

Nanoakışkan Kullanılan Birleşik Jet Akışlı ve Kanatçıklı Kanallarda Isı Transferi ve Performans Değerlendirme Sayısının İncelenmesi

Doğan Engin ALNAK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
Teknoloji Fakültesi
İmalat Mühendisliği
Sivas
dealnak@cumhuriyet.edu.tr
orcid:0000-0003-0126-1483

Koray KARABULUT

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu
Elektrik ve Enerji Bölümü
Sivas
kkarabulut@cumhuriyet.edu.tr
orcid:0000-0001-5680-0988

Öztürk TATAR

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu
Elektrik ve Enerji Bölümü
Sivas
otatar@cumhuriyet.edu.tr
orcid:0000-0002-8523-8709

ÖZ

Bu çalışmada, birleşik jet akışlı kanallarda bulunan sabit ısı akılı küp ve dairesel oyuklu desenlerden olan ısı transferi su ve %0,02 hacimsel konsantrasyonlu GO (Grafen Oksit)-Su nanoakışkanı kullanılarak sayısal olarak araştırılmıştır. Sayısal çalışma, sürekli ve üç boyutlu olarak k-ε türbülans modeli Ansys-Fluent programının kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Nanoakışkanın termofiziksel özellikleri deneysel olarak elde edilmiştir. Literatürdeki çalışmalar da göz önüne alınarak kanallara üçer adet desenli yüzey yerleştirilmiştir. Kanallara ayrıca jet girişinden itibaren 1,5D jet giriş çapı ölçüsünde sabit bir uzaklıkta (N) 30° ve 90° açılı kanatçıklar eklenmiştir. Kanal yükseklikleri 3D iken akışkanların Re sayısı aralığı 7000-11000'dir. Çalışmadan elde edilen sonuçların doğruluğu ve kabul edilebilirliği deneysel araştırmalar sonucu elde edilen eşitlik kullanılarak kanıtlanmıştır. Çalışmanın sonuçları, kanallardaki her bir desen için ortalama Nu sayısının değişimleri olarak su ve nanoakışkan kullanılarak kanatçıksız ve kanatçıklı durumlarda karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bununla birlikte, kanallardaki her üç desenli yüzeyin tümü için farklı Reynolds sayılarında performans değerlendirme sayıları (PEC) ve ortalama Nu sayısı (Nu_m) ve yüzey sıcaklık değerleri (T_m) Re=11000 için değerlendirilmiştir. Ayrıca, birleşik jet akışlı kanallarda nanoakışkanın hız ve sıcaklık konturu dağılımları sunulmuştur. 30° kanatçıklı nanoakışkanlı küp ve dairesel oyuklu desenli yüzeylerde ortalama Num değerlerinin kanatçıksız ve su akışkanı kullanılan kanallara göre %18,66 ve %15,93 daha fazla oldukları bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler

Çarpan Jet-Çapraz Akışlı Birleşik Jet, Nanoakışkan, GO (Grafen Oksit), Sayısal Isı Transferi.

Examination of Heat Transfer and Performance Evaluation Number in Channels Used Nanofluid with Combined Jet Flow and Fin

ABSTRACT

In this study, heat transfer from fixed heat flux cube and circular cavity patterns in combined jet flow channels was investigated numerically by using water and 0.02% volumetric concentration GO (Graphene Oxide)-Water nanofluid. The numerical study was carried out steady and in three dimensions by using the Ansys-Fluent program with k-ε turbulence model. The thermophysical properties of the nanofluid were obtained experimentally. Considering the studies in the literature, three patterned surfaces were placed on the channels. Also, 30° and 90° angled fins have been added to the channels at a fixed distance (N) of 1.5D jet inlet diameter from the jet inlet. While the channel heights are 3D, the Re number range of the fluids is 7000-11000. The accuracy and acceptability of the results obtained from the study has been proven by using the equation obtained as a result of experimental research. The results of the study were examined comparatively using water and nanofluid in the finless and finned conditions as the mean Nu number variations for each pattern in the channels. However, performance evaluation numbers (PEC) at different Reynolds numbers and average Nu number (Nu_m) and surface temperature values (T_m) were evaluated at Re=11000 for all three patterned surfaces in the channels. Besides, velocity and temperature contour distributions of the nanofluid in the combined jet flow channels were presented. It was found that the average Num values on the 30° finned nanofluid cube and circular cavity patterned surfaces were 18.66% and 15.93% higher than the channels without fins and using water fluid.

Keywords

Combined Jet with Impinging Jet-Cross Flow, Nanofluid, GO (Graphene Oxide), Numerical Heat Transfer.

Geliş Tarihi : 01.04.2022
Kabul Tarihi : 06.04.2022

Alnak, D. E., Karabulut, K., Tatar, Ö., Nanoakışkan Kullanılan Birleşik Jet Akışlı ve Kanatçıklı Kanallarda Isı Transferi ve Performans Değerlendirme Sayısının İncelenmesi, Tesistat Mühendisliği Dergisi, Sayı: 189, sf. 61-73, Mart-Nisan 2022

1. GİRİŞ

Elektronik sistemlerde yaşanan hacimsel olarak küçülme, teknoloji üzerinde büyük bir etkiye sahip olup onları son derece verimli bir hale getirmektedir. Bununla birlikte, modern ve yüksek güçlü kompakt elektronik bileşenlerin kullanım ömrü, onların ısı yayma kapasitesinden etkilenmektedir [1].

Gelişen teknolojiyle birlikte günümüzde kullanım alanı oldukça yaygınlaşan ve boyutları küçülen mikroçiplerin ısınma problemi ortaya çıkmış ve soğutulmaları oldukça önemli hale gelmiştir. Bu elemanların soğutulmasında çeşitli soğutma teknikleri uygulanmaktadır. Çapraz akış ile soğutma yöntemi, bu tekniklerden en yaygın olarak bilinendir. Bu yöntem, soğuk akışkanın bir fanla tüm bileşenler üzerine gönderilmesi ve bu sayede elektronik bileşenlerin bütünüünün soğutulması esasına dayanmaktadır. Ancak, bu metot bütün devre elemanlarının soğutulması esasında olduğundan çok yüksek sıcaklıklardaki bileşenlerin soğutulmasında başarısız olabilir. Bir diğer soğutma yöntemi de çarpan jetle soğutmadır. Bu yöntemde, soğuk akışkan lüleyle sıcaklığı yüksek bir elemana yersel şekilde püskürtülür. Çarpan jet ile sıcaklığı yüksek bir devre bileşeninin soğutulması sağlanabilirken, devrenin bütünüünün soğutulmasında yetersiz kalabilmektedir. Bir elektronik devrede sıcaklıkları birbirlerinden oldukça farklı birden çok eleman bulunabilir. Bu sebeple, tek çeşit soğutma yöntemi ile bütün devreyi güvenli şekilde tutabilecek şartlara erişilmekte sıkıntı olabilir. Bu nedenle; çarpan jet ve çapraz akış soğutma yönteminin bir arada işleme alınarak birleşik jet akışı şeklinde uygulanması soğutma kapasitesi yüksek faydalı bir durum oluşturabilir. Çapraz akışla devre elemanları bir bütün olarak belirli bir aşamaya kadar soğutulabilirken, devrede sadece çok yüksek sıcaklıktaki elemanlar ise çarpan jet akışıyla noktasal olarak soğutulabilmektedir [2, 3].

Literatürde, yalnızca çapraz akış veya yalnızca jet akışın değerlendirildiği çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışma için incelenen model daha ziyade jet akışa benzediğinden, literatür incelemesinde daha çok jet akış üzerine odaklanılmıştır. Bununla birlikte, literatürde çarpan jetler hakkında birçok sayısal ve deneysel araştırma mevcuttur. Bu çalışmalarda ise temel olarak çarpan jetler için kullanılan akışkanın türü, akış alanına ait geometri,

türbülanslı model, Reynolds sayısı, jet mesafesi ve ısı akışı gibi değişkenlerin devre bileşenlerinden olan ısı transferine etkileri üzerinde incelemelerde bulunulmuştur. Bunun yanı sıra, çapraz akış ve çarpan jet akışın birlikte kullanıldığı soğutma yöntemleriyle ilgili yapılan çalışmalar sınırlı olup, akışkanın kanal içerisindeki ısınmış yüzeylere yönlendirilmesiyle ilgili olarak bu çalışmada araştırıldığı gibi ayrıntılı kanal ve ısınmış yüzey tasarımlarının olduğu ve son yıllarda önemi ve kullanımı giderek artan karbon kökenli GO-Su nanoakışkanının kullanıldığı bir çalışmaya elde edilen literatürde rastlanmamıştır.

