



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Elmas-su nanoakışkanı kullanılan kanatçıklı ve farklı yükseklikli birleşik jet akışlı kanallarda yüzeylerin soğutulması

Cooling of surfaces in combined jet flow channels with fin and different height using diamond-water nanofluid

Yazar(lar) (Author(s)): Koray KARABULUT¹, Doğan Engin ALNAK²

ORCID¹: 0000-0001-5680-0988

ORCID²: 0000-0003-0126-1483

To cite to this article: Karabulut K., Alnak D. E. “Elmas-su nanoakışkanı kullanılan kanatçıklı ve farklı yükseklikli birleşik jet akışlı kanallarda yüzeylerin soğutulması”, *Journal of Polytechnic*, 27(1): 297-311, (2024).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Karabulut K., Alnak D. E. “Elmas-su nanoakışkanı kullanılan kanatçıklı ve farklı yükseklikli birleşik jet akışlı kanallarda yüzeylerin soğutulması”, *Politeknik Dergisi*, 27(1): 297-311, (2024).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.1094865

Elmas-Su Nanoakışkanı Kullanılan Kanatçıklı ve Farklı Yükseklikli Birleşik Jet Akışlı Kanallarda Yüzeylerin Soğutulması

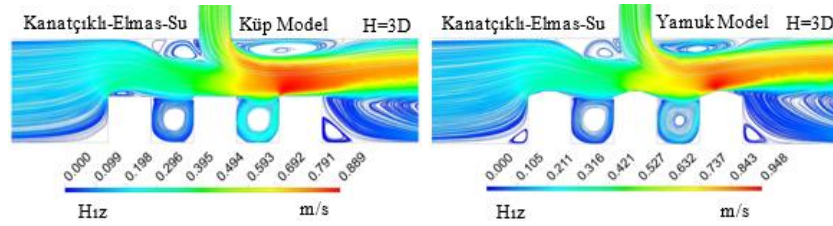
Cooling of Surfaces in Combined Jet Flow Channels with Fin and Different Height Using Diamond-Water Nanofluid

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Birleşik jet akışlı kanallarda kanatçık kullanımı/ Use of fins in combined jet-flow channels
- ❖ Su bazlı Elmas nanoakışkanı ile yüzeylerin soğutulması/ Cooling of surfaces with water-based Diamond nanofluid
- ❖ Isıl performans analizi/ Thermal Performance analysis

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Kanatçıklı ve Elmas-Su nanoakışkanlı farklı yükseklikli birleşik jet akışlı kanallarda farklı modellenmiş yüzeylerin ısı transferinin iyileştirilmesi amaçlanmıştır. 3D ve 4D yükseklikli 30° açılı kanatçık bulunan birleşik jet akışlı kanallara üçer adet küp ve yamuk modellenmiş sabit ısı akılı yüzey yerleştirilmiştir. / It is aimed to improve the heat transfer of different model surfaces in combined jet flow channels with fin and Diamond-Water nanofluids of different heights. There are three cube and trapezoidal fixed heat flux surfaces for the combined jet flow channels with 3D and 4D height, 30° angled fins.



Şekil. Hız konturu dağılımları / Figure. Velocity contour distributions

Amaç (Aim)

Farklı modellenmiş bakır plakalı yüzeylerin kanatçıklı birleşik jet akışı ile soğutulmalarının iyileştirilmesi. / Improvement of cooling of different patterned copper plate surfaces by combined jet stream with fins.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Küp ve yamuk modellenmiş yüzeyler kanatçıklı birleşik jet akışlı kanallarda konumlandırılmıştır. / Cube and trapezoidal surfaces are positioned in combined jet flow channels with fin.

Özgünlük (Originality)

Birleşik jet akışlı kanallarda bulunan farklı modellenmiş yüzeyler Elmas-Su nanoakışkanı ile 30° açılı kanatçık kullanılarak soğutulmuştur. / Different patterned surfaces in the combined jet flow channels were cooled with Diamond-Water nanofluid using a 30° angled fin.

Bulgular (Findings)

Kanatçiksiz ve su akışkanı kullanılan kanala göre nanoakışkanla maksimum Nu_m artış oranı %24,14'dür. / According to the channel without fin and using water fluid, the maximum increase rate of Nu_m with nanofluid is 24.14%.

