



Plaka Tip Isı Değiştiricide Grafit/Saf Su Nanoakışkan Kullanımının Isıl Performansa Etkisi

Muhammet Kahveci¹, Tarkan Koca^{2*}

¹ Inonu University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical, Malatya, Turkey, (ORCID: 0000-0003-3991-0960), m_kayfeci1984@hotmail.com

^{2*} Inonu University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical, Malatya, Turkey, (ORCID: 0000-0002-6881-4153), tarkan.koca@inonu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 22 Nisan 2021 ve Kabul Tarihi 27 Haziran 2021)

(DOI: 10.31590/ejosat.925777)

ATIF/REFERENCE: Kahveci, M., Koca, T. (2021). Plaka Tip Isı Değiştiricide Grafit/Saf Su Nanoakışkan Kullanımının Isıl Performansa Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (25), 400-405.

Öz

Isı transferini artırmak ve basınç düşüş değerini en aza indirmek, ısı değiştirgeçlerinin ısı performansını iyileştirmek açısından önemli olup üzerinde çok sayıda çalışma yapılan bir konudur. Isı transfer oranını artırmak için, üstün termofiziksel özellikli nanoakışkanlar ısı değiştiricilerinde kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada birleşik sıcak su hazırlama sisteminde bulunan plakalı ısı değiştiricisinde grafit-su nanoakışkan kullanımının ısı transferine, etkinlik katsayısına ve iyileştirme oranına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada soğuk su debileri 4, 5, 6, 7 l/dk, sıcak akışkan giriş sıcaklıkları ise 40, 45, 50, 55, 60°C olarak alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre hacimce %0.25 nanoakışkan oranında en yüksek iyileştirme oranı 4 l/dk debi değerinde %9,42 olarak elde edilirken, debi arttıkça ısı transferinin arttığı ve iyileştirme oranının düştüğü belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Nanoakışkan, Plakalı ısı değiştiricisi, Grafit, Saf su, Etkinlik.

The Effect of Graphite/Pure Water Nanofluid Usage on Thermal Performance in Plate Type Heat Exchanger

Abstract

Increasing the heat transfer and minimizing the pressure drop value is important in terms of development the thermal performance of heat exchangers, and it is a subject that a large number of studies conducted. To increase the heat transfer rate increase the heat transfer rate, nanofluids with superior thermophysical properties are used in heat exchangers. In this study, the effect of graphite-water nanofluid use on heat transfer, efficiency coefficient and improvement rate in the plate heat exchanger in the combined hot water preparation system was investigated experimentally. In the study, cold water flows were taken as 4, 5, 6, 7 l/min and hot fluid inlet temperatures as 40, 45, 50, 55, 60°C. According to the results, while the highest improvement rate was achieved at a rate of 0.25% nanofluid by volume, 9,42% at a volumetric flow rate of 4 l/min, it was determined that the heat transfer increased and the recovery rate decreased as the flow rate increased.

Keywords: Nanofluid, Plate heat exchanger, Graphite, Pure water, Effectiveness

1. Giriş

Gelişen teknoloji ile birlikte endüstriyel alanda kullanılan makinalarda büyük değişimler olmuştur. Kullanılan ekipmanların ısıtma, soğutma talepleri bir taraftan artarken diğer taraftan da boyutlarının minyatürleşmesi istenmektedir. Bu nedenle endüstriyel makinalarda ısı verimi arttırmak için çalışmalar yapmak kaçınılmaz hale gelmiştir. Malzeme biliminin gelişmesiyle birlikte nano büyüklükte partiküller üretilebilir hale gelmiştir. Nano boyuttaki malzemeler daha dayanıklı, daha hafif ve daha iyi ısı ve elektrik iletme özelliklerine sahiptirler. Bütün bu özelliklerinden dolayı nano partiküller baz akışkana ilave edilmeye başlanmış ve nanoakışkanlar üretilmiştir. Nanoakışkan; akışkan içerisine nano büyüklükteki parçacıkların süspansiyonu ile elde edilir. Bütün bu alanlarda kullanılan su, yağ, glikol ve etilen gibi sıvılar baz akışkan, içerisine ilave edilen nano büyüklükteki parçacıklar ise nano parçacık olarak adlandırılmaktadır. Temel akışkan olarak çoğunlukla su kullanılmasına rağmen etilen, glikol ve mineral yağ da kullanılmaktadır. Parçacık olarak ise metal ve metal oksitler kullanılmaktadır. Yaklaşık son 20 yıldır ısı transferinin iyileştirilmesi amacıyla milimetre boyutunda parçacıklar baz akışkana eklenmektedir. Ancak bu parçacıklar kullanılan sistemde aşınmalara, basınç düşüşlerine, aşırı gürültü, titreşim ve çökeltme gibi sebeplere yol açmaktadır. Buna rağmen kullanılan sistemde ısı transfer hızındaki artış bu olumsuzlukların göz ardı edilmesine neden olmuştur. Akışkan içine süspansiyon edilen parçacık, akışkanın yüzey alanını ve ısı kapasitesini arttırmaktadır. Bütün bu nedenlerden dolayı günümüzde bilim insanları nanoakışkanlar üzerine yoğun bir şekilde çalışmaktadır.

Chun ve ark., (2008), çift borulu paralel akışlı bir ısı eşanjöründe laminar akış rejiminde ısı eşanjör sisteminden akan alümina nano parçacık ve transformator yağından yapılmış nano akışkanların konvektif ısı transfer katsayısını araştırmışlardır. Deneysel veriler, sıvıya nano partiküllerin eklenmesinin, sistemin laminar akıştaki ortalama ısı transfer katsayısını arttırdığını göstermiştir. Nano partiküllerin yüzey özellikleri, partikül yükü ve partikül şeklinin nano akışkanların ısı transfer özelliklerini arttırmak için en önemli özellikler olduğunu belirtmişlerdir. Bhattad ve ark., (2018), ısı transferi ve basınç düşüşü özellikleri üzerindeki etkisini araştırmak için farklı konsantrasyonlarda hibrit nanoakışkan ($Al_2O_3 + MWCNT / su$) kullanarak plakalı ısı eşanjörü üzerinde sayısal ve deneysel araştırmalar yapılmıştır. Hibrit nano akışkan kullanarak, ısı transfer katsayısı %39,16 artmış ve pompalama gücünde %1,23'lük bir artış olmuştur. Bu nedenle baz akışkan yerine hibrit akışkan kullanılabilirliğini değerlendirmişlerdir. Sarafraz ve Hormozi (2016), Chevron tipi bir ısı eşanjörü içindeki çok duvarlı karbon nanotüp nanoakışkanlara, zorlanmış konveksiyonla ısı transferini arttırmak için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Su içinde çok duvarlı karbon nanotüplerin varlığı, saf su ile karşılaştırıldığında ısı iletkenlik katsayısı %68'e artmıştır. Zamzaman ve ark., (2011), alümina-etilen glikol ve bakır oksit-etilen glikol nanoakışkanlarını, farklı konsantrasyonlarda hazırlamışlar ve nanoakışkanların ısı özelliklerini tespit etmek için türbülanslı akışta, 45°C, 60°C ve 75°C'lik üç çalışma sıcaklıklarında çift borulu ve plakalı ısı eşanjörlerinde deneyler yapmışlardır. Yapılan deneylerde en büyük ve en küçük artışlar sırasıyla %49 ve %3 olarak görülmüştür. Varyenli ve Sarı (2016), yaptıkları çalışmalarında saf su- MgO kullanmışlardır. Yapılan deneylerde MgO-su nanoakışkanında debi artışına bağlı olarak etkinlik katsayısı artmıştır. Huang ve ark., (2016), alümina nano

partiküller ve çok duvarlı karbon nanotüpler içeren hibrit bir nanoakışkan karışımının ısı transferi ve basınç düşüşü özelliklerini, plakalı ısı eşanjöründe deneysel olarak incelemişlerdir. Aynı akış hızında hibrit nanoakışkan karışımının ısı transfer katsayısı Al_2O_3 -su nanoakışkan ve suyunkinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan bu çalışmada saf su ve grafit-su nano akışkanı deney akışkanı olarak seçilmiştir. Nanoakışkan elde edilirken grafitin hacimsel konsantrasyonu %0,25 olarak alınmıştır. Soğuk su debisine bağlı olarak nanoakışkanın ısı transferi, etkinlik katsayısı ve iyileştirme oranı incelenmiştir. Soğuk su debileri 4, 5, 6, 7 l/dk olarak ayarlanmış olup, sıcak akışkan giriş sıcaklıkları ise 40, 45, 50, 55, 60°C olarak alınmıştır. Yapılan deneysel çalışmada değişkenler literatüre uygun olarak seçilmiştir. Çalışmada konut ısıtılmasında kullanılan birleşik sıcak su hazırlama sistemi kullanılmıştır. Isı değiştiricisi tipi plaka tip eşanjördür. Deneysel çalışmalarda plakalı ısı değiştiricilerinde nanoakışkan kullanımının ısı transferine etkisi değerlendirilmiş olup etkinlik katsayıları ve iyileştirme oranları hesaplanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Deneysel Sistem

Deney seti İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Isı Laboratuvarına kurulmuş ve deneyler gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada saf su içerisine hacimce %0,25 oranında grafit nano partikülü eklenerek, ısı transferi, etkinlik katsayısı ve iyileştirme oranı incelenmiştir. Deney setinin şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir. Deney seti; 8 plakaya sahip levhalı tip ısı değiştirici, ısıtıcı sistem, debi ölçer, sıcaklık ölçer, veri kayıt sistemi, bilgisayar ve sirkülasyon pompasından oluşmaktadır. Isıtma sistemi LPG'li tip olup farklı ısı yüklerine ayarlanabilecek şekilde dizayn edilmiştir. Akışkan sirkülasyonunu sağlamak ve akışkanı basınçlı şekilde sistemde dolaştırmak için 3 kademeli pompa kullanılmıştır. Pompanın debisi 18 l/dk'dır. 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 eşanjöre giren soğuk ve sıcak akışkanın sıcaklığını ölçmek için 4 adet Tekon marka K tipi termokupl kullanılmıştır. Plakalı ısı değiştirici içindeki akışkanı tahliye etmek ve sisteme 1,5 bar olacak şekilde nanoakışkan doldurabilmek için için U by-pass hattının her iki tarafına da vanalı tip giriş çıkış hattı koyulmuştur. Sisteme hazırlanmış olan akışkanın doldurulabilmesi için basıncı elle arttırılabilen, kapasitesi 4 bar olan ve sıvı akışkan koyulabilecek hazneye sahip el pompası eklenmiştir. Sisteme nanoakışkan bu pompa vasıtasıyla doldurulmuştur. 4 adet Tekon marka termokupl'dan gelen bilgiler Picolog marka TC-08 modelindeki veri kayıt cihazının yardımıyla bilgisayara aktarılmıştır.



Şekil 1. Deney setinin şematik gösterimi

Deney setinin farklı açılardan fotoğrafları Şekil 2' de verilmiştir.



Şekil 2. Deney Setinin Görünümü

2.2. Deneyde Kullanılan Nano Partikül ve Saf Suyun Özellikleri

Nano parçacıklar kimyasal yapıları farklı olan malzemeler kullanılarak üretilmekte olup, metaller, seramikler, silikatlar, metal oksitler, organik ve karbon malzemeler örnek olarak verilebilir. Bu çalışmada grafit nano partikülleri kullanılarak nanoakışkan oluşturulmuştur. Nanoakışkanı oluşturmak için kullanılan grafit nano partikülüne ve saf suya ait termofiziksel özellikler Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Grafit Nano Partikülün ve Saf Suyun Termofiziksel Özellikleri

Özellikler	Grafit	Saf Su
ρ (kg/m ³)	2300	992
C_p (J/kgK)	711	4182
k (W/mK)	168	0,618
μ (mPa.s)	-	0,62

2.3. Deneyde Kullanılan Nanoakışkanın Hazırlanması

Deney setinde kullanılan grafit nano partikülleri Nanografi firmasından temin edilmiştir. Nanoakışkan İnönü Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Laboratuvarında hazırlanmıştır. Grafit nano partiküller istenen hacimsel konsantrasyonda karışım yapabilmek için 0,1 mg hassasiyetli hassas terazi kullanılmıştır. Daha sonra kütle oran hacimsel orana dönüştürülmüştür. Hacimce %0,25 konsantrasyonunda nanoakışkan hazırlamak amacıyla 4 litre saf suya 23 gr grafit parçacıkları ilave edilmiştir. Grafit-su nanoakışkanı iki aşamalı yöntem kullanılarak hazırlanmıştır. Bu yöntemde temel akışkan ile nano parçacıkların kümeleşmesini ve çökelmeyi engellemek için ultrasonifikatör cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile ultrasonik titreşimler meydana getirilmektedir. Tartım işlemi yapılan grafit nano parçacığı temel akışkan saf su ile karıştırılmış ve nanoakışkanın kararlılığının elde edilebilmesi için 5 saatlik süre esnasında 63 Hz'lik frekansa ve 400 watt güce sahip Hiel Sher Up 400 ST ultrasonifikatör cihazında bekletilmiştir. Grafit nano parçacıklarının birbirine yaklaşmasını ve çökelmeyi engellemek için 0,69 g benzen sülfonat eklenerek Ika T25 digital homojenizatör cihazında mekanik olarak 3 saat boyunca 3000 dev/dak bekletilmiştir. Nanoakışkanın hazırlanmasında yapılan işlemlere ait resimler Şekil 3'te gösterilmektedir.



Şekil 3. Ultrasonifikatör ve Homojenizatör

2.4. Teorik Analiz

Nanoakışkan yoğunluğu Pak ve Choi modeli ile tahmin edilmekte olup denklem 1 kullanılarak hesaplanmaktadır (Pak ve Choi, 1998). Burada ρ yoğunluk, n nano partikülleri, f temel sıvıyı ve n_f nano sıvıyı simgelemektedir. Nano partiküllerin hacimsel oranı (ϕ) ile gösterilmektedir.

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

Nanakışkanın özgül ısısı, Xuan ve Roetzel modeli kullanılarak denklem 2 ile hesaplanmaktadır (Xuan ve Roetzel, 2000). Burada C_p özgül ısıdır.

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

Hazırlanan nanoakışkanın ısı iletkenliği Maxwell-Garnet modeli kullanılarak denklem 3 ile belirlenmektedir (Maxwell ve Garnett, 1904). Burada k termal iletkenliktir.

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

Nano partiküllerin hacimsel oranı denklem 4 ile hesaplanmaktadır. Burada m_n ve m_f nano partiküllerin ve temel sıvının kütesidir.

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

Transfer edilen ısı miktarı denklem 5 ile kullanılarak hesaplanmaktadır. Burada Q , ısı transferi miktarı, \dot{m} , kütleli debi c_{pc} , c_{ph} sırasıyla soğuk ve sıcak akışkanın özgül ısısıdır.

$$Q = \dot{m}_h \cdot c_{ph} \cdot (T_{hi} - T_{ho}) = \dot{m}_c \cdot c_{pc} \cdot (T_{ci} - T_{co}) \quad (5)$$

Plaka tip ısı değiştiricisinde sıcak ve soğuk suyun ısı kapasitesi denklem 6 ve denklem 7 ile hesaplanmaktadır.

$$C_{hot} = \dot{m}_h \cdot c_{ph} \quad (6)$$

$$C_{cold} = \dot{m}_c \cdot c_{pc} \quad (7)$$

Isı değiştiricisinde gerçekleştirilebilecek maksimum ısı transferi miktarını bulmak için bu değerlerden küçük olan değer C_{min} olarak kullanılır. Denklem 8 ile hesaplanan Q_{max} plakalı ısı değiştiricisinde gerçekleştirilebilecek maksimum ısı transferi miktarıdır.

$$Q_{max} = C_{min} \cdot (T_{hi} - T_{ci}) \quad (8)$$

Isı değiştiricinin etkinliği denklem 9 ile hesaplanır. Burada ϵ etkinlik katsayısıdır (Selbaş ve ark., 2009).

$$\epsilon = \frac{Q}{Q_{max}} \quad (9)$$

İyileştirme oranı denklem 10 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\text{İyileştirme Oranı} = \frac{(\epsilon_{Grafit} - \epsilon_{Su})}{\epsilon_{Su}} \quad (10)$$

2.5. Ölçüm Hassasiyetleri

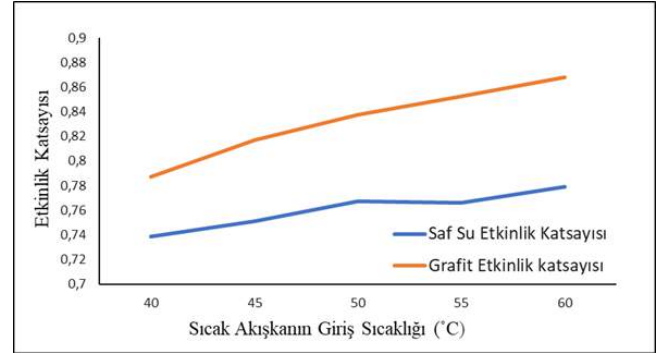
Plakalı ısı değiştiricisinde nanokışkan ve saf su ile yapılan deneylerde soğuk su giriş-çıkış sıcaklıkları ve debisi, sıcak su giriş-çıkış sıcaklıkları ve debisi ölçümleri tekrarlanarak yapılmıştır. Test edilen ve ölçüm yapan cihazlara ait katalog değerlerinden elde edilen hassasiyetler Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. Ölçüm Cihazlarının Hassasiyetleri

Cihazlar	Teknik Özellikler	Hassasiyet
Sıcaklık ölçer	Ölçüm aralığı -200 /1200°C	±0,1 °C
Hacimsel debi ölçer	2-18 l/dk	%4
Hassas terazi	Kapasite: 6000 gr	±0,01mg
Veri kayıt cihazı	8 kanallı, -270/1820°C kapasiteli	±0,001 °C

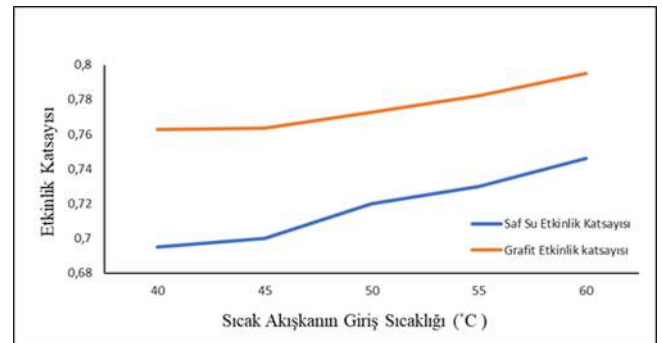
3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Şekil 4’te soğuk akışkanın debisi 4 l/dk iken, sıcak ve soğuk akışkanın etkinlik katsayısı sıcak akışkanın giriş sıcaklığının yükselmesiyle doğru orantılı artmıştır. Plakalı ısı değiştiricisine 40°C sıcaklıkta giren grafit-su nanoakışkanı ile yapılan deneylerde etkinlik 0,787 iken, saf su ile yapılan deneylerde etkinlik 0,739 olarak görülmektedir.



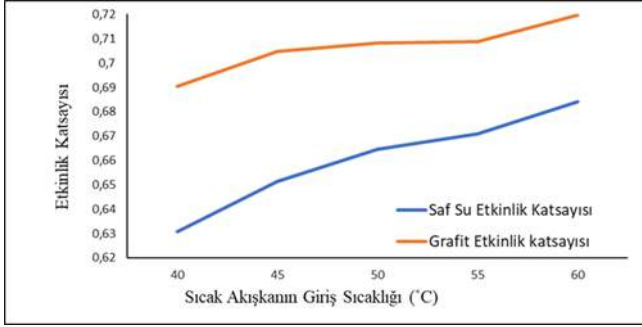
Şekil 4. Sıcak Akışkan Giriş Sıcaklığı -Etkinlik Katsayısı Değişimi (Debi 4 l/dk)

Şekil 5’te görüldüğü gibi soğuk akışkan debisinin 5 l/dk olduğu deneylerde, grafit-su nanoakışkanın etkinlik katsayısı sıcak akışkanın giriş sıcaklığının artmasıyla doğru orantılı olarak artmış, saf suyun etkinlik katsayısı ise 40-50°C aralığında sıcaklık artışına bağlı olarak artış göstermiş, bu artış 50°C ile 55°C sıcaklıklar arasında ise minimum düzeyde kalmıştır. Daha sonra sıcaklığa bağlı olarak artmaya devam etmiştir. 40°C giriş sıcaklığında grafit-su nanoakışkanı ile yapılan deneylerde etkinlik 0,735 iken, saf su ile yapılan deneylerde etkinlik 0,699 olarak görülmüştür.



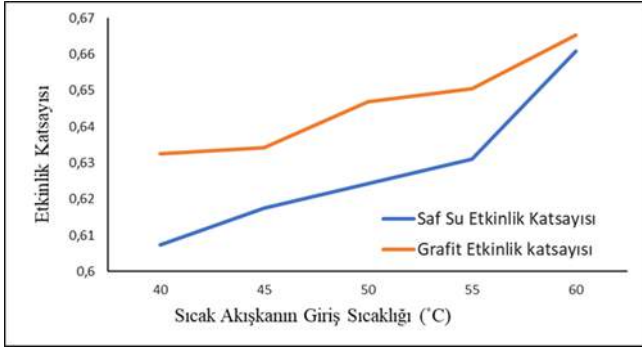
Şekil 5. Sıcak Akışkan Giriş Sıcaklığı -Etkinlik Katsayısı Değişimi (Debi 5 l/dk)

Şekil 6’da soğuk akışkan debisinin 6 l/dk olduğu deneylerde, sıcak ve soğuk akışkanın etkinlik katsayısı sıcak akışkanın giriş sıcaklığına bağlı olarak artışı görülmektedir. 40°C giriş sıcaklığında grafit-su nanoakışkanı ile yapılan deneylerde etkinlik 0,690 iken, saf su ile yapılan deneylerde etkinlik 0,630 olarak görülmüştür.



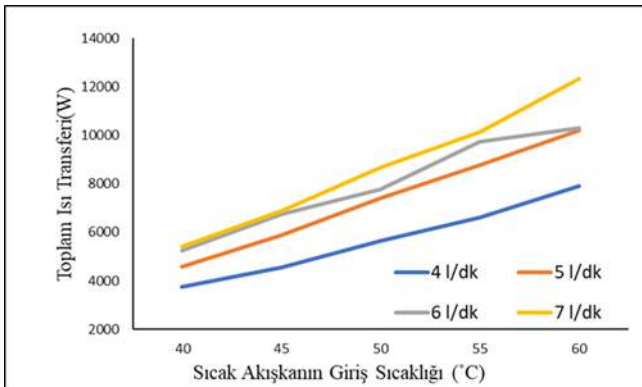
Şekil 6. Sıcak Akışkan Giriş Sıcaklığı -Etkinlik Katsayısı Değişimi (Debi 6 l/dk)

Şekil 7’de debi 7 l/dk olarak alınmış olup, her iki akışkanın etkinlik katsayısı sıcak akışkanın giriş sıcaklığının artmasıyla doğru orantılı olarak yükseldiği gösterilmektedir. Giriş sıcaklığının 40°C olduğu grafit- su nanoakışkanı ile yapılan deneylerde etkinlik 0,632 iken, saf su ile yapılan deneylerde etkinlik 0,607 olarak tespit edilmiştir.



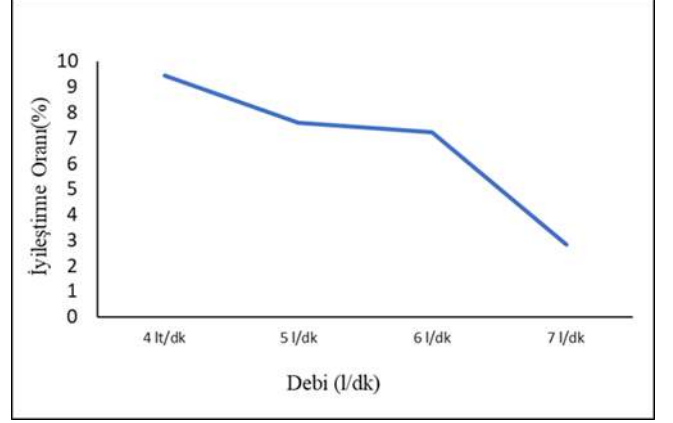
Şekil 7. Sıcak Akışkan Giriş Sıcaklığı -Etkinlik Katsayısı Değişimi (Debi 7 l/dk)

Toplam ısı transferinin değişimi, farklı akışkan debileri ve farklı sıcaklıklara bağlı olarak Şekil 8’de verilmiştir. Debinin artışına bağlı olarak toplam ısı transferi miktarı da artmıştır. 4, 5, 6 ve 7 l/dk debilerde; 40°C sıcak akışkan giriş sıcaklıklarında toplam ısı transferi sırasıyla 3758 W, 4567 W, 5263 W ve 5401 W olurken, 60°C giriş sıcaklığında 7917 W, 10199 W, 10298 W ve 12321 W olarak elde edilmiştir.



Şekil 8. Farklı Akışkan Debileri İçin Sıcak Akışkan Giriş Sıcaklığına Bağlı Toplam Isı Transferi Miktarı

Şekil 9’da zıt yönlü paralel akışlı plakalı ısı değiştiricide, farklı debilerde yapılan deneylerde saf su yerine grafit-su nanoakışkanı kullanıldığı durumda ortalama iyileştirme oranı grafiği görülmektedir. 4, 5, 6, 7 l/dk debi değerlerinde ortalama iyileştirme oranı sırasıyla %9,42, %7,59, %7,21 ve %2,85 olarak hesaplanmıştır. Debinin artışına bağlı olarak iyileştirme oranının azaldığı görülmektedir.



Şekil 9. Debiye Göre İyileştirme Oranı Değişimi

4. Sonuç

Yapılan bu çalışma ile su içinde grafit nano partiküllerin varlığının, ısı transferi, etkinlik katsayısı ve iyileştirme oranına etkileri incelenmiştir. Bu amaçla su içerisine hacimce %0,25 oranında nano partikül eklenmiş ve toplam ısı transferi, etkinlik katsayısı ve iyileştirme oranı incelenmiştir. Deneylerden elde edilen etkinlik katsayıları ve iyileştirme oranı değerleri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Etkinlik Katsayıları ve İyileştirme Oranları

Akışkan Tipi	Debi l/dk	Sıcaklıklara Göre Etkinlik Katsayısı					İyileştirme Oranı (%)
		40°C	45°C	50°C	55°C	60°C	
Saf su	4	0,739	0,75	0,767	0,765	0,779	9,42
Nanoakışkan		0,787	0,817	0,837	0,852	0,867	
Saf su	5	0,695	0,699	0,72	0,73	0,746	7,59
Nanoakışkan		0,762	0,763	0,772	0,782	0,794	
Saf su	6	0,63	0,651	0,664	0,67	0,684	7,21
Nanoakışkan		0,69	0,704	0,708	0,708	0,719	
Saf su	7	0,607	0,617	0,624	0,631	0,66	2,85
Nanoakışkan		0,632	0,634	0,646	0,65	0,665	

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde 4, 5, 6, 7 l/dk soğuk akışkan debileri için nanoakışkanın etkinlik katsayısı saf suyla kıyaslandığında önemli ölçüde artmıştır. Fakat debinin artmasına bağlı olarak etkinlik katsayısının artış miktarı giderek azalmıştır. Toplam ısı transferi 4, 5, 6, 7 l/dk debileri için debinin ve sıcaklığın artışıyla doğru orantılı olarak artmıştır. Ortalama iyileştirme oranı ise 4 l/dk debide en yüksek değerine ulaşmış olup, debinin artmasına bağlı olarak bu değer düşme eğilimine girmiştir. Bu sonuçlara göre nanoakışkan ile saf su karşılaştırıldığında, plakalı ısı değiştiricisinde nanoakışkan kullanımı ile ısı verimliliğinde önemli iyileştirmeler sağlanmıştır. Isıl verimlilikte nanoakışkanların termofiziksel özellikleri, nanoakışkanın konsantrasyon seviyesi, ısı değiştiricinin geometrisi etkili olup, sıcaklıklar ve akışkan debisi gibi çalışma koşulları da önemli etkenlerdir. Nanoakışkan kullanımının

olumsuz yönleri ise maliyetin yüksek olması, uygun oranda hazırlanmaması durumunda çökme, tortulaşma gibi durumlardır. Özellikle nanoakışkanlarda çökmenin olmaması için karışım hazırlama işlemine oldukça önem verilmeli ve hassas davranılmalıdır. Isı değiştiricilerinde deneysel çalışma yapacak araştırmacıların belirtilen durumları göz önünde bulundurmaları gerekmektedir. Isı değiştiricilerinde nanoakışkanların ısı transferi ve basınç düşüşü üzerindeki etkisini araştırmak için farklı konsantrasyonlarda grafit-su nanoakışkanı kullanılarak yeni çalışmalar yapılabilir. Ayrıca plaka tip ısı değiştiricilerinde farklı tip nanoakışkan kullanarak nanoakışkanlar ısıl performans açısından karşılaştırılabilir.

5. Teşekkür

Bu çalışmayı (FYL-2020-2253) proje kodu ile destekleyen İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederiz. Ayrıca nanoakışkan İnönü üniversitesi Gıda Mühendisliği Laboratuvarında hazırlanmış olup, bu konuda yardımcı olan Prof. Dr. Ali Adnan Hayaloğlu'na teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Bhattad, A., Sarkar, J., Ghosh, P. (2018). Discrete phase numerical model and experimental study of hybrid nanofluid heat transfer and pressure drop in plate heat exchanger. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 91, 262-273.
- Chun B.H., Kang H.U., Kim S.H. (2008). Effect of alumina nanoparticles in the fluid on heat transfer in double-pipe heat exchanger system. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 25(5), 966-971.
- Huang, D., Wu, Z. (2016). Sunden B, Effects of hybrid nanofluid mixture in plate heat exchangers. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 72, 190-196.
- 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.
- 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.
- Sarafraz, M.M., Hormozi, F. (2016). Heat transfer pressure drop and fouling studies of multi-walled carbon nanotube nanofluids inside a plate heat exchanger. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 72, 1-11.
- Selbaş, R., Sencan, A.M., Kılıç, B. (2009). Alternative approach in thermal analysis of plate heat exchanger. *Heat and Mass Transfer*, 45, 323-329.
- Variyenli, H.İ., Sarı, Y. (2016). Magnezyum oksit ile saf suyun plaka tip ısı değiştiricideki ısıl performanslarının deneysel incelenmesi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2(3), 147-170.
- Xuan, Y., Roetzel, W. (2000). Conceptions for heat transfer correlation of nanofluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43(19), 3701-3707.
- Zamzamanian, 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.