S. U., Eastman J. A., Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles (No. ANL/MSD/CP-84938; CONF-951135-29). Argonne National Lab.(ANL), Argonne, IL (United States),1995.
- Darzi A. R., Farhadi M., Sedighi K., Heat transfer and flow characteristics of Al₂O₃–water nanofluid in a double tube heat exchanger. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 47, 105-112,2013.
- Göлтаş M., Gürel B., Keçebaş A., Akkaya V. R., Güler O. V., Kurtuluş K., Gürbüz E. Y., Thermo-hydraulic performance improvement with nanofluids of a fish-gill-inspired plate heat exchanger. *Energy*, 253, 124207,2022.
- Gürbüz E. Y., Keçebaş A., Sözen A., Exergy and thermoeconomic analyses of the diffusion absorption refrigeration system with various nanoparticles and their different ratios as work fluid. *Energy*, 248, 123579,2022.
- Gürel B., Akkaya V. R., Göлтаş M., Şen Ç. N., Güler O. V., Koşar M. İ., Keçebaş A., Investigation on flow and heat transfer of compact brazed plate heat exchanger with lung pattern. *Applied Thermal Engineering*, 175, 115309,2020.
- Gürel B., Keçebaş A., Akkaya V. R., Göлтаş M., Güler O. V., Kurtuluş K., Modeling and Assessment of the Thermo-Hydraulic Performance for a Fish Gill Patterned Plate Heat Exchanger in Biomimetic Approach. *Heat Transfer Engineering*, 1-15,2022.
- Khairul M. A., Alim M. A., Mahbulul I. M., Saidur R., Hepbasli A., Hossain, A., Heat transfer performance and exergy analyses of a corrugated plate heat exchanger using metal oxide nanofluids. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 50, 8-14,2014.
- Khanlari A., Sözen A., Variyenli, H. İ., Simulation and experimental analysis of heat transfer characteristics in the plate type heat exchangers using TiO₂/water nanofluid. *International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow*,2018.
- Khanlari A., Yılmaz Aydın, D., Sözen A., Gürü M., Variyenli, H. İ., Investigation of the influences of kaolin-deionized water nanofluid on the thermal behavior of concentric type heat exchanger. *Heat and Mass Transfer*, 56, 1453-1462,2020b.
- Khanlari A.,The effect of utilizing Al₂O₃-SiO₂/Deionized water hybrid nanofluid in a tube-type heat exchanger. *Heat Transfer Research*, 51(11), 991-1005,2020a.
- Prasad P. D., Gupta A. V. S. S. K. S., Experimental investigation on enhancement of heat transfer using Al₂O₃/water nanofluid in a u-tube with twisted tape inserts. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 75, 154-161,2016.
- Sadeghinezhad E., Togun H., Mehrali M., Nejad P. S., Latibari S. T., Abdulrazzaq T., Kazi S.N., Metselaar H. S. C., An experimental and numerical investigation of heat transfer enhancement for graphene nanoplatelets nanofluids in turbulent flow conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 81, 41-51,2015.
- Sajid M. U., Ali H. M., Thermal conductivity of hybrid nanofluids: a critical review. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 126, 211-234,2018.
- Sonawane S. S., Khedkar R. S., Wasewar K. L., Study on concentric tube heat exchanger heat transfer performance using Al₂O₃–water based nanofluids. *International communications in heat and mass transfer*, 49, 60-68,2013.

- Tuncer A. D., Khanlari A., Afshari F., Sözen A., Çiftçi E., Kusun B., Şahinkesen İ., Experimental and numerical analysis of a grooved hybrid photovoltaic-thermal solar drying system. *Applied Thermal Engineering*, 218, 119288,2023.
- Tuncer A. D., Khanlari A., Sözen, A., Gürbüz E. Y., Variyenli H. İ., Upgrading the performance of shell and helically coiled heat exchangers with new flow path by using TiO₂/water and CuO–TiO₂/water nanofluids. *International Journal of Thermal Sciences*, 183, 107831,2023.
- Variyenli H. İ., Amini A., Tuncer A. D., Khanlari A., Kolay Ş., Experimental and numerical analysis of a helically-coiled solar water collector at various angular placements. *International Journal of Thermal Sciences*, 188, 108177,2023.