Hadipour ve Zargarabadi [4] çarpan dairesel bir jet akışının sabit ısı akılı iç bükümlü bir yüzey üzerindeki akış ve ısı transferi özelliklerini, değişik jet-plaka arası oranlarında sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Farklı H/D (kanal yükseklik/jet giriş çapı) oranları, Re sayıları ve jet çapı değerlerinde araştırmalar gerçekleştirmişlerdir. Sabit Re sayısında jet çapı artışıyla ısı transferinin arttığını görmüşlerdir. Karabulut ve Alnak [5] dikdörtgen kesitli kanallardaki çatı ve ters yamuk şeklinde iki farklı desene sahip bakır plakalı yüzeylerin farklı jet giriş genişliklerinde tek bir hava jeti akışı ile soğutulmasını sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında kullandıkları jet giriş genişlikleri $0,5 D_h$ ve D_h iken jet-plaka arası uzaklıkları (H/D_h) 3 ve 6 olarak almışlardır. Sonuç olarak, $0,5 D_h$ jet genişliğinde, $H/D_h = 6$ iken $Re = 5000$ değerinde ortalama Nu sayısının çatı desenli yüzeyde ters yamuk desenli yüzeyden %25,92 daha fazla olduğunu belirlemişlerdir. Demircan [6] elektronik devre elemanından olan ısı transferini çapraz akış-çarpan jetle sayısal olarak incelemiştir. Re sayısı, jet-kanal hız oranlarının farklı değerlerinde araştırmalar yapmıştır. Çalışmasında, Re sayısı ve hız oranlarının iyileşmesiyle ısı transferinin kayda değer oranda arttığı sonucuna ulaşmıştır. Sabit ısı akısına sahip elektronik bir elemanın çarpan hava jeti ve çapraz akış kombinasyonu ile soğutulması sayısal olarak Öztürk ve Demircan [7] tarafından araştırılmıştır. Çalışmalarında farklı jet giriş hızının kanal giriş hızına göre oranları (0, 1, 2 ve 3) ve 0° , $22,5^\circ$, 45° , $67,5^\circ$ ve 90° olmak üzere kanala yerleştirilen kanatçıkların farklı açıları için kanaldaki tek bir elemandan olan ısı transferi incelenmiştir. Kanal yüksekliğinin jet çapına oranı sabit ve 3 olarak alınırken, kanalda akışkan olarak hava kullanılmıştır. Elemandan olan en yüksek ısı transferinin, giriş

hızının kanal giriş hızına oranının 3 ve kanatçık açısının 90° olduğu durumda erişildiği belirlenmiştir. Maghrabie ve ark. [8] kanal boyunca sıralı yedi adet devre elemanından meydana gelen bir sistemin çarpan jet-çapraz akış kombinasyonu ile ısı transferini sayısal olarak değerlendirmişler ve ısı transferi üzerinde jet konumu değişikliğinin etkisini belirlemişlerdir.

Nanoakışkanların kullanıldığı jet çarpmalı çalışmalar incelendiğinde; Chang ve Yang [9] Al_2O_3 -su nanoakışkanını kullanarak jet çarpmalı akış kaynamasının ısı transfer performansını incelemişlerdir. Al_2O_3 -su nanoakışkanın jet çarpma akışının ısı transferi performansının, çalışma sıvısı olarak kullanılan sudan daha kötü olduğu bulunmuştur. Isı transfer performansındaki azalmanın ısı direncin artmasıyla sonuçlanan ısıtılmış yüzey üzerindeki bir nano-soğurma tabakasının oluşmasından kaynaklandığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, ısıtılan yüzeye akustik titreşim uygulanarak nano-soğurma tabakasının oluşumu önlenirken, bu durumda Al_2O_3 -su nanoakışkanını kullanarak elde edilen ısı transfer performansı su kullanılarak elde edilenden daha iyi olmaktadır. Kumar ve ark. [10] ısı transfer oranını artırmak için jet çarpmalı durumda kanat profili sütunlarıyla birleştirilmiş bir ısı emici kullanmışlardır. Bunu gerçekleştirirken araştırmalarında su ve %1 konsantrasyonlu CuO -su nanoakışkanından yararlanmışlardır. Sonuçlarında, ısı emici sıcaklığında jet akışkanını kullanarak su akışkanını kullandıklarında %10'luk bir azalma elde ederlerken, nanoakışkan kullandıklarında ise sıcaklık düşüşünün %14'ü bulunduğunu saptamışlardır. Mikrokanalın üst duvarında tırtıklı enjeksiyon jeti bulunan ve 0-40 Hartman yoğunluğunda manyetik alan kullanan bir mikrokanal içindeki %0-6 Al_2O_3 -Su nanoakışkanın akışı Jalali ve ark. [11] tarafından incelenmiştir. Jet çarpma bölmeli alt mikro kanal duvarı sabit bir sıcaklığa sahipken üst mikro kanal duvarı çarpan jetler arasında yalıtılmıştır. Isı transferini artırmak amacıyla çarpan jetler için girintili mod uygulanmıştır. Sonuçlar, tırtık çentik yüksekliğinin fazla olmasının ısı transferini o ölçüde artırdığını göstermiştir. Abdullah ve ark. [12] çalışmalarında alüminyum bir plaka yüzeyine çift jet çarpmasının ısı transferi üzerinde TiO_2 nano çözeltisi konsantrasyonunun etkisini deneysel analiz yoluyla incelemişlerdir. Bunun haricinde değişkenler olarak çift jetin lüle mesafesini ve lüle-plaka mesafesini göz önüne almışlardır. Bu verilere bağlı

olarak çift jetin akış yapısının ısı transferi artışını etkileyen önemli bir durum olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca, mesafelerin ve akış yapısını etkileyen nanoparçacık konsantrasyonunun da Re sayısı ile birlikte Nu sayısını etkilediğini belirlemişlerdir.

Ulaşılan literatür incelemelerinden de anlaşıldığı üzere çarpan jetlerle ilgili bir çok çalışma bulunmaktadır. Ancak, nanoakışkanın kullanıldığı ve çarpan jet-çapraz akışın birlikte uygulandığı birleşik jet akışlı çalışma sayısı oldukça azdır. Bu çalışmada, küp ve dairesel oyuklu desenli bakır plakalı yüzeylerden olan ısı transferi çarpan jet-çapraz akış birleşik su ve %0,02 GO-Su nanoakışkan jet akışıyla kanatçıksız, 30° ve 90° açılı kanatçıklı sabit kanal yükseklikli ($H=3D$) ve sabit kanatçık mesafeli ($N=1,5D$) kanallarda sayısal olarak araştırılmıştır. Sayısal incelemede, sürekli ve üç boyutlu enerji ve Navier-Stokes denklemleri $k-\epsilon$ türbülans modeli Ansys-Fluent programı kullanılarak çözülmüştür. Kanatçık ve kanalın alt ve üst yüzeyleri adyabatik iken desenli yüzeyler 1000 W/m^2 sabit ısı akısına sahiptir. Akışkanların çalışma Reynolds sayısı aralığı 7000-11000'dir. Akışkanların kanala giriş sıcaklıkları sabit 303 K 'dir. Çalışmada kullanılan %0,02 hacimsel konsantrasyonlu GO-Su nanoakışkanının ısı iletkenliği, yoğunluğu ve viskozitesi deneysel olarak elde edilmiş olup yalnızca özgül ısı Pak and Cho [13] tarafından türetilen eşitlik yardımıyla bulunmuştur. Çalışmanın sonuçları, literatürdeki deneysel çalışma sonucu elde edilen denklemin sonuçlarıyla kıyaslanmış ve birbirleriyle uyumlu oldukları saptanmıştır. Sonuçlar, her bir küp ve dairesel oyuklu desenli yüzeyde ortalama Nu sayısının değişimleri şeklinde incelenmiştir. Bununla birlikte, nanoakışkanın hız ve sıcaklık konturu dağılımları desen aralarındaki jet akış etkisi de dikkate alınarak sunulmuştur. Ayrıca, kanatçıkların ve nanoakışkanın birleşik jet akışlı kanallarda kanatçıksız ve su kullanılan durumlara göre ortalama Nu sayısı artışına karşı basınç düşüşleri, performans değerlendirme sayısı (PEC) göz önüne alınarak yorumlanmıştır.

1.1. Nanoakışkanın Hazırlanması

Bu çalışmada kullanılan Grafen Oksit (GO) nanoparçacığı grafitten sentezlenmiştir. GO nanoparçacığı sentezlenirken grafit bazı kimyasal işlemlerden geçirilmiştir. Bu işlemlerden sonra grafit asit ve kimyasallardan ayrıştırılması için saf sudan geçirilmiş ve daha sonrasında GO nanoparçacığı elde

edilmesi için fırında kurutma işlemine tabi tutulmuştur ([14], [15]). GO-Su nanoakışkanı, sentezlenen GO nanoparçacığı kullanılarak iki aşamalı nanoakışkan hazırlama yöntemiyle elde edilmiştir. İki aşamalı prosedür, doğrudan nanoparçacıklarla suyu karıştırma ve elde edilen nanoakışkandaki nanoparçacıkların kümeleşmesini önlemek için ultrasonik ses dalgaları üreten ultrasonifikatör cihazından geçirmekten oluşmaktadır. Bu amaçla istenilen hacimsel konsantrasyona bağlı olarak 0,1 mg hassasiyetli hassas terazi ile ölçülerek GO nanoparçacıkları hazırlanmıştır. %0,02 hacimsel konsantrasyonlu GO-Su nanoakışkanı elde etmek için 0,8 g GO nanoparçacığı kullanılmıştır. Elde edilen nanoakışkan kararlılığını sağlamak için ultrasonifikatör cihazı ile ses dalgalarına maruz bırakılmıştır.

Nanoakışkandaki hacimsel nanoparçacık konsantrasyonu Eşitlik (1) ile hesaplanır.

$$\frac{v_p}{v_{nf}} = \frac{v_p}{v_{bf} + v_p} = \frac{\frac{m_p}{\rho_p}}{\frac{m_p}{\rho_p} + \frac{m_{bf}}{\rho_{bf}}} = \frac{m_p \rho_{bf}}{m_p \rho_{bf} + m_{bf} \rho_p} \quad (1)$$

Eşitlik (1)'de m_p ve m_{bf} sırasıyla nanoparçacık ve suyun kütlelerini, ρ_{bf} ve ρ_p ise sırasıyla suyun ve nanoparçacığın kütlelerini göstermektedir.

1.2. GO-Su Nanoakışkanının Termofiziksel Özellikleri

Hazırlanan nanoakışkanın viskozite değeri Malvern Kinexsus Pro koni ve plaka gerilimi kontrollü reometre ile ölçülürken, ısıl iletkenlik katsayısının ölçümü ise günümüzde literatürde yaygın olarak kullanılan sıcak tel yöntemi ile KD2 Pro ısıl iletkenlik ölçer kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Nanoakışkanın yoğunluk ölçümleri Anton-Paar DMA 4200 Yoğunluk Ölçer ile deneysel olarak yapılmıştır. Bununla birlikte, nanoakışkanın özgül ısı değerine Eşitlik (2)'deki Pak ve Cho, [13] tarafından önerilen analitik model sonucunda ulaşılmıştır.

$$c_{pnf} = (1-\phi)c_{pbf} + \phi c_{pp} \quad (2)$$

Eşitlik (2)'deki p , nf ve bf sırasıyla parçacık, nanoakışkan ve su akışkanını ifade etmektedir. Ayrıca, konsantrasyonun düşük olması (%0,02) nedeniyle nanoakışkanın hesaplanması sonucunda elde edilen özgül ısı değeri suya yakın olduğu için suyla birbirine eşit alınmıştır.

Nanoakışkanın ve suyun özgül ısısı dışında diğer termofiziksel özellikleri deneysel olarak elde edilmiş ve Tablo 1'de gösterilmiştir ([5]).

Ölçülen değerlerin belirsizlik analizleri, Taylor [16]'un belirsizlik analizi yöntemi kullanılarak elde edilmiş ve Tablo 2'de verilmiştir. Gösterilen değerler, tüm deneysel durumlar dikkate alınarak verilen parametreler için maksimum değerlerdir.

Tablo 1. 303 K Sıcaklıkta Akışkanların Termofiziksel Özellikleri [5]

Akışkan	k (W/mK)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kgK)	μ (Ns/m ²)
Su	0,6172	995,8	4178,4	803,4x10 ⁻⁶
GO-Su nanoakışkanı	0,678	996,1	4178,4	1060x10 ⁻⁶

Tablo 2. Deneysel Değerler İçin Belirsizlik Analizinin Sonuçları

Değişken	Mutlak belirsizlik aralığı	Birim
k	±0,006	W/mK
ρ	±9,9	kg/m ³
μ	±1,2x10 ⁻⁶	Ns/m ²
c_p	±41,78	J/kgK

2. SAYISAL METOT

Desenli yüzeylerdeki birleşik jet akışın zorlanmış taşınım ısı transferinin çözümünde Ansys-Fluent programı kullanılmıştır.

Akış ve ısı transferi, aşağıdaki gibi gövde kuvvetinin bulunmadığı sürekli, kanaldaki birleşik jet akış nedeniyle gerçekleşen türbülanslı akış için kütle, momentum ve enerjinin korunumu denklemlerinden zaman ortalamalı olarak türetilen diferansiyel denklemlerin çözümleriyle yapılmıştır ([17]).

Süreklilik denklemi

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = 0 \quad (3)$$

Momentum denklemi

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{u}_i \bar{u}_j) = \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u'_i u'_j} \right] \quad (4)$$

Enerji denklemi

$$\rho c_p \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{u}_i \bar{T}) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[k \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} - \rho c_p \overline{T' u'_i} \right] \quad (5)$$

Türbülans kinetik enerji denklemi

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon \quad (6)$$

Türbülans kinetik enerji yutulma terimi

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \varepsilon u_i) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (7)$$

Türbülanslı kinetik enerji üretimi (G_k) ve türbülanslı akışın viskozitesini (μ_t) gösteren eşitlikler aşağıdaki gibidir ([19-20]).

$$G_k = -\rho \overline{u'_i u'_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (8)$$

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (9)$$

Türbülans yutulma Pr sayısı σ_ε ile belirtilirken, $C_{1\varepsilon}=1,44$, $C_{2\varepsilon}=1,92$, $C_\mu=0,09$ ve $\sigma_\varepsilon=1,3$ değerlerine sahip olan eşitliklerdeki katsayılarıdır.

Desenli yüzey boyunca noktasal ısı taşınım katsayısı h , Eş. 10 ve noktasal Nusselt sayısı (Nu) ise Eş. 11 ile hesaplanmaktadır.

Bu eşitlikte, A_k ve P_k sırasıyla kanalın kesit alanı ve ıslak çevresini gösterirken, kanalın yükseklik ve genişliği ise H ve W ile temsil edilmektedir. Jet giriş çapı D , dairesel girişli jet hidrolik çapına (D_{hjet}) eşittir.

$$h = \frac{q''}{T_y - T_a} \quad (10)$$

Nu sayısı

$$-k_a \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_y = h (T_a - T_y) \text{ ve} \quad (11)$$

$$Nu = \frac{h(3m)}{k_a}$$

Desenli yüzey ortalama ısı taşınım katsayısı

$$h_m = \frac{1}{3m} \int_0^{3m} h dx \quad (12)$$

Desenli yüzey ortalama Nu sayısı

$$Nu_m = \frac{h_m(3m)}{k_a} \quad (13)$$

Kanalın hidrolik çapı

$$D_{kh} = \frac{4A_k}{P_k} = \frac{4(H.W)}{2(H+W)} \quad (14)$$

Kanalın ve jetin Re sayıları ise sırasıyla Eş. (15) ve (16) kullanılarak belirlenmektedir.

$$Re_k = \frac{\rho_a V_k D_{kh}}{\mu_a} \quad (15)$$

$$Re_j = \frac{\rho_a V_j D}{\mu_a} \quad (16)$$

Bu eşitliklerde, akışkanın kanal ve jet akış hızları sırasıyla V_k ve V_j (m/s) ile gösterilmektedir.

Kanal boyunca basınç düşüşü (ΔP) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta P = \frac{f \rho L}{2D_{kh}} V_k^2 \quad (17)$$

Bu eşitlikte, ΔP kanatçısız ve kanatçıklı kanalların giriş ve çıkışları arasındaki basınç düşüşünü (Pa), f sürtünme faktörünü ve L kanalın uzunluğunu (m) temsil etmektedir. Performans değerlendirme sayısı (PEC) ise aşağıda belirtilen Eşitlik (18) ile bulunmaktadır.

Performans değerlendirme sayısı (PEC)

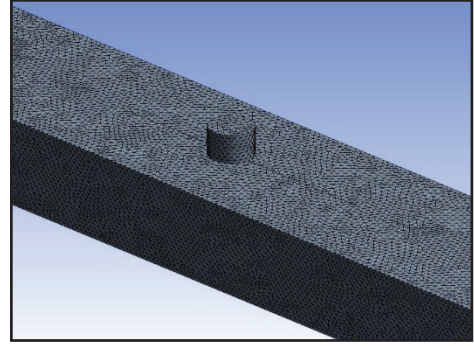
$$PEC = \frac{(Nu_{m-kanatçıklı} / Nu_{m-kanatçısız})}{(\Delta P_{kanatçıklı} / \Delta P_{kanatçısız})} \quad (18)$$

3. DESEN GEOMETRİLERİ

Çalışmadaki çarpan jet-çapraz akış birleşik jet akışlı kanatçıklı kanallar ve kanallardaki küp ve dairesel oyuklu desenli yüzeylere sahip elemanların ölçüleri ve sınır şartları Şekil 1 (a) ve (b)'de verilirken, kanalların boyutsal ölçüleri ise Tablo 3'de verilmiştir. Bunun yanı sıra, bu çalışmadaki kabuller şu şekildedir: a) Sürekli, üç boyutlu ve türbülanslı akış hacmi kullanılmıştır b) Sıkıştırılabilir akışkan olarak su ve %0,02 GO-Su nanoakışkan, hem jet hem de çapraz akış akışkanı olarak kullanılmışlardır c) Akışkanların ısı özellikleri sabit olup, sıcaklıktan bağımsızdır d) Kanalın ve kanatçığın yüzeyleri adyabatiktir e) Akışkan olarak kullanılan su ve nanoakışkanda ve desenli yüzeylerde ısı kaynağı bulunmamaktadır. Ayrıca, birleşik jet akışlı kanalların sayısal hesaplamalarında kullanılan düzgün dörtyüzlü ağ yapısı Şekil 2'de gösterilmektedir.

Tablo 3. Kanalların Boyutsal Ölçüleri

Değişken	Ölçü
D	15 mm
L	66D
W	4D
H	3D
M	20 mm
θ	30°, 90°
N	1,5D

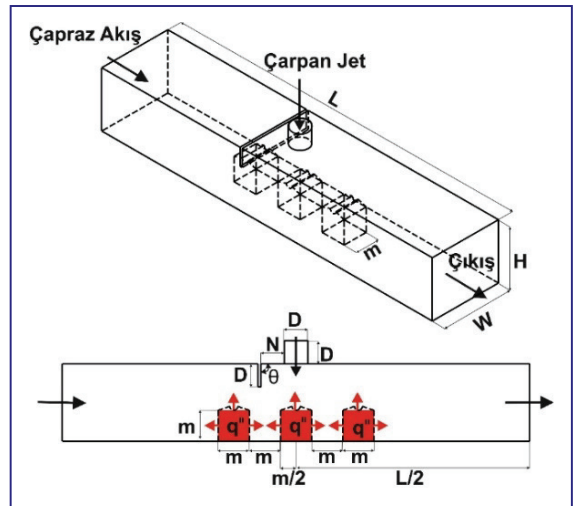
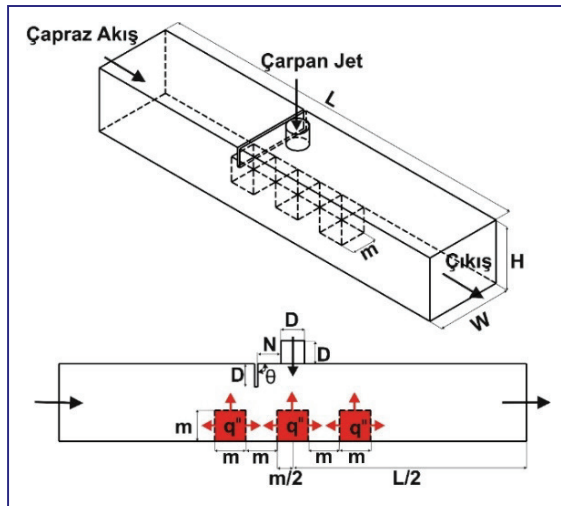


Şekil 2. Kanalda kullanılan düzgün dörtyüzlü ağ yapısının gösterimi

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışmada, Şekil 3'de gösterildiği gibi sadece jet akışın olduğu durumda farklı Reynolds sayılarında incelemelerde bulunularak ulaşılan sonuçlar ile Ma ve Bergles [18]'in deneysel incelemeleri sonucunda ulaştıkları eşitlik kullanılarak ($Nu = 1,29Re^{0,5}Pr^{0,4}$) edinilen sonuçlar kendi aralarında karşılaştırılmış ve Ma ve Bergles [18]'in deneysel sonuçları ile sunulan çalışmanın sonuçlarının uyumlu oldukları belirlenmiştir.

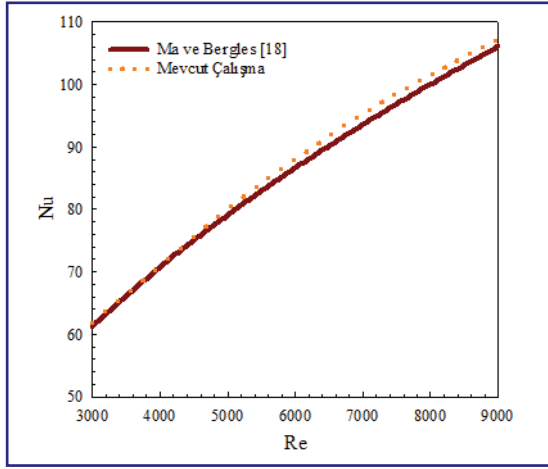
Ağ sayısına bağlı Nu sayısının değişimini belirlemek kaydıyla kanaldaki en uygun sayıdaki ağ elemanı belirlenerek kanatçıksız birleşik jet akışlı kanaldaki ağ sayısının ortalama Nu sayısı (Num) üzerindeki etkisi farklı Reynolds sayılarında Tablo 4'de sunulmuştur. Buna göre kanatçıksız kanal için 2022840 adet ağ elemanının güvenilir ve doğru sonucu vereceği bulunmuştur.



Şekil 1. (a) Küp (b) Dairesel oyuklu desenli yüzeyli kanalların görünüşleri

Tablo 4. Ağ Elemanı Sayısına Bağlı Olarak Nu_m 'nin Reynolds Sayısıyla Değişimi

Ağ elemanı sayısı	Re = 5000 Nu_m	Re = 7000 Nu_m	Re = 9000 Nu_m
1758412	86,48	108,84	127,40
2022840	86,52	108,88	127,43
2245786	86,52	108,87	127,42

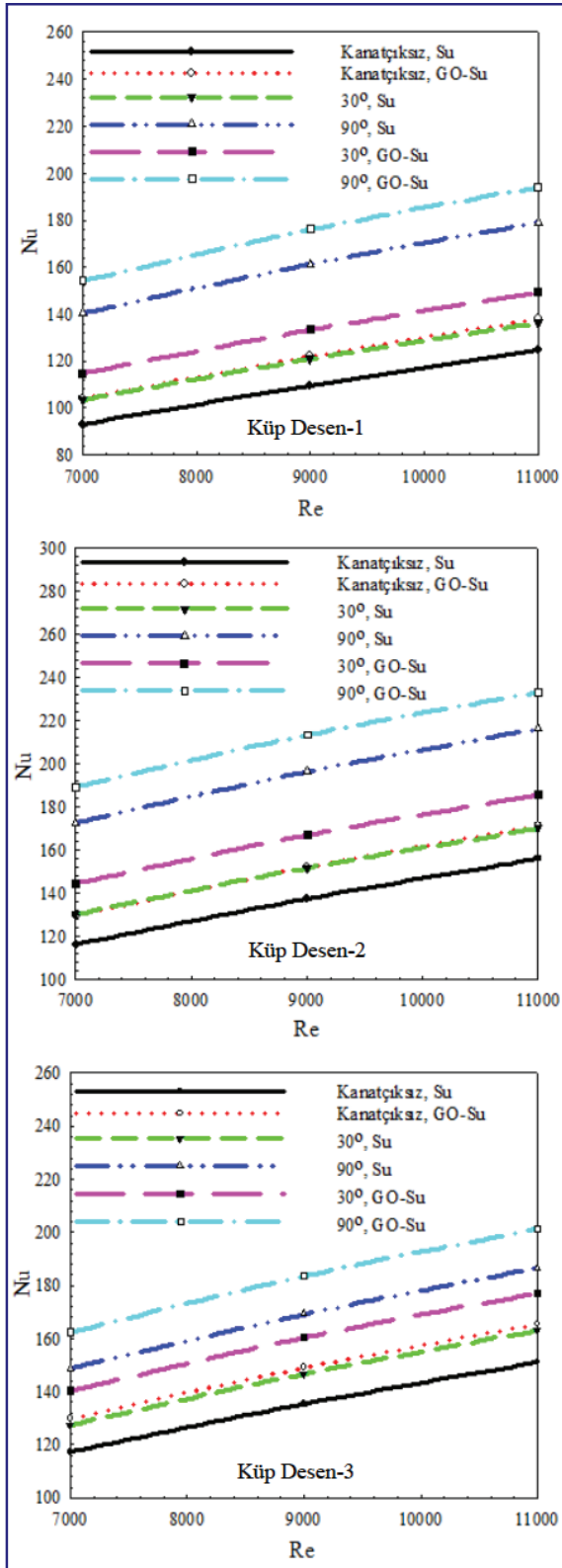


Şekil 3. Sunulan çalışma ve Ma ve Bergles [18]'in sonuçlarının kıyaslanması

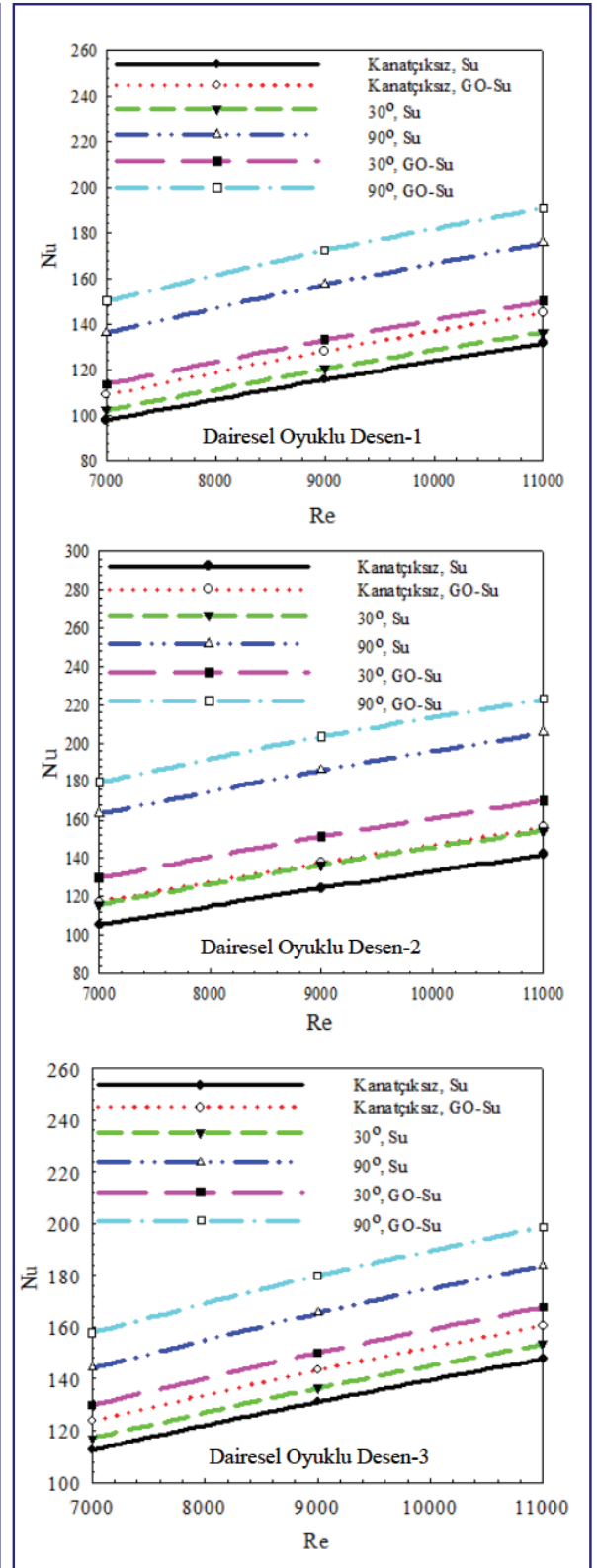
Şekil 4 ve Şekil 5'de sırasıyla kanatçıksız, 30° ve 90° açılı kanatçıklı çarpan jet-çapraz akış birleşik jet akışlı kanallarda küp ve dairesel oyuklu desenli yüzeylere ait; desen sıralarına göre ortalama Nu sayılarının Re sayısına göre değişimleri su akışkanını ve hacimsel olarak %0,02 konsantrasyonlu GO (Grafen Oksit)-Su nanoakışkanı kullanılması durumlarına göre verilmektedir. Her iki desenli kanal için en düşük Nu sayısı değerlerine kanatçıksız ve su akışkanı kullanılan birleşik jet akışlı kanallarda ulaşırlarken, en yüksek Nu sayısı değerleri ise 90° açılı kanatçıklı kanallarda GO-Su nanoakışkanı için elde edilmektedir. Bununla birlikte, daha çok kanal girişinden gelen çapraz akış etkisinde olan, kanalın birinci sırasındaki Desen 1 incelendiğinde kanatçıksız durumda her iki akışkan türünde de dairesel oyuklu desendeki Nu sayısı değerleri daha fazladır. Kanatçık eklenmesi durumunda ise küp desenli yüzeyde dairesel oyuklu desenli yüzeylere göre Nu sayısı değerleri artmaktadır. Desen 1 için $Re=11000$ 'de 90° açılı kanatçıklı durumda GO-Su nanoakışkanının, kanatçıksız ve su akışkanlı kanala göre ortalama Nu sayısı artışları küp ve dairesel oyuklu desenli yüzeylerde sırasıyla %55,78

ve %44,90 olmaktadır. Kanalda ikinci sırada bulunan Desen 2 ise üzerlerinde bulunan çarpan jetin de katkısıyla tam olarak birleşik jetin etkisi altına girmektedir. Bu nedenle, her iki desenli kanalda da hem kanatçıksız hem de kanatçıklı durumdaki kanallara göre Desen 2'deki Nu sayıları Desen 1'e göre daha yüksek olup, Desen 2 yüzeylerinin soğuma performansları artmaktadır. $Re=7000$ ve 90° açılı GO-Su nanoakışkanı için Desen 2'deki ortalama Nu sayısı değerleri Desen 1'den sırasıyla küp ve dairesel oyuklu desenli yüzeyler için %22,71 ve %19,64 daha fazladır. Aynı zamanda, Desen 2'de küp desenli yüzeylerdeki ortalama Nu sayısı değerleri, dairesel oyuklu desenli yüzeylere göre daha yüksek seyretmektedir. $Re=9000$ 'de ve 30° açılı kanatçıklı kanalda GO-Su nanoakışkanı kullanılması durumunda; Desen 2 için küp desenli yüzeydeki Nu sayısı dairesel oyuklu desenli yüzeyden %5,60 daha fazladır. Kanalın sonunda bulunan Desen 3'de ise birleşik jet akışının genel olarak etkisi azalmakla birlikte kanatçıksız durumlarda özellikle dairesel oyuklu desenli yüzeylerde Desen 2'ye göre Nu sayısı değerleri daha fazla olmaktadır. Ancak, kanatçıklı kanallarda kanatçığın birleşik jet akışı kanal girişindeki desenli yüzeylere doğru yönlendirmesi zaten kanal sonunda da bulunan Desen 3'deki Nu sayısı değerlerinin azalmasına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra, Desen 3'de Desen 2'ye göre azalan Nu sayısı değerlerinin, Desen 1 yüzeylerinden daha fazla olduğu grafiklerden görülebilmektedir.

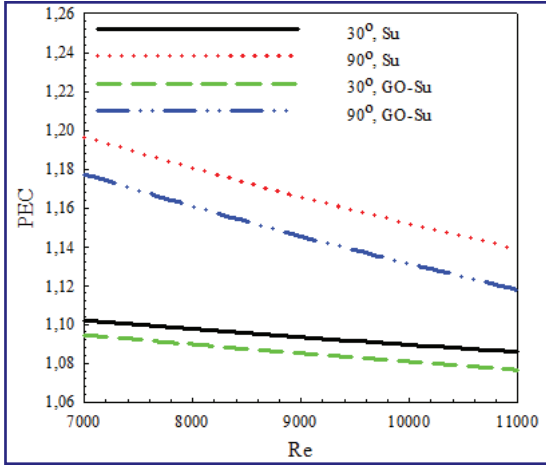
Şekil 6 ve 7'de birleşik jet akışlı kanallarda sırasıyla küp ve dairesel oyuklu desenli yüzeyler için 30° ve 90° açılı kanatçıklı kanallarda, kanatçıksız kanallara göre ortalama Nu sayılarının basınç kayıplarına göre oranlarını belirten performans değerlendirme sayılarının (PEC) Re sayısına göre değişimleri belirtilmektedir. Kanallara kanatçıkların eklenmesi, Nu sayısını artırırken; kanaldaki akışa engel teşkil ettikleri için basınç kayıplarında artışa neden olmaktadır. Bu durum da akışı pompalamak için gerekli olan enerjinin artışına sebep olmakta-



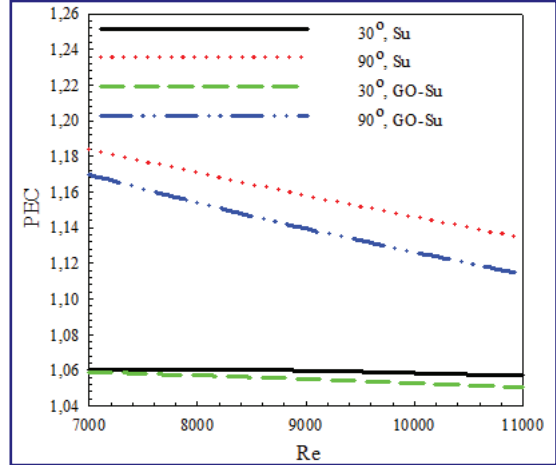
Şekil 4. Kanatçksız, 30° ve 90° açılı kanatçıklı birleşik jet akışlı kanallarda küp desenli yüzeyler için desen sırasına göre ortalama Nu sayısının Re sayısı ile değişimi



Şekil 5. Kanatçksız, 30° ve 90° açılı kanatçıklı birleşik jet akışlı kanallarda dairesel oyuklu desenli yüzeyler için desen sırasına göre ortalama Nu sayısının Re sayısı ile değişimi



Şekil 6. Birleşik jet akışlı kanallarda küp desenli yüzeyler için PEC sayısının Re sayısı ile değişimi



Şekil 7. Birleşik jet akışlı kanallarda dairesel oyuklu desenli yüzeyler için PEC sayısının Re sayısı ile değişimi

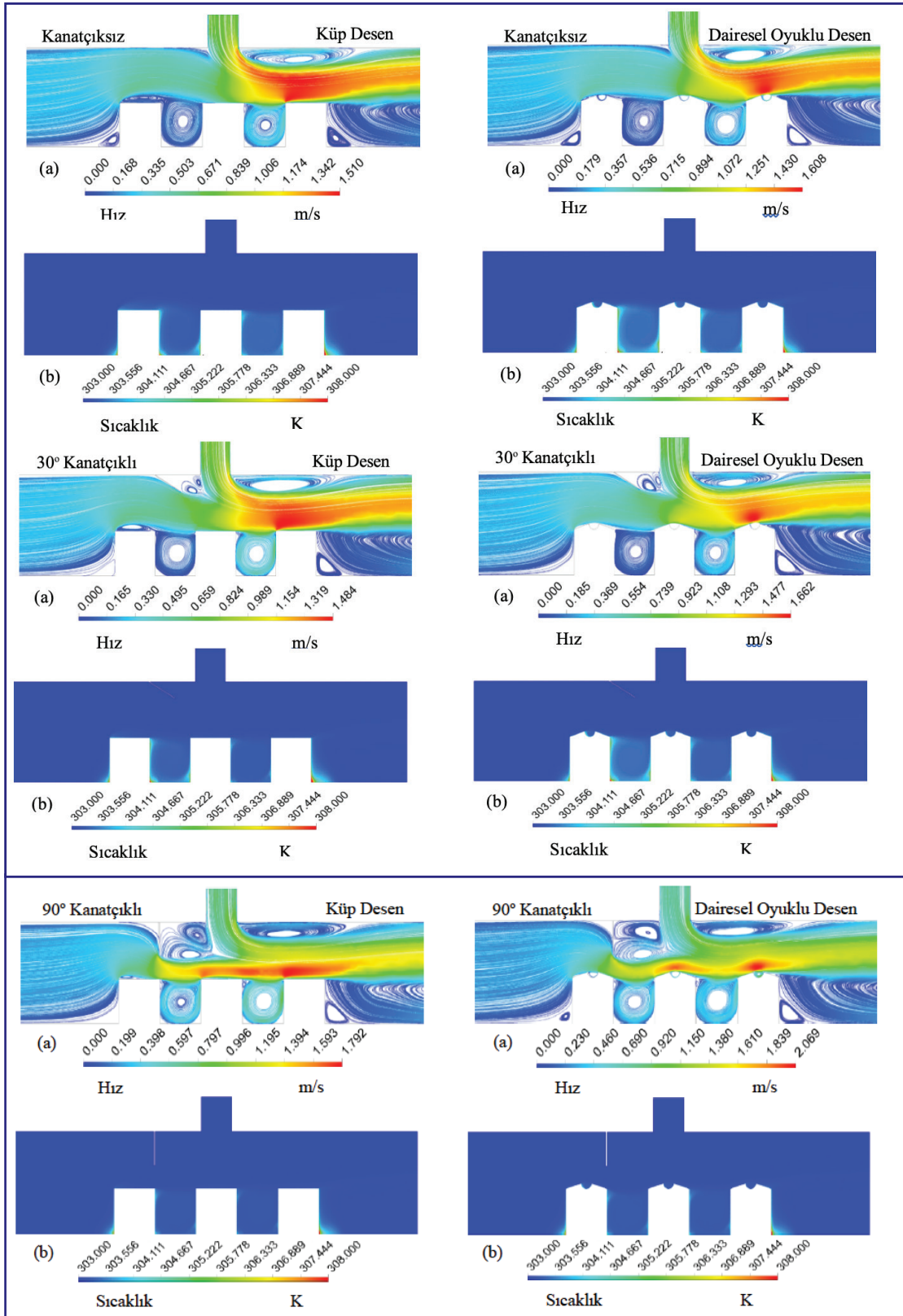
dır. Bu nedenle, kanala eklenen kanatçık; basınç kayıpları da göz önüne alınacak şekilde birlikte değerlendirilmelidir. Şekil 6 ve 7'de de görülebildiği gibi nanoakışkanın ısı iletkenliğinin su akışkanından daha fazla olması, Nu sayısını artırmakla birlikte; viskozite ve yoğunluğunun su akışkanından yüksek olması basınç kaybı artışına neden olarak PEC sayısı değerlerinin her iki desenli yüzey için de sudan daha düşük olmasına neden olmaktadır. $Re=11000$ 'de 90° açılı birleşik jet akışlı kanallarda su akışkanının PEC sayısı değeri nanoakışkandan sırasıyla küp ve oyuklu desenli yüzeyler için %1,88 ve %1,83 daha fazla iken aynı şartlarda $Re=7000$ için bu değerler azalarak sırasıyla %1,63 ve %1,23 olmaktadır. Bununla birlikte, 30° açılı kanatçıklı kanallarda daha düşük değerler elde edilmektedir. Ulaşılan bu sonuçlar, küp desenli yüzeyde özellikle 90° açılı kanatçıklı kanal kullanılmasının; dairesel oyuklu desenli kanal kullanımına göre basınç kayıpları da dikkate alındığında daha iyi performans sergilediğini göstermektedir.

Tablo 5'de Reynolds sayısının 11000 olduğu durumda $H=3D$ kanal yüksekliğinde su akışkanı ve GO-Su nanoakışkanı kullanılan kanatçıksız, 30° ve 90° açılı kanatçıklı birleşik jet akışlı kanallarda bulunan her üç küp ve dairesel oyuklu desenli yüzeyin tümü için ortalama Nu sayısı (Nu_m) ve yüzey sıcaklık (T_m) değerleri verilmektedir. Kanatçıklı kanallarda, kanatçıksız olanlara göre birleşik jet akışkanının desenli yüzeylere daha iyi yönlendirilebilmesi nedeniyle daha yüksek Nu_m değerleri elde edilirken; T_m değerleri de daha düşük olmak-

tadır. Ayrıca, küp desenli yüzeyler için dairesel oyuklu olanlara göre Nu_m değerlerinin her iki akışkan için de daha yüksek olduğu Tablo 5'den görülebilmektedir. 30° kanatçıklı nanoakışkanlı küp desenli yüzeyde ortalama Nu_m değeri, kanatçıksız ve su akışkanı kullanılan kanala göre %18,66 daha fazla iken; dairesel oyuklu desenli yüzey için bu artış değeri %15,93 olmaktadır. Buna bağlı olarak, nanoakışkan kullanılan kanatçıklı kanallarda; kanatçıksız ve su akışkanı kullanılan kanallara göre daha düşük T_m değerleri elde edilmektedir.

Tablo 5. Birleşik jet akışlı kanallarda bulunan her üç küp ve dairesel oyuklu desenli yüzeyin tümü için $Re=11000$ 'de Nu_m ve T_m değerleri

Re=11000			H=3D	
			Küp Desen	Dairesel Oyuklu Desen
Kanatçıksız	Su	Nu_m	143,88	140,39
30°	Su	Nu_m	156,44	148,28
90°	Su	Nu_m	194,05	188,30
Kanatçıksız	GO-Su	Nu_m	158,32	153,93
30°	GO-Su	Nu_m	170,73	162,76
90°	GO-Su	Nu_m	209,60	204,22
Kanatçıksız	Su	T_m (K)	304,57	304,68
30°	Su	T_m (K)	304,50	304,61
90°	Su	T_m (K)	303,92	303,96
Kanatçıksız	GO-Su	T_m (K)	304,23	304,35
30°	GO-Su	T_m (K)	304,18	304,26
90°	GO-Su	T_m (K)	303,72	303,75



Şekil 8. GO-Su nanoakışkanı kullanılan kanatçiksız, 30° ve 90° açılı kanatçıklı birleşik jet akışlı kanallarda küp ve dairesel oyuklu desenli yüzeyler için (a) hız (b) sıcaklık konturu dağılımları ($Re=11000$, $H=3D$)

Şekil 8’de kanatçıksız, 30° ve 90° açılı kanatçıklı küp ve dairesel oyuklu desenlerin olduğu birleşik jet akışlı kanallarda (a) hız ve (b) sıcaklık konturu dağılımları sunulmaktadır. Kanatçıksız desenli kanallarda (a) hız konturu dağılımlarında görüldüğü gibi kanallarda birinci sıradaki Desen 1 yüzeyleri çarpan jet akışından ziyade çapraz akışın etkisinde olup, küp desenli yüzeyin üzerinde oluşan küçük yeniden dolaşım bölgesi nedeniyle dairesel oyuk desenli yüzeye göre yüzey sıcaklık değerinin daha fazla olduğu sıcaklık konturu dağılımlarından (b) görülebilmektedir. Bununla birlikte, kanatçıksız durumda kanalın girişinden gelen çapraz akış, Desen 2’nin üzerindeki çarpan jeti Desen 3’ün üzerine doğru yönlendirmekte olup; böylece Desen 2 ve Desen 3 etrafındaki sıcaklık değerlerinin azalması sağlanmaktadır. Ayrıca, her iki desenli yüzeyli kanalda çarpan jet akışının girişinde kanalın sağ tarafında oluşan yeniden dolaşım bölgeleri; birleşik jet akışı desenli yüzeylere doğru baskılayarak; soğutma etkisini artırmaktadır. Kanallara kanatçık eklendiğinde (30° ve 90°) birleşik jet akışı, Desen 1 ve Desen 2’ye doğru yönlenecek ve desen arasındaki yeniden dolaşım bölgelerini de hızlandırarak; bu desenlerdeki ısı transferini artırdığından sıcaklık konturlarından da görüldüğü gibi her iki desenli yüzey etrafındaki akışkan sıcaklığı da artmaktadır. Bununla birlikte, kanatçık açısı 90°’ye çıkarıldığında ise desenli yüzeyler ve kanatçık arasındaki mesafe azaldığından desenli yüzeyler üzerindeki birleşik jet akışı etkisi; 30° açılı kanatçıklı kanala göre daha da artırılarak her iki desenli yüzeyde tüm desen sıraları için ısı transferi artırılmaktadır. Bunun yanı sıra, 90° açılı kanatçıklı kanallarda desenlerin köşe noktalarında var olan yeniden dolaşım bölgeleri kanatçıksız ve 30° açılı kanatçıklı kanallara göre oldukça azaltılmış olup, bu kısımlarda oluşan sıcaklık artışları incelenen durumlar için en az düzeye çekilebilmiş durumdadır.

5. GENEL SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, kanatçıksız, 30° ve 90° açılı kanatçıklı ve $H=3D$ yükseklikli birleşik jet akışlı (çapraz akış ve çarpan jet akış) kanallardaki küp ve dairesel oyuklu desen şekilli yüzeylerden olan ısı transferi akışkan olarak su ve %0,02 hacimsel konsantrasyonlu karbon kökenli GO (Grafen Oksit)-Su nanoakışkanı kullanılması durumlarında sayısal olarak

incelenmiştir. Sayısal inceleme, üç boyutlu ve zamandan bağımsız olarak enerji ve Navier-Stokes denklemlerinin Ansys-Fluent programı kullanılarak çözülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Birleşik jet akışlı kanallarda bulunan desenli yüzeylere sabit 1000 W/m^2 ’lik ısı akısı uygulanmıştır. Kanaldaki kanatçığın konumu sabit $N=1,5D$ mesafesindedir. Her iki kanal için küp ve dairesel oyuklu desenli yüzeyler literatürde yapılan çalışmalarda kanal ölçüleri dikkate alınarak üçer adet olacak şekilde kanallara yerleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçları, kanallardaki her bir küp ve dairesel oyuklu desenli yüzey için desen sıralarına göre ortalama Nu sayısının değişimleri olarak araştırılmıştır. Ayrıca, her üç desenli yüzey için ortalama Nu sayısı (Nu_m) ve ortalama yüzey sıcaklığı (T_m) değerleri tablo halinde verilerek karşılaştırılmıştır. Nanoakışkan için birleşik jet akışlı kanallardaki hız ve sıcaklık konturu dağılımları sunulmuştur. Kanallara kanatçık eklenmesinin Nu sayısı artışı yanında basınç düşüşü artışı üzerindeki etkileri performans değerlendirme sayısı (PEC) incelenerek yorumlanmıştır. Buna göre, bu çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda verildiği şekilde özetlenebilir:

- Her iki desenli birleşik jet akışlı kanal için en düşük ortalama Nu sayısı değerlerine kanatçıksız ve su akışkanı kullanılan birleşik jet akışlı kanallarda ulaşırlarken; en yüksek Nu sayısı değerleri ise 90° açılı kanatçıklı kanallarda GO-Su nanoakışkanı için elde edilmektedir.

- Daha çok kanal girişinden gelen çapraz akış etkisinde olan, kanalın birinci sırasındaki Desen 1 incelendiğinde kanatçıksız durumda her iki akışkan türünde de dairesel oyuklu desendeki Nu sayısı değerlerinin daha fazla olduğu görülmektedir.

- Kanala kanatçık eklenmesi durumunda ise küp desenli Desen 1 yüzeyinde dairesel oyuklu desenli yüzeylere göre Nu sayısı değerleri artmaktadır.

- Desen 1 için $Re=11000$ ’de 90° açılı kanatçıklı durumda GO-Su nanoakışkanının, kanatçıksız ve su akışkanlı kanala göre ortalama Nu sayısı artışları küp ve dairesel oyuklu desenli yüzeylerde sırasıyla %55,78 ve %44,90 olmaktadır.

- Desen 2, üzerlerinde bulunan çarpan jetin de katkısıyla tam olarak birleşik jetin etkisi altına girmektedir. Bu nedenle, her iki desenli kanalda da hem kanatçıksız hem de kanatçıklı durumdaki kanallara göre Desen 2’deki Nu sayıları Desen 1’e

göre daha yüksek olup; Desen 2 yüzeylerinin soğuma performansları artmaktadır.

- $Re=7000$ ve 90° açılı GO-Su nanoakışkanı için Desen 2'deki ortalama Nu sayısı değerleri Desen 1'den sırasıyla küp ve dairesel oyuklu desenli yüzeyler için %22,71 ve %19,64 daha fazladır.

- Desen 2'de küp desenli yüzeylerdeki ortalama Nu sayısı değerleri, dairesel oyuklu desenli yüzeylere göre daha yüksek seyretmektedir. $Re=9000$ 'de ve 30° açılı kanatçıklı kanalda GO-Su nanoakışkanı kullanılması durumunda Desen 2 için küp desenli yüzeydeki Nu sayısı dairesel oyuklu desenli yüzeyden %5,60 daha fazladır.

- Desen 3'de birleşik jet akışının genel olarak etkisi azalmakla birlikte kanatçıksız durumlarda özellikle dairesel oyuklu desenli yüzeylerde Desen 2'ye göre Nu sayısı değerleri daha fazla olmaktadır.

- Birleşik jet akışlı kanallardaki her üç desenli yüzey göz önüne alındığında, küp desenli yüzeyler için dairesel oyuklu desenli olanlara göre Nu_m değerleri her iki akışkan için de daha yüksektir.

- Kanatçıklı kanallarda, kanatçıksız olanlara göre birleşik jet akışkanının desenli yüzeylere daha iyi yönlendirilebilmesi nedeniyle daha yüksek Nu_m değerleri elde edilirken T_m değerleri de daha düşük olmaktadır.

- 30° kanatçıklı nanoakışkanlı küp desenli yüzeyde ortalama Nu_m değeri kanatçıksız ve su akışkanını kullanılan kanala göre %18,66 daha fazla iken; dairesel oyuklu desenli yüzey için bu artış değeri %15,93 olmaktadır. Buna bağlı olarak, nanoakışkan kullanılan ve kanatçıklı kanallarda kanatçıksız ve su akışkanını kullanılan kanallara göre daha düşük T_m değerleri elde edilmektedir.

- $Re=11000$ 'de 90° açılı birleşik jet akışlı kanallarda su akışkanının PEC sayısı değeri nanoakışkandan sırasıyla küp ve oyuklu desenli yüzeyler için %1,88 ve %1,83 daha fazla iken; aynı şartlarda $Re=7000$ için bu değerler azalarak sırasıyla %1,63 ve %1,23 olmaktadır.

- PEC sayısına göre ulaşılan sonuçlar, küp desenli yüzeyde özellikle 90° açılı kanatçıklı kanal kullanılmasının dairesel oyuklu desenli kanal kullanımına göre basınç kayıpları da dikkate alındığında daha iyi performans sergilediğini göstermektedir.

Sonuç itibarıyla, elektronik elemanlardaki ısı transferinin iyileşmesi doğrudan kanal tasarımına

bağlı olmasının yanında soğutulacak yüzeylere verilecek desen şekliyle de oldukça ilişkilidir. Ayrıca, kanaldaki akışı desenli yüzeylere yönlendirecek kanatçıklının belirli bir açıda kanala eklenmesinin ve yenilikçi bir akışkan olan GO-Su nanoakışkanının düşük nanoparçacık konsantrasyonunda kullanılmasının soğutulması gereken desenli yüzeylerden olan ısı transferinde önemli olduğu da bu çalışmadan elde edilen sonuçlar neticesinde görülebilmektedir. Bunun yanı sıra, enerjinin her geçen gün maliyetinin arttığı ve küresel iklim değişikliğinin kendini daha fazla hissettirdiği bu günlerde kanaldaki basınç düşüşleri nedeniyle akışkanı pompalamada kullanılacak enerji hakkında fikir sahibi olunmasını sağlayacak PEC sayısı değerlerinin de bu çalışmadaki önemli bulgulardan biri olduğunu belirtmekte fayda olacağı düşünülmektedir.

SEMBOLLER

A_k	Kanalın kesit alanı, m^2
D	Jet giriş çapı, mm
L	Kanalın boyu, mm
W	Kanalın genişliği, mm
H	Kanalın yüksekliği, mm
m	Desenin bir kenar uzunluğu, mm
P_k	Kanalın ıslak çevresi, m^2
θ	Kanat açısı, $^\circ$
f	Sürtünme faktörü, boyutsuz
h	Isı taşınım katsayısı, $Wm^{-2}K^{-1}$
k_a	Akışkanın ısı iletkenliği, $Wm^{-1}K^{-1}$
V	Akışkanın kanal girişindeki hızı, ms^{-1}
c_p	Akışkanın özgül ısısı, $Jkg^{-1}K^{-1}$
p	Basınç, Pa
q''	Desenli yüzeylerdeki ısı akısı, Wm^{-2}
N	Kanatçığın jet girişinden olan uzaklığı, mm
T	Sıcaklık, K
u_i	x, y ve z yönlerindeki hız bileşenleri, ms^{-1}
Re	Reynolds sayısı ($=V\infty D/\nu$), boyutsuz
Nu	Nusselt sayısı ($=hD/k$), boyutsuz
μ	Dinamik viskozite, $kgs^{-1}m^{-1}$
μ_t	Türbülans viskozitesi, $kgs^{-1}m^{-1}$
ν	Kinematik viskozite, m^2s^{-1}
ρ	Akışkanın yoğunluğu, kgm^{-3}
k	Türbülanslı akışın kinetik enerjisi, m^2s^{-2}
ϵ	Türbülans dağılımı terimi, m^2s^{-3}

Alt İndisler

a	Akışkan
h	Hidrolik
j	Jet
k	Kanal
m	Ortalama
y	Yüzey

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) birimi tarafından TEKNO-2021-031 proje numarası ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Lakshminarayanan, V., Sriraam, N., “The Effect of Temperature on the Reliability of Electronic Components”, IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (CONECCT), 1-6, India, 6-7 January 2014.
- [2] Kılıç, M., “Elektronik Sistemlerin Soğutulmasında Nanoakışkanlar ve Çarpan Jetlerin Müşterek Etkisinin İncelenmesi”, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33 (3), 121-132, 2018.
- [3] Teamah, M.A., Dawood, M.M., Shehata, A., Numerical and Experimental Investigation of Flow Structure and Behaviour of Nanofluids Flow Impingement on Horizontal Flat Plate”, Experimental Thermal and Fluid Science, 74, 235-246, 2015.
- [4] Hadipour, A., Zargarabadi, M. R., “Heat Transfer and Flow Characteristics of Impinging Jet on A Concave Surface at Small Nozzle to Surface Distances”, Applied Thermal Engineering, 138, 534-541, 2018.
- [5] Karabulut, K., Alnak, D.E., “Dikdörtgen Bir Kanaldaki Farklı Desenli Yüzey Geometrilerinin Isı Transferine Olan Etkilerinin İncelenmesi”, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 183, 37-49, 2021.
- [6] Demircan, T., “Numerical Analysis of Cooling An Electronic Circuit Component with Cross Flow and Jet Combination”, Journal of Mechanics, 35 (3), 395-404, 2019.
- [7] Öztürk, S.M., Demircan, T., “Numerical Analysis of the Effects of Fin Angle on Flow and Heat Transfer Characteristics for Cooling An Electronic Component with Impinging Jet and Cross-Flow Combination”, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 37 (1), 57-74, 2022.
- [8] Maghrabie, H.M., Attalla, M., Fawaz, H.E., Khalil, M., “Numerical Investigation of Heat Transfer and Pressure Drop of In-Line Array of Heated Obstacles Cooled by Jet Impingement in Cross-Flow”, Alexandria Engineering Journal, 56, 285-296, 2017.
- [9] Chang, T.B., Yang, Y.K., “Heat Transfer Performance of Jet Impingement Flow Boiling Using Al₂O₃-Water Nanofluid”, Journal of Mechanical Science and Technology, 28 (4): 1559-1566, 2014.
- [10] Kumar, D., Zunaid, M., Gautam, S., “Heat Sink Analysis in Jet Impingement with Air Foil Pillars and Nanoparticles”, Materials Today: Proceedings, 46 (20), 10752-10756, 2021.
- [11] Jalali, E., Sajadi, S.M., Ghaemi, F., Baleanu, D., “Numerical Analysis of the Effect of Hot Dent Infusion Jet on the Fluid Flow and Heat Transfer Rate Through the Microchannel in the Presence of External Magnetic Field”, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 53, 2021.
- [12] Abdullah, M.F., Zulkifli, R., Harun, Z., Abdullah, S., Wan Ghopa, W.A., Najm, A.S., Sulaiman, N.H., “Impact of the TiO₂ Nanosolution Concentration on Heat Transfer Enhancement of the Twin Impingement Jet of A Heated Aluminium Plate”, Micromachines, 10, 176, 2019.
- [13] Pak, B.C., Cho, Y.I., “Hydrodynamic and Heat Transfer Study of Dispersed Fluids with Submicron Metallic Oxide Particles”, Experimental Heat Transfer, 11 (2), 151-170, 1998.
- [14] Hajjar, Z., Rashidi, A., Ghazatloo, A., “Enhanced Thermal Conductivities of Graphene Oxide Nanofluids”, International Communications in Heat and Mass Transfer, 57, 128-131, 2014.
- [15] Hummers, W.S., Offeman, R.E., “Preparation of Graphitic Oxide, Journal of American Chemical Society, 80, 1339, 1958.
- [16] Taylor, J.R., “An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements, University Science Books, Sausalito, 1997.
- [17] Wang, S.J., Mujumdar, A.S., “A Comparative Study of Five Low Reynolds Number $k-\epsilon$ Models for Impingement Heat Transfer”, Applied Thermal Engineering, 25, 31-44, 2005.
- [18] Ma, C.F., Bergles, A.E., “Boiling Jet Impingement Cooling of Simulated Microelectronic Chips”, Heat Transfer In Electronic Equipment HTD, 28, 5-12, 1983.