



THE EFFECT OF USING TiO₂/WATER NANOFLUID IN PLATE HEAT EXCHANGERS ON THERMAL PERFORMANCE

Muhammet Kahveci¹ , Tarkan Koca^{*2} 

¹Inönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği ABD, Malatya

²Inönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Malatya

Abstract

Original scientific paper

The use of nanofluids in heat exchangers is known as a method that increases the amount of heat transfer and the thermal efficiency of the heat exchangers. In this study, the effect of using TiO₂/water (Titanium dioxide-base fluid) nanofluid on the thermal performance in a counter current parallel flow plate heat exchanger was investigated. Three different fluids were used as hot fluids in the experiment, and these are water, TiO₂/water nanofluids with 0.25% and 0.5% volumetric mixing ratios. In order to understand the effect of nanofluid on thermal performance, first water, which is the base fluid, was used in the experiments, and then nanofluids were used. Four different values were selected, with a flow rate of 4.5, 6, 7 lt/min of water used as cold fluid. For each flow rate, separate experiments were carried out at constant temperature values where the hot fluid inlet temperature was 40°C, 45°C, 50°C, 55°C and 60°C and heat transfer, effectiveness and improvement rates were examined. According to the data obtained from the experiment, it has been determined that the use of TiO₂/water nanofluid instead of water as the hot fluid in the plate heat exchanger improves the thermal efficiency. The greatest increase in heat transfer was achieved in the experiment using TiO₂/water nanofluid, where the cold fluid flow rate was 7 lt/min, the hot fluid inlet temperature was 60°C and the volumetric mixing ratio was 0.5%. This value is calculated as 14508 W. According to the results obtained, the highest improvement rate was obtained as 14.3% in the study where TiO₂/water nanofluid with a volumetric mixing ratio of 0.5% was used as the test fluid and the cold fluid flow rate was 4 lt/min. In addition, as the flow rate increased, the heat transfer amount increased and the improvement rate decreased.

Keywords: Effectiveness, nanofluid, plate heat exchanger, TiO₂.

PLAKALI ISI DEĞİŞTİRİCİLERİNDE TiO₂/SU NANOAKIŞKAN KULLANIMININ ISIL PERFORMANSA ETKİSİ

Özet

Orijinal bilimsel makale

Eşanjörlerde nanoakışkanların kullanılması, ısı transfer miktarını ve eşanjörlerin termal verimliliğini artıran bir yöntem olarak bilinmektedir. Bu çalışmada zıt yönlü paralel akışlı plakalı ısı değiştiricisinde TiO₂/su (Titanyum dioksit-baz akışkan) nanoakışkanı kullanılması ısı performansına etkisi araştırılmıştır. Deneyde sıcak akışkan olarak üç farklı akışkan kullanılmış olup bunlar su, %0,25 ve %0,5 hacimsel karışım oranına sahip TiO₂/su nanoakışkanlarıdır. Nanoakışkanın ısı performansına etkisini anlayabilmek için deneylerde önce baz akışkan olan su kullanılmış ve sonrada nanoakışkanlar kullanılmıştır. Soğuk akışkan olarak kullanılan suyun debisi 4,5,6,7 lt/dk olacak şekilde dört farklı değer seçilmiştir. Her debi değeri için sıcak akışkan giriş sıcaklığının 40°C, 45°C, 50°C, 55°C ve 60°C olduğu sabit sıcaklık değerlerinde ayrı ayrı deneyler yapılmış ve ısı transferi, etkenlik ve iyileştirme oranları incelenmiştir. Deneyden elde edilen verilere göre plakalı ısı değiştiricisinde sıcak akışkan olarak su yerine TiO₂/su nanoakışkanı kullanılması ısı verimi iyileştirdiği tespit edilmiştir. Isı transferinde gerçekleşen en büyük artış soğuk akışkan debisinin 7 lt/dk, sıcak akışkan giriş sıcaklığının 60°C ve hacimsel karışım oranının %0,5 olduğu TiO₂/su nanoakışkanının kullanıldığı deneyde ulaşılmıştır. Bu değer 14508 W olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek iyileştirme oranı, hacimsel karışım oranı %0,5 olan TiO₂/su nanoakışkanının deney akışkanı olarak kullanıldığı ve soğuk akışkan debisinin 4 lt/dk olduğu çalışmada %14,3 olarak elde edilmiştir. Ayrıca debi arttıkça ısı transfer miktarı artmış ve iyileştirme oranı azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Etkenlik, nanoakışkan, plakalı ısı değiştiricisi, TiO₂.

* Corresponding author.

E-mail address: tarkan.koca@inonu.edu.tr (T. Koca)

Received 21 February 2022; Received in revised form 09 May 2022; Accepted 19 August 2022

2587-1943 | © 2021 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.1076723>

1 Giriş

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile malzeme bilimi büyük yol kat etmiş ve nano büyüklükte partiküller üretilebilir hale gelmiştir. Nanometre büyüklüğündeki parçacık 0-100 mikron aralığında bulunan madde parçacığdır [1]. Bu büyüklükler çeşitli elektron mikroskopları ile görülebilmektedir. Nanopartiküllerin ısı iletim katsayısının yüksek olması dikkat çekmiş ve geleneksel akışkana katılarak nanoakışkanların ortaya çıkması sağlanmıştır. Yapılan çalışmaların çoğunda temel akışkan olarak çoğunlukla su kullanılmaktadır. Ancak bazı çalışmalarda etilen, glikol ve mineral yağ kullanılmaktadır [2]. Parçacık olarak ise metal ve metal oksitler kullanılmaktadır. Milimetre ölçüsünde veya daha büyük metal parçacıklarının sıvı içerisine süspansiyonu uzun süredir bilinmekte ve uygulanmaktadır. Ancak bu uygulamalarda çökme, basınç düşüşü, yüksek gürültü ve titreşim karşılaşılan önemli sorunlardır. Ancak ısı transfer hızındaki artış bu olumsuzlukların göz ardı edilmesine neden olmuştur [3]. Geleneksel akışkanlara göre mikro boyutta katı parçacıklar ihtiva eden nanoakışkanların ısı transfer hızı daha yüksektir. Akışkan içine süspansiyon edilen parçacık akışkanın yüzey alanını ve ısı kapasitesini arttırmaktadır [4]. Nanopartiküller akışkanların efektif ısı kapasitesinin artmasını sağlamaktadırlar. Partiküller arasında gerçekleşen etkileşim ve çarpışma akışkanın ısı transfer yüzeyinin büyümesine sebep olmaktadır.

Gelişen teknoloji ile birlikte nano boyutta parçacık üretimi artmış olup bilim insanları daha iyi ısı iletimi sağlamak için nanoakışkanlar üzerinde çalışmaya devam etmektedirler. Taştan [5] yaptığı çalışmada farklı nanopartikül şekline sahip olan Al_2O_3 , GO, Fe_3O_4 nanopartiküllerini ve baz akışkan olan su ile oluşturduğu nanoakışkanları dairesel kesitli bir boruda akış ve ısı transferi açısından sayısal olarak incelemiştir. Gerçekleştirdiği analiz sonuçlarına göre nanoakışkanlarda, nanopartikül hacimsel konsantrasyon oranı ve Reynold değerinin artmasıyla doğru orantılı olarak ısı taşınım katsayısı “h”, Nusselt sayısı “Nu” ve basınç düşümü “ ΔP ” değerleri artmıştır. Kılıç ve Efeoğlu [6] yaptıkları çalışmada nanoakışkanların çarpan akışkan jet tekniği ile oluşturduğu etkinin, yüksek ısı akışı hareketli bakır bir plakadan olan ısı transferine etkisini sayısal olarak incelemiştir. Literatürdeki çalışmalarını doğrulamak için öncelikli olarak hareketsiz plakalarda analizler gerçekleştirmişlerdir. İkinci aşamada ise hem hareketli hem de hareketsiz bir plakada Al_2O_3 - H_2O nanoakışkanı kullanarak farklı parçacık çaplarında, farklı plaka hızlarında, ısı transfer analizi yapmışlardır. En iyi ısı transfer performansını Cu- H_2O nanoakışkanın sağladığı belirlenmiştir. Karabulut ve ark. [7] grafit oksit-su nanoakışkanı kullanarak üniform duvar ısı akışı dairesel bir bakır boruda laminar akış şartlarında deneysel ve sayısal olarak çalışma yapmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre GO nanoakışkanının ısı transferi uygulamalarında, geleneksel çalışma akışkanlarına iyi bir alternatif olarak kullanılabileceğini değerlendirmişlerdir.

Fard ve ark. [8] çalışmalarında plakalı ve eş merkezli borulu ısı değiştiricilerinde, su-su ve nanoakışkan-su akışkanları kullanarak deneyler yapmışlardır. Sıcak akışkan olarak ZnO-su nanoakışkanı kullanmışlardır. Sıcak ve soğuk akışkanların kütle akış oranlarındaki

artışla birlikte ısı transfer oranı ve ısı transfer katsayıları artmıştır. Deneysel sonuçlar, her iki ısı değiştiricideki nanoakışkanın ısı transfer oranının ve ısı transfer katsayısının baz sıvınıninkinden daha yüksek olduğunu ve plakalı ısı değiştiricideki ısı değişiminin verimliliğinin eş merkezli borulu ısı değiştiriciden daha yüksek olduğunu göstermiştir. Kwon ve ark. [9] plakalı ısı değiştiricide, ZnO ve Al_2O_3 nanoakışkanı ile deneyler yapmışlardır. Isıl performans ve basınç düşüş miktarını incelemiştir. Toplam ısı transfer katsayısı, hacimce %6 konsantrasyonlu Al_2O_3 nanoakışkanı kullanımında %30'a kadar yükselmiştir. Zamzaman ve ark. [10] alümina-etilen glikol ve bakır oksit-etilen glikol nanoakışkanlarını çeşitli konsantrasyonlarda hazırlamışlar ve nanoakışkanların ısı özelliklerini tespit etmek için türbülanslı akışta, çift borulu ve plakalı ısı değiştiricide deneyler yapmışlardır. Çalışmanın teorik ve deneysel sonuçlarına göre nanoparçacıkların akışkana ait zorlanmış konvektif ısı transfer katsayısı büyük miktarda artmıştır. Varyenli ve ark. [11] oluşturdukları deney setinde saf su-MgO kullanmışlardır. Zıt yönlü, paralel akışlı ısı değiştiricide saf su ve magnezyum oksitinin ısı performansını incelemiştir. 3 lt/dk debide yaptıkları deneylerde ortalama etkenlik, magnezyum oksit kullanımında saf suya göre %13 artmıştır. 7 lt/dk debide yapılan deneylerde ortalama etkenlik saf suya oranla %7 fazla olduğu tespit edilmiştir. Akçay ve ark. [12] kademeli boru demeti üzerinde laminar akış şartlarında nanoakışkanın ısı performansına etkisini nümerik olarak incelemiştir. Nanoakışkan olarak Al_2O_3 -safsu kullanılmış olup ısı transfer performansı, yüksek genlik ve düşük frekans değerlerinde artma göstermiştir. Huang ve ark. [13] plakalı ısı eşanjöründe alümina nanopartiküller ve çok duvarlı karbon nanotüpler içeren hibrit nanoakışkan karışımını kullanmışlardır. Akış hızının aynı olduğu değerlerde hibrit nanoakışkanın ısı performansının Al_2O_3 -su nanoakışkan ve suyun ısı performansından daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Kahveci ve Koca [3] çalışmalarında plakalı ısı değiştiricilerinde, su-su ve grafit-su nanoakışkanı kullanarak deneyler yapmış, nanoakışkanın ısı transferine, etkenlik ve iyileştirme oranına etkisini incelemiştir. Isı değiştiricisinde nanoakışkan kullanımının ısı verimliliğinde önemli iyileştirmeler sağladığını tespit etmişlerdir.

Yapılan bu çalışmada deney akışkanı olarak TiO_2 -su (Titanium dioksit-su) nanoakışkanı seçilmiş olup nanoakışkanın hacimsel konsantrasyonu %0,25 ve %0,5 olarak alınmıştır. Seçilen konsantrasyonlarda, farklı soğuk akışkan debilerinde ve farklı sıcak akışkan giriş sıcaklığı değerlerinde deneyler yapılmış ve ısı transferi, etkenlik ve iyileştirme oranı incelenmiştir. Mevcut literatürdeki çalışmalara ek olarak; farklı konsantrasyonlardaki nanoakışkanın, zıt yönlü paralel akışlı plakalı ısı değiştiricisinde kullanılması ile ısı transferine etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu sistemde nanoakışkan kullanımını değerlendirilmiş ve en uygun nanoakışkan miktarı belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca nanoakışkanların sahip oldukları yüksek ısı iletkenlik özelliğinden yararlanarak plakalı ısı değiştiricisi performansının iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

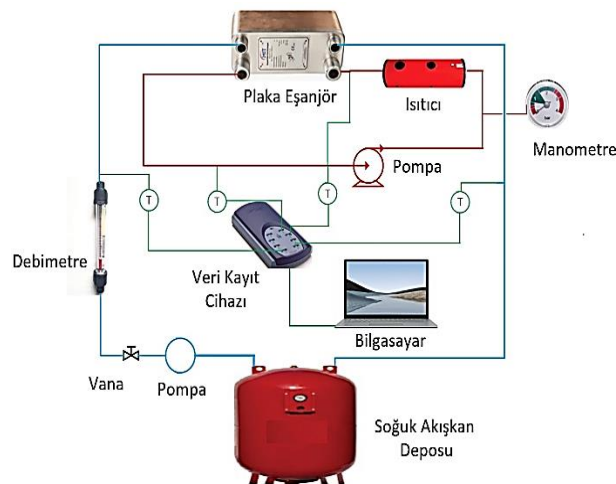
2 Materyal ve Method

2.1 Deneysel Sistem

Deney setinin şematik gösterimi Şekil 1’de verilmiştir. Deney seti; 12 plakaya sahip levhalı tip ısı değiştirici, ısıtıcı sistem, debi ölçer, sıcaklık ölçer, veri kayıt sistemi ve sirkülasyon pompasından oluşmaktadır. Isıtma sistemi LPG’li tip olup farklı ısı yüklerine ayarlanabilecek şekilde dizayn edilmiştir. Akışkan sirkülasyonunu sağlamak ve akışkanı basınçlı şekilde sisteme basmak için 3 kademeli pompa kullanılmıştır. Deney setine giren akışkanın debisini ayarlayabilmek için giren soğuk akışkanın girişine 1 adet ayarlı tip vana yerleştirilmiştir. Vananın hemen çıkışında, suyun hacimsel debisini ölçebilmek için debimetre kullanılmıştır. Sisteme giren soğuk akışkanın, sistemden çıkan sıcak akışkanın, plakalı değiştiriciye giren soğuk ve sıcak akışkanın sıcaklığını ölçmek için 4 adet Tekon marka K tipi ısı çift (termokupl) kullanılmıştır. Plakalı ısı değiştirici içindeki akışkanı tahliye etmek ve sisteme 1,5 bar olacak şekilde nanoakışkan doldurabilmek için U bypass hattının her iki tarafına da vanalı tip giriş çıkış hattı koyulmuştur. Sisteme, hazırlanmış olan akışkanı doldurulamak için basıncı elle arttırılabilen, kapasitesi 4 bar ve sıvı akışkan koyulabilecek hazneye sahip el pompası eklenmiştir. Nanoakışkan deney setine bu pompa vasıtasıyla doldurulmuştur. 4 adet Tekon marka termokupl’dan okunan bilgiler Picolog marka TC-08 modelindeki veri kayıt cihazı yardımıyla bilgisayara aktarılmıştır. Tablo 1’de deney setinde kullanılan cihazlarla ilgili bilgiler verilmiştir.

Tablo 1. Deney setinde kullanılan cihazlar.

Kullanılan Cihazlar	Cihaz Modeli	Maksimum Çalışma Sıcaklığı ve Hassasiyeti(°C)	Çalışma Basıncı (Bar)	Ölçü Aralığı (lt/dk)
Debimetre	Lzs-15	70-(0,1 °C)	0-10	2-18
Sirkülasyon Pompası	Wilo Nfls/5	95	0-0,3	0-18
Veri Aktarım Cihazı	Picolog Tc-08	-270-1820 (0,01 °C)		
Hermetik Kombi	Eca	90 (0, 1 °C)	0-0,3	3866
Termokupl	Tekon K Tipi	-200-1200 (0,1 °C)		



Şekil 1. Deney setinin şematik gösterimi.



Şekil 2. Deney setine ait fotoğraflar.

2.2 Nanoakışkan Özellikleri

Mühendislik uygulamalarında ısı transferi çalışmalarında genellikle kullanılan su, etilen, glikol ve motor yağı gibi ısıl iletkenliği düşük akışkanların, ısıl iletkenliğinin arttırılması için birçok çalışma yürütülmektedir [14]. Isı iletim katsayısı çok büyük olan nano parçacıkların su veya benzer akışkanlara katılarak nanoakışkanların oluşturulması ve oluşturulan akışkanın ısı iletkenliği yüksek olması oldukça dikkat çekmektedir. Bu anlamda nanoakışkanlar, ısı transferi uygulamaları açısından önem kazanmaktadır. Deney setinde kullanılan nano akışkanların hazırlanmasında kullanılan TiO₂ nano partikülleri Nanografi firmasından temin edilmiştir. Nanoakışkan hazırlama işlemi İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Titanyum dioksit nano partikülleri, istenilen hacimsel konsantrasyonda karışım yapabilmek için 0,1 mg hassasiyete sahip hassas terazide tartılmıştır. Nano parçacık tartım işlemi tamamlandıktan sonra kütle oranlar hacimsel orana çevrilmiştir. Çalışmalarda hacimsel oran kullanılmıştır. Yapılan deneylerde kullanılmak üzere hacimce %0,25 ve %0,5 oranda nanoakışkan hazırlanmıştır. Titanyum dioksit-su nanoakışkanı iki aşamalı yöntem kullanılarak hazırlanmıştır. Bu yöntemde temel akışkan ile nano parçacıkların bir araya getirilmesi sağlanmış ve nanoparçacık kümeleşmesini önlemek için ultrasonifikatör cihazı kullanılmıştır. Ultrasonifikatör cihazının amacı ultrasonik titreşimler meydana getirmektir. Tartım işlemi yapılan titanyum dioksit nano parçacığı baz akışkan olan su ile karıştırılarak elde edilen nanoakışkanın kararlılığının sağlanabilmesi için nanoakışkan 5 saat boyunca 63 Hz’lik frekansa ve 400 W’lık maksimum güce sahip Hiel Sher Up 400 ST ultrasonifikatör cihazında bekletilmiş ve karışımdaki titanyumdioksit nano parçacıklarının birbirine yaklaşmasını ve çökelmeyi engellemek için ise benzen sülfonat eklenerek Ika T25 digital homojenizatör cihazında mekanik olarak 3 saat boyunca 3000 dev/dak ile karıştırılmıştır. Nanoakışkanın hazırlanmasında yapılan işlemlere ait resimler gösterilmektedir. Deney setinde kullanılan nanoakışkanın hazırlanmasında kullanılan nano partiküllerin ve suyun termodinamik özellikleri Tablo 2’de, nanoakışkan hazırlama işlemine ait fotoğraflar Şekil 3’de verilmiştir.

Tablo 2. TiO₂ nanopartikül ve suyun termofiziksel özellikleri. (23°C).

Özellikler	TiO ₂	Su
ρ (kg/m ³)	4157	996
C_p (J/kgK)	710	4182
k (W/mK)	6,5	0,618
μ (mPa.s)	-	0,62

**Şekil 3.** Nanoakışkan hazırlama işlemine ait fotoğraflar.

Hazırlanan nanoakışkanların termal özellikleri, yığın sıcaklığında baz sıvı ve nanopartikül özelliklerinden hesaplanabilmektedir. Nanoakışkan yoğunluğu Pak ve Choi modeli ile tahmin edilebilmektedir [15].

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

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

Hazırlanan nanoakışkanın ısı iletkenliği Maxwell-Garnet modeli kullanılarak belirlenebilmektedir [16].

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

Burada ρ , C_p ve k sırasıyla yoğunluk, özgül ısı ve termal iletkenliktir. n , f ve nf alt simgeleri sırasıyla nanopartikülleri, temel sıvıyı ve nano sıvıyı temsil eder. \emptyset , aşağıdaki denklem ile hesaplanabilen baz sıvının süspansiyon çözeltisindeki nanopartiküllerin hacimsel oranıdır[6].

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

Burada m_n ve m_f sırasıyla nanopartiküllerin ve baz sıvının kütesidir.

Isı transferi incelemesinde konvektif ısı transfer katsayısı deneysel veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Plakalı ısı eşanjörünün toplam ısı transfer katsayısı, sıcak ve soğuk akış için plakalı ısı eşanjörü etrafındaki ortama ısı kayıpları ihmal edilerek aşağıda yazıldığı gibi belirlenmektedir.

$$Q_c = \rho_c \dot{V}_c C_{p,c} (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (5)$$

$$Q_h = \rho_h \dot{V}_h C_{p,h} (T_{h,o} - T_{h,i}) \quad (6)$$

$$Q_{av} = \frac{Q_h + Q_c}{2} \quad (7)$$

Burada Q_h sıcak akışkandan verilen ısı Q_c ise soğuk akışkan tarafından emilen ısıdır. Q_{av} , plakalı ısı değiştiricide oluşan ısı alışverişinin ortalama değeridir.

Plakalı ısı değiştirici geometrisi, akışkanların giriş ve çıkışlarındaki sıcaklık değerleri ve Q_{av} , kullanılarak, ısı iletim katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanır [17].

$$U = \frac{Q_{av}}{AFAT_{LMTD}} \quad (8)$$

$$A = N_T HW \quad (9)$$

H ve W plakaların sırasıyla yüksekliği ve genişliğidir. A ısı eşanjörünün toplam yüzey alanı ve N_T toplam plaka sayısıdır. F , karşı akım akışı durumunda 1'e eşit olan sıcaklık düzeltme faktörüdür [18]. ΔT_{LMTD} , aşağıdaki denklem ile hesaplanır [19].

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{h,o} - T_{c,i}) - (T_{h,i} - T_{c,o})}{\ln \frac{(T_{h,o} - T_{c,i})}{(T_{h,i} - T_{c,o})}} \quad (10)$$

Soğuk akışkanın Nu sayısı, farklı Reynolds ve Prandtl sayıları için Kumar denklemi ile hesaplanır [20-21].

$$Nu = 0,306Re^{0,529}Pr^{0,33} \quad 20 < Re < 400 \text{ için} \quad (11)$$

$$Nu = 0,562Re^{0,326}Pr^{0,33} \quad Re < 20 \text{ için} \quad (12)$$

Uygun termo-fiziksel özellikler kullanılarak Prandtl sayısı aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k} \quad (13)$$

Sıcak (su veya nanoakışkan) ve soğuk akışlar için Reynold sayıları aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$Re_h = \frac{\rho_h G_h D_h}{\mu_h} \quad (14)$$

$$Re_c = \frac{\rho_c G_c D_c}{\mu_c} \quad (15)$$

$$Pe = RePr \quad (16)$$

Pe , Peclet sayısı ve D_h ise aşağıdaki denklemle belirlenen hidrolik çapıdır.

$$D_h = \frac{2Wb}{(W+b)} \quad (17)$$

Yukarıda kullanılan G_c ve G_h kanalların içindeki soğuk ve sıcak akışların yüzeyel hızı olup aşağıdaki denklemler ile hesaplanır.

$$G_h = \frac{\dot{V}}{N_h W_b} \quad (18)$$

$$G_c = \frac{\dot{V}}{N_c W_b} \quad (19)$$

Soğuk akışkanın ısı transfer katsayısı (h_c) aşağıdaki denklemle elde edilir. k_c soğuk akışkanın ısı iletkenliğidir.

$$h_c = \frac{Nu k_c}{D_h} \quad (20)$$

Ayrıca, ısı değiştiricinin genel ısı transfer katsayısı (sıcak ve soğuk akışlardaki konvektif ısı dirençlerinin toplamı ve plakaların iletim direnci), aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_c} + \frac{1}{h_h} + \frac{\Delta x}{k} \quad (21)$$

U genel ısı transfer katsayısı, k plakaların ısıl iletkenliği, Δx plakanın kalınlığı, h_c ve h_h sırasıyla soğuk ve sıcak (nanoakışkan) akışların konvektif ısı transfer katsayılarıdır. Hem laminer hem de türbülanslı bölgeler için plakalı ısı değiştirici içinde hesaplanan basınç düşüşü aşağıdaki denklemle hesaplanır [22].

$$\Delta P = \left(\frac{2fL_v N_p G^2}{\rho D_h} \right) + 1.4 \left(\frac{N_p G_p^2}{2\rho} \right) + \rho g(L_v + D_h) \quad (22)$$

N_p ve L_v , sırasıyla plakanın kenarlarındaki geçiş sayısı ve portlar arasındaki dikey uzaklıktır. G_p , giriş / çıkış portlarındaki yüzeyel hızdır ve aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$G_p = \frac{4\dot{V}}{\pi D_p^2} \quad (23)$$

D_p , bağlantı noktalarının çapıdır. Fanning sürtünme faktörü (f) aşağıdaki eşitlikle belirlenir [23].

$$f = \frac{K_p}{Re^m} \quad (24)$$

3 Bulgular

Yapılan çalışmada üç farklı akışkan kullanılmış olup, bu akışkanlar su, su içerisine hacimce %0,25 ve %0,5 hacimsel oranlarda TiO₂ eklenerek oluşturulan nanoakışkanlardır. Tablo 3'te deneyde farklı hacimsel oranlarda kullanılan TiO₂/su nanoakışkanın özellikleri verilmiştir.

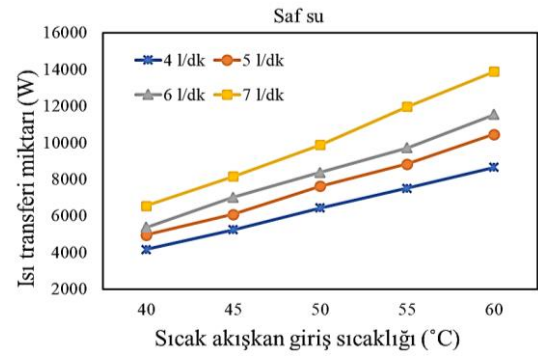
Tablo 3. TiO₂/su nanoakışkan özellikleri (23°C).

Φ	Isıl iletkenlik (W/mK)	Kinematik viskozite (mPa.s)	Yoğunluk (kg/m ³)	Isı kapasitesi (J/kgK)
0,25	0,620	0,64	1001	4095
0,5	0,627	0,66	1004	4105

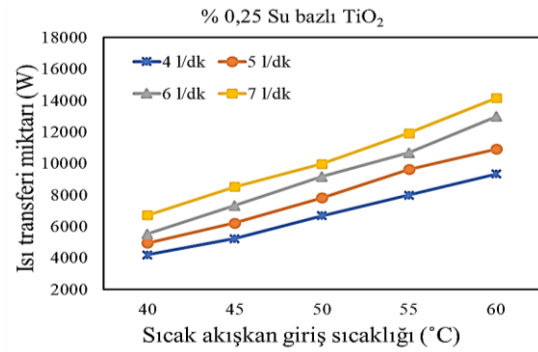
Deneyde soğuk akışkan debisi 4, 5, 6, 7 lt/dk olarak seçilmiştir. Her debi değeri için sıcak akışkan giriş sıcaklığının 40°C, 45°C, 50°C, 55°C ve 60°C olduğu sabit sıcaklık değerlerinde ayrı ayrı deneyler yapılmış ve ısı transferi, etkenlik ve iyileştirme oranları incelenmiştir. Toplam ısı transferinin hacimsel nanoakışkan oranına göre değişimi, farklı akışkan debileri için Şekil 4, Şekil 5 ve 6'da görülmektedir. Akışkan debisi 4, 5, 6 ve 7 lt/dk değerlerine ayarlanarak yapılan deneysel çalışmalarda hacimsel oranın artmasına bağlı olarak ısı transferi artmıştır. Ayrıca debinin artmasıyla da ısı transfer miktarı artmaktadır.

Suyla yapılan deneylerde en düşük ısı transferi miktarı, soğuk akışkanın debisinin 4 lt/dk olduğu, sıcak akışkan giriş sıcaklığının 40°C olduğu deneyde 4156 W olarak hesaplanmış olup, en yüksek ısı transferi miktarı ise soğuk akışkan debisinin 7 lt/dk olduğu ve sıcak akışkan giriş sıcaklığının 60°C deneyde 13855 W olarak hesaplanmıştır. Hacimsel karışım oranı %0,25 olan

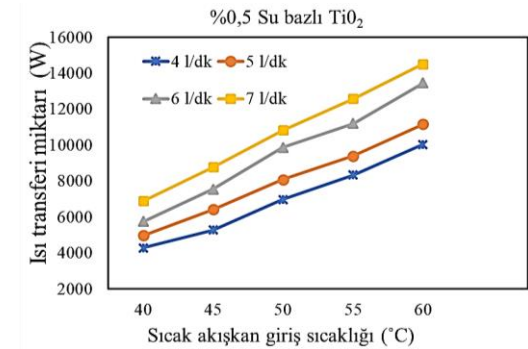
nanoakışkan ile yapılan deneylerde en düşük ısı transferi miktarı, soğuk akışkan debisinin 4 lt/dk olduğu ve sıcak akışkan giriş sıcaklığının 40°C olduğu deneyde 4201W olarak hesaplanmış olup, en yüksek ısı transferi miktarı ise soğuk akışkan debisinin 7 lt/dk olduğu ve sıcak akışkan giriş sıcaklığının 60°C deneyde 14152W olarak hesaplanmıştır. Hacimsel karışım oranı %0,5 olan nanoakışkan ile yapılan deneylerde en yüksek ısı transferi miktarı soğuk akışkan debisinin 7 lt/dk olduğu ve sıcak akışkan giriş sıcaklığının 60°C deneyde 14508W olarak hesaplanmıştır. Literatür çalışmalarından elde edilen bilgilerle uyumlu olarak, nanoakışkanların ısıl iletkenliğinin daha yüksek olması ısı transferi miktarının artmasına neden olmuştur [6].



Şekil 4. Farklı debi ve farklı giriş sıcaklıklarında toplam ısı transferi miktarı değişimi (Su).

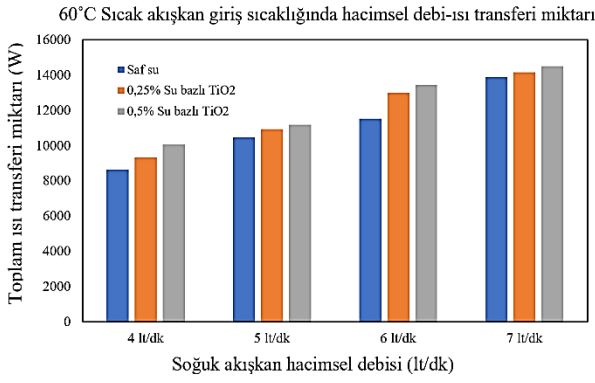


Şekil 5. Farklı debi ve farklı giriş sıcaklıklarında toplam ısı transferi miktarı değişimi (%0,25 su bazlı TiO₂).



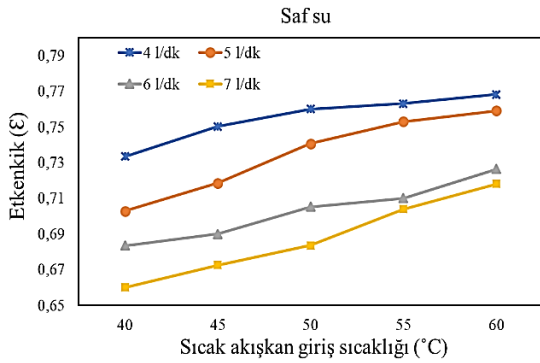
Şekil 6. Farklı debi ve farklı giriş sıcaklıklarında toplam ısı transferi miktarı değişimi (%0,5 su bazlı TiO₂).

Şekil 7'de sıcak akışkan giriş sıcaklığının 60°C, soğuk akışkan hacimsel debilerinin 4, 5, 6, 7 lt/dk olduğu durumda su bazlı akışkan, %0,25 ve %0,5 su bazlı TiO₂ için ısı transferi miktarları verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi en yüksek ısı transferi miktarları bütün debi değerlerinde %0,5 su bazlı TiO₂'de elde edilmiştir.



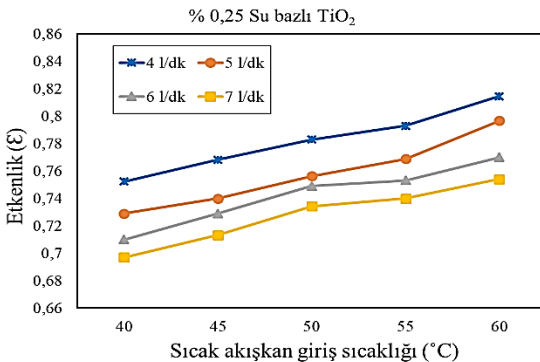
Şekil 7. 60°C Sıcak akışkan giriş sıcaklığı ve farklı soğuk akışkan debilerinde toplam ısı transferi miktarı değişimi.

Etkenlik değişimi, farklı akışkan debileri ve farklı hacimsel oranlar için Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 8'de suyun etkenliği incelendiğinde en yüksek etkenlik 4 lt/dk soğuk akışkan hacimsel debisinde ve sıcak akışkanın giriş sıcaklığının en yüksek olduğu 60°C değerinde ulaşılmıştır. En düşük etkenlik ise soğuk akışkanın hacimsel debisinin 7 lt/dk ve sıcak akışkan giriş sıcaklığının 40°C olduğu durumda ulaşılmıştır. En yüksek ve en düşük değerler sırasıyla 0,660 ve 0,786 olarak hesaplanmıştır. Debi arttıkça etkenlik azalmaktadır.



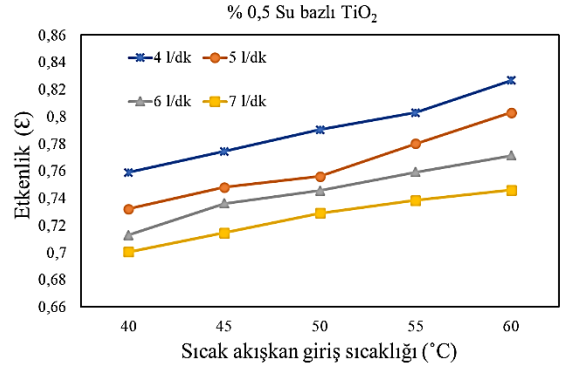
Şekil 8. Farklı debi ve farklı giriş sıcaklıklarında etkenlik değişimi (Su).

Şekil 9'da görüldüğü gibi %0,25 hacimsel oranında su bazlı TiO₂ için yapılan deneylerde en yüksek etkenlik soğuk akışkanın hacimsel debisinin 4 lt/dk ve sıcak akışkan giriş sıcaklığının 60°C olduğu değerde ulaşılmış olup bu değer 0,814 olarak bulunmuştur. En düşük değer ise 7 lt/dk soğuk akışkan debisinde ve sıcak akışkan sıcaklığının 40°C olduğu durumda 0,697 olarak tespit edilmiştir.



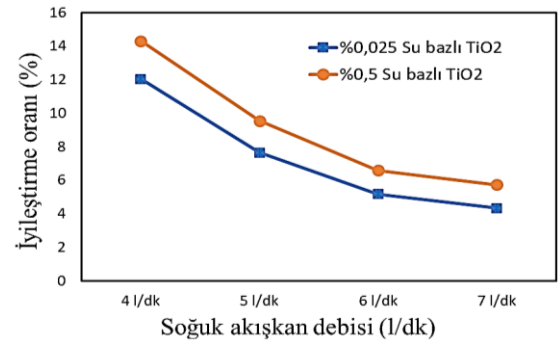
Şekil 9. Farklı debi ve farklı giriş sıcaklıklarında etkenlik değişimi (%0,25 su bazlı TiO₂).

%0,5 hacimsel oranında su bazlı TiO₂ ile yapılan deneylerde Şekil 10 incelendiğinde en yüksek etkenlik soğuk akışkanın hacimsel debisinin 4 lt/dk ve sıcak akışkan giriş sıcaklığının 60°C olduğu değerde ulaşılmış olduğu görülmekte olup ve bu değer 0,826 olarak hesaplanmıştır. En düşük değer ise 7 lt/dk soğuk akışkan debisinde ve sıcak akışkan sıcaklığının 40°C olduğu durumda 0,704 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 10. Farklı debi ve farklı giriş sıcaklıklarında etkenlik değişimi (%0,5 su bazlı TiO₂).

Şekil 11'de soğuk akışkanın hacimsel debisinin farklı değerleri için %0,25 ve %0,5 hacimsel oranlı su bazlı TiO₂ için suya göre iyileştirme oranı verilmiştir. Hacimsel konsantrasyonu %0,5 olan su bazlı TiO₂ nanoakışkan için soğuk akışkan debisinin 4 lt/dk olduğu durumda en yüksek iyileştirme oranı %14,3'tür. En düşük iyileştirme oranı 7 lt/dk hacimsel debi değerinde ve %5,72 olarak hesaplanmıştır. Hacimsel konsantrasyonu %0,25 olan su bazlı TiO₂ nanoakışkan verileri incelendiğinde en yüksek değere soğuk akışkan debisinin 4 lt/dk olduğu durumda ulaşılmış olup bu değer %12,03'tür. En düşük değer ise soğuk akışkan debisinin 7 lt/dk olduğu durumda %4,34 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 11. Farklı nanoakışkanlarda debiye bağlı iyileştirme oranı değişimi.

4 Sonuç

Yapılan bu çalışmada su içinde TiO₂ varlığının, ısı transferi, etkenlik ve iyileştirme oranı üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla su içerisine hacimce %0,25 ve %0,5 oranında TiO₂ eklenmiş ve toplam ısı transferi, etkenlik ve iyileştirme oranları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek ısı transfer miktarına; nanoakışkanın hacimsel oranının %0,5, soğuk akışkanın hacimsel debisinin 7 lt/dk ve sıcak akışkan giriş sıcaklığının 60°C olduğu deneylerde ulaşılmıştır. Etkenlik

ve iyileştirme oranları incelendiğinde ise ısı transferine paralel olarak en yüksek artışlar hacimsel karışım oranı %0,5 olan su bazlı TiO₂ nanoakışkanının kullanıldığı deneylerde görülmektedir. Etkenlik için en yüksek değer 0,826 ve iyileştirme oranı için en yüksek değer % 14,3'tür.

Hacimsel karışım oranı %0,25 olan su bazlı TiO₂ nanoakışkanının kullanıldığı deneylerde ise ısı transferi, etkenlik ve iyileştirme oranı değerlerinde hacimsel karışım oranı %0,5 olan su bazlı TiO₂ nanoakışkanla yapılan deneylere göre azalmalar, su ile yapılan deneylere göre iyileştirmeler görülmektedir.

Bu sonuçlara göre plakalı ısı değiştiricilerinde nanoakışkan kullanımının ısı performansını iyileştirdiği görülmektedir. Nanopartiküllerin maliyetlerinin yüksek olması ve nanoakışkanların hazırlık sürecinin hassas olması nanoakışkanların eşanjörlerde yaygın kullanılması önünde bir engeldir. Nanoakışkanların hazırlanması sürecinde baz akışkana eklenen nanopartikül miktarına göre yeterli sürfektan eklenmesi oldukça önemlidir. Ayrıca nanoakışkanlar hazırlanması işlemi çok önemli olup, karıştırma işleminin uygun yapılmaması nanopartiküllerin çökmesine neden olmaktadır. Bu nedenle kullanılacak nanoakışkanın özellikleri çok iyi araştırılmalıdır. Özellikle nanoakışkan üretiminde dikkat edilecek en önemli hususlardan biri hacimsel karışım oranı değerleridir. Bu değerlerin optimizasyonu için hem teorik olarak hem de deneysel çalışmalar yapılmalıdır.

Teşekkür

Bu çalışmayı (FYL-2020-2253) proje kodu ile destekleyen İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederiz.

Bilgilendirme

Gerçekleştirilen bu çalışmada Etik Kurul Onay belgesine gerek yoktur.

Kaynaklar

- [1] Ateş, H. (2015). Nanoparçacıklar ve nano teller. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1),437-442.
- [2] Choi, S. U., & Eastman, J. A. (1995). *Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles* (No. ANL/MSD/CP-84938; CONF-951135-29). Argonne National Lab.(ANL), Argonne, IL (United States).
- [3] Kahveci, M., & Koca, T. (2021). Plaka tip ısı değiştiricide grafit/saf su nanoakışkan kullanımının ısı performansına etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 400-405.
- [4] Ahuja, A. S. (1982). Thermal design of a heat exchanger employing laminar flow of particle suspensions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 25(5), 725-728.
- [5] Taştan, G. (2022). *Dairesel borudaki zorlanmış taşınım ısı transferine nanopartikül şekil etkisinin sayısal olarak incelenmesi*. (Master's dissertation, Karabük University).
- [6] Kılıç, M., & Efeoğlu, M.(2022). Hareketli bir plakadan olan ısı transferinin farklı nanoakışkanlar ve çarpan jetle incelenmesi. *International Journal of Engineering Research and Development*, 14(1), 115-127.
- [7] Karabulut, K., Buyruk, E., Kılınc, F. (2018). Grafen oksit parçacıkları içeren nanoakışkanın Isı transferi ve basınç düşüşü artışı üzerindeki etkisinin düz bir boruda deneysel olarak araştırılması. *Engineer and Machinery*, 690,45-67.

- [8] Haghshenas, F. M., Talaie, M. R., & Nasr, S. (2011). Numerical and experimental investigation of heat transfer of ZnO/water nanofluid in the concentric tube and plate heat exchangers. *Thermal Science*, 15, 183–94.
- [9] Kwon, Y., Kim, D., Li. C., Lee, J., Hong, D., & Lee, J. (2011). Heat transfer and pressure drop characteristics of nanofluids in a plate heat exchanger. *Journal of Nano Science and Nano Technology*, 11, 69–74.
- [10] Zamzamin, A., Oskouie, S. N., Doosthoseini, A., Joneidi, A., & Pazouki, M. (2011). Experimental investigation of forced convective heat transfer coefficient in nanofluids of Al₂O₃/EG and CuO/EG in a double pipe and plate heat exchangers under turbulent flow. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 35, 495–502.
- [11] Varyenli, H. İ., & Sarı, Y. (2016). Magnezyum oksit ile saf suyun plaka tip ısı değiştiricideki ısı performanslarının deneysel incelenmesi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2(3), 147-170.
- [12] Selma, A., Ünal, A., Oktay, H., & Demiral, D. (2019). Boru demeti üzerinden geçen Al₂O₃-su nanoakışkanın pulsatif akışının ısı transferine etkisi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(2), 621-631.
- [13] Dan, H., Zan, W., & Bengt, S. (2016). Effects of hybrid nanofluid mixture in plate heat exchangers. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 72, 190-196.
- [14] Lee, J., Hwang, K.S., Jang, S. P., Lee, B. H., Kim, J. H., Choi, S. U. S., & Choi, C. J. (2008). Effective viscosities and thermal conductivities of aqueous nanofluids containing low volume concentrations of Al₂O₃ nanoparticle. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51, 2651-2656.
- [15] Pak, B.C., & Choi, Y. I. (1998). Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particle. *Experimental Heat Transfer and International Journal*, 11 (2), 151–170.
- [16] Maxwell, J. C., & Garnett, J.C. (1904). Colours in metal glasses and in metallic films. *Philosophical Transactions of the Royal Society a Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 203, 385–420.
- [17] Hashmi, A., Tahir, F. and Hameed, U. (2011). Empirical Nusselt number correlation for single phase flow through a plate heat exchanger. *Recent Advances in Fluid Mechanics, Heat & Mass Transfer and Biology*, 2, 41–6.
- [18] Seyf, H. R., & Feizbakhshi, M. (2012). Computational analysis of nanofluid effects on convective heat transfer enhancement of micro-pin-fin. *International Journal of Thermal Sciences*, 58, 168–79.
- [19] Daungthongsuk, W., & Wongwises, S.A. (2007). Critical review of convective heat transfer of nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(5), 797–817.
- [20] Ayub, Z. H. (2003). Plate heat exchanger literature survey and new heat transfer and pressure drop correlations for refrigerant evaporators. *Heat transfer engineering*, 24(5), 3-16.
- [21] Kang, H. U., Kim, S. H., & Oh, M. (2006). Estimation of thermal conductivity of nanofluid using experimental effective particle volume. *Experimental Heat Transfer*, 19, 181–91.
- [22] Amiri, A., Shanbedi, M., Amiri, H., Heris, Z., Kazi, S., & Chew, B. (2014). Pool boiling heat transfer of CNT/water nanofluids. *Applied Thermal Engineering*, 71 (1), 450–9.
- [23] Shokrgozar, M., Zeinali, H.S., Poorpharhang, S., Shanbedi, M., & Noie, S. (2014). Experimental study of heat transfer of a car radiator with CuO/ethylene glycol-water as a coolant. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 35, 677–85.