Sonuç (Conclusion)

Su ile kıyaslandığında Elmas-Su nanoakışkanı kullanıldığında ısı transferinde önemli ölçüde iyileşme belirlenmiştir. / A significant improvement in heat transfer was determined when using Diamond-Water nanofluid compared to water.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The authors of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Elmas-Su Nanoakışkanı Kullanılan Kanatçıklı ve Farklı Yükseklikli Birleşik Jet Akışlı Kanallarda Yüzeylerin Soğutulması

Araştırma Makalesi / Research Article

Koray KARABULUT^{1*}, Doğan Engin ALNAK²

¹Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Türkiye

²Teknoloji Fakültesi, İmalat Müh. Bölümü, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 29.03.2022 ; Kabul/Accepted : 15.04.2022 ; Erken Görünüm/Early View : 12.12.2022)

ÖZ

Çarpan jet-çapraz akıştan oluşan birleşik jet etkisi elektronik elemanların soğutma performansını artırıcı bir etkiye sahiptir. Bu çalışmada, birleşik jet akışıyla kanatçiksiz ve 30° açılıya sahip kanatçıklı, N=2D kanatçık mesafeli ve H=3D ve 4D yükseklikli kanallarda su ve %2 hacimsel konsantrasyonlu Elmas-Su nanoakışkanı kullanılmasıyla küp ve yamuk modellenen yüzeylerden olan ısı transferi ve performans analizi sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal araştırma, sürekli ve üç boyutlu, k-ε türbülans modeli Ansys-Fluent programıyla gerçekleştirilmiştir. Literatürdeki çalışmalar gözetilerek kanal boyutlarına uygun olarak kanallara üçer adet model yerleştirilmiştir. Kanaldaki akışkanların Re sayısı aralığı 5000-9000' dir. Sonuçlar, literatürdeki deneysel çalışmanın Nu sonuçlarıyla kıyaslanmış ve uyumlu oldukları belirlenmiştir. Çalışmanın sonuçları, kanallardaki her bir model için ortalama Nu sayısı ve yüzey sıcaklığının değişimleri olarak su ve nanoakışkan için kanatçiksiz ve kanatçıklı durumlarda farklı kanal yüksekliklerinde karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ayrıca, birleşik jet nanoakışkan akışının hız ve sıcaklık konturu dağılımları sunulmuştur. Bununla birlikte, kanallardaki her üç model yüzeyinin tümü için farklı Reynolds sayılarında performans değerlendirme sayıları (PEC) ve Re=7000 için ortalama Nu sayısı (Nu_m) ve yüzey sıcaklık değerleri (T_m) değerlendirilmiştir. H=3D ve kanatçıklı kanalda Elmas-Su nanoakışkanının kullanılması kanatçiksiz ve su akışkanı kullanılan kanala göre küp ve yamuk modellenen yüzeylerde Nu_m değerlerinin sırasıyla %24,14 ve %18,91 daha fazla olmasını sağlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Elmas-su nanoakışkanı, çarpan jet-çapraz akışlı birleşik jet, ısı transferi.

Cooling of Surfaces In Combined Jet Flow Channels with Fin and Different Height Using Diamond-Water Nanofluid

ABSTRACT

The combined jet effect, which consists of a impinging jet and cross flow, has an effect that increases the cooling performance of electronic elements. In this study, heat transfer and performance analysis from cube and trapezoidal surfaces by using water and 2% volumetric concentration Diamond-Water nanofluid in channels without fin and 30° fin angled, N=2D fin distance and H=3D and 4D channel heights with combined jet flow were numerically researched. Numerical analysis was carried out steady and in three dimensions with the k-ε turbulence model Ansys-Fluent program. Considering the studies in the literature, three models were placed in the channels in accordance with the channel dimensions. The Re number range of the fluids in the channel is 5000-9000. The results were matched with the Nu results of the experimental study in the literature and they were determined to be compatible. The results of the study were examined comparatively for water and nanofluid as mean Nu number and surface temperature changes for each model in channels at different channel heights in finless and finned cases. In addition, velocity and temperature contour distributions of the combined jet nanofluid flow were presented. However, performance evaluation numbers (PEC) at different Reynolds numbers and average Nu number (Nu_m) and surface temperature values (T_m) were evaluated for Re=7000 for all three model surfaces in the channels. The use of Diamond-Water nanofluid in the H=3D and finned channel resulted in 24.14% and 18.91% higher Nu_m values on cube and trapezoidal surfaces compared to the finless and water-fluid channel, respectively.

Keywords: Diamond-water nanofluid, combined jet with impinging jet-cross flow, heat transfer.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerjinin korunumu ve alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesi günümüzün en büyük sorunudur. Önümüzdeki yirmi-otuz yıllık süreçte geleneksel enerji kaynaklarının tükenmesi beklenmekle birlikte, enerji

savaşları da dünya ülkelerinin gündemindedir. Bu nedenle, enerjinin her alanda tasarruflu ve verimli kullanılması gerekmektedir.

Geleneksel ve verimsiz ısı transferi yöntemleriyle hem daha fazla enerji harcanırken hem de yeterli ve istenilen ısı transferi performansına ulaşamamaktadır [1]. Elektronik elemanlardan olan ısı transferini artırmada kullanılan çapraz akış ile soğutma yöntemi, en yaygın

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : kkarabulut@cumhuriyet.edu.tr

kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntem, soğuk akışkanın bir fanla tüm bileşenler üzerine gönderilmesi ve bu sayede elektronik bileşenlerin bütününe soğutulması esasına dayanmaktadır. Ancak, bu metod bütün devre elemanlarının soğutulması esnasında olduğundan çok yüksek sıcaklıklardaki bileşenlerden olan ısı transferinde başarısız olabilir. Bir diğer ısı transferi 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 bütününe soğutulmasında yetersiz kalabilmektedir. Bununla birlikte, bu yöntem yüksek ısı transfer katsayılarının istenildiği ısıtma ve kurutma amacıyla da kullanılabilir [2-4]. Bir elektronik devrede sıcaklıkları birbirlerinden oldukça farklı birden çok eleman bulunmaktadır. Bu sebeple, tek çeşit soğutma yöntemi ile bütün devreyi güvenli şekilde tutabilecek şartlara erişilmekte sıkıntı yaşanmaktadır. 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 [5,6].

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 akısı gibi değişkenlerin devre bileşenlerinden olan ısı transferine etkileri üzerinde incelemelerde bulunulmuştur. Bunun yanı sıra, çapraz-çarpan jet akışın kombine şeklinde uygulandığı 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 ısı transferi özelliklerinin suya göre çok daha iyi olduğu Elmas-Su nanoakışkanının kullanıldığı bir çalışmaya elde edilen literatürde rastlanmamıştır.

Çarpan dairesel bir jet akışının sabit ısı akılı iç bükey bir yüzey üzerindeki akış ve ısı transferi niteliklerini, değişik jet-plaka arası oranlarında sayısal ve deneysel olarak Hadipour ve Zargarabadi [7] tarafından incelenmiştir. Farklı H/D (kanal yükseklik/jet giriş çapı) oranları, Re sayıları ve jet çapı değerlerinde araştırmalar gerçekleştirmişler ve sabit Re sayısında jet çapı artışıyla ısı transferinin arttığını görmüşlerdir. Karabulut ve Alnak [8] kanallardaki çatı ve ters yamuk biçimindeki modellere sahip yüzeylerden olan ısı transferini hava jeti ile kanaldaki jet giriş genişliklerini değiştirerek sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında kullandıkları jet

giriş genişlikleri $0,5 D_h$ ve D_h iken jet-plaka arası uzaklıklarını (H/D_h) 3 ve 6 olarak almışlardır. Sonuç olarak, jet genişliğinin $0,5 D_h$, $H/D_h = 6$ ve $Re = 5000$ iken Nu sayısının ortalama değerinin çatı modeli yüzey için ters yamuk desenli olandan %25.92 daha fazla olduğunu belirlemişlerdir. Demircan [9] 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 akılı bir elemandan çarpan hava jetli çapraz akış birlikteliğiyle olan ısı transferi Öztürk ve Demircan [10] tarafından sayısal olarak araştırılmıştır. Araştırmacılar, çalışmalarında farklı jet giriş hızı/kanal giriş hızı 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 incelenmişlerdir. 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., [11] kanal boyunca sıralı yedi adet devre elemanından meydana gelen bir sistemin çarpan jet-çarpan 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 [12] Al_2O_3 -su nanoakışkanını kullanarak jet çarpmalı akış kaynamasının ısı transfer performansını incelemişlerdir. Al_2O_3 -su nanoakışkanının jet çarpma akışının ısı transferi performansının, çalışma sıvısı olarak kullanılan sudan daha kötü olduğu bulunmuştur. ısı transfer performansındaki azalmanın ısıl 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 nanoakışkanı kullanılarak elde edilen ısı transfer performansı su kullanılarak elde edilenden daha iyi olmaktadır. Datta ve ark., [13] dış bükey bir yüzey üzerine sınırlı bir yarıktan jet çarpmasında Al_2O_3 -Su nanoakışkanı kullanarak ısı transfer performansının araştırılması için sayısal simülasyon gerçekleştirmişlerdir. Sistemin akış davranışını ve taşınım ısı transfer performansını araştırmak için çeşitli Reynolds sayıları, jet-plaka arasındaki mesafe gibi farklı parametreler göz önünde bulundurulmuştur. Ortalama Nusselt sayısı ve ısı transfer katsayısının jet giriş Reynolds sayısındaki artışla önemli ölçüde arttığını belirlemişlerdir. Kumar ve ark., [14] 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 akışkanı olarak su akışkanı kullandıklarında %10' luk bir

azalma elde ederlerken, nanoakışkan kullandıklarında ise sıcaklık düşüşünün %14' ü bulunduğunu saptamışlardır. Selimefendigil ve Chamka [15] CuO-Su nano jeti kullanılarak oyuk benzeri bir kısmı olan izotermal bir yüzeyin soğutulmasında taşınım ısı transfer özelliklerini sayısal olarak analiz etmeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarını, Reynolds sayısının farklı değerlerinde (100-400), farklı oyuk uzunlukları (5w-40w) ve yüksekliklerinde (w-5w) nanoparçacığın hacimsel konsantrasyonunu (%0-4) değiştirerek gerçekleştirmişlerdir. Oyuk uzunluğu düşük olduğunda, oyuk eğimli duvarının ortalama Nusselt sayısına katkısının önemli olduğunu ve en yüksek hacimsel konsantrasyonda su yerine nanoakışkan kullanıldığında ortalama ısı transferinin %35-46 oranında arttığını belirlemişlerdir. Abdullah ve ark., [16] çalışmalarında alüminyum bir plaka yüzeyine çift jet çarpmasının ısı transferi üzerinde TiO₂ nano çözeltisi konsantrasyonunun etkisini deneysel analiz yoluyla incelemişlerdir. Bunun haricinde değişkenler olarak çift jetin lüle mesafesini ve lüle-plaka mesafesini göz önüne almışlardır. Jet mesafelerinin ve akış yapısını etkileyen nanoparçacık konsantrasyonunun da Re sayısı ile birlikte Nu sayısını etkilediğini belirlemişlerdir.

Ulaşılan literatür incelemelerinden de görüldüğü gibi yüksek ısı transferi miktarına ulaşma yeteneği ile dikkat çeken çarpan jetlerin olduğu bir çok çalışma mevcuttur. Ancak, nanoakışkan kullanılarak çarpan jet-çapraz akışın kombine olarak uygulandığı birleşik jet akışlı çalışma sayısı oldukça az olmakla birlikte %2 hacimsel konsantrasyonda yüksek ısı transferi performansı sergileyen Elmas-Su nanoakışkanı kullanılan çalışmaya literatürde rastlanamamıştır. Bu çalışmada, H=3D ve 4D yükseklikli birleşik jet akışlı kanallardaki küp ve yamuk modelli yüzeylerden olan ısı transferinin su akışkanı ve %2 Elmas-Su nanoakışkanı kullanılarak kanatçiksiz ve N=2D mesafede olmak üzere 30° açığa sahip kanatçıklı kanal durumları için sayısal araştırması yapılmıştır. Sayısal araştırma, sürekli ve üç boyutlu olarak enerji ve Navier-Stokes denklemlerinin k-ε türbülans modeli Ansys-Fluent bilgisayar programı kullanılarak çözülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Kanatçık ve kanalın alt ve üst yüzeyleri adyabatik iken desenli yüzeyler 1000 W/m² lik sabit ısı akısına sahiptir. Akışkanlar için çalışılan Reynolds sayısı aralığı 5000-9000' dir. Çalışmada kullanılan %2 hacimsel konsantrasyonlu Elmas-Su nanoakışkanının termofiziksel özellikleri literatürde bulunan eşitlikler yardımıyla bulunmuştur. Çalışmanın sonuçları, literatürdeki deneysel çalışma sonucu elde edilen denklemin sonuçlarıyla kıyaslanmış ve uyum içerisinde oldukları saptanmıştır. Sonuçlar, kanallardaki küp ve yamuk model sıraları için ortalama Nu sayısı ve yüzey sıcaklıklarının değişimleri şeklinde incelenmiştir. Bununla birlikte, birleşik jet akışlı kanallar için kanatçiksiz ve farklı kanal yükseklikli (H) kanatçıklı kanallarda nanoakışkanın hız ve sıcaklık konturu dağılımları Re=7000 için sunulmuştur. Aynı Re sayısı değerinde (Re=7000) kanallarda bulunan tüm desenler için kanatçiksiz ve kanatçıklı durumlarda ve H=3D ve 4D

için ortalama Nu sayısı (Nu_m) ve ortalama yüzey sıcaklık (T_m) değerleri değerlendirilmiştir. Ayrıca, kanatçıkların ve nanoakışkanın birleşik jet akışlı kanallarda kanatçiksiz ve su akışkanı kullanılan durumlara göre ortalama Nu sayısı artışına karşı basınç düşüşleri, performans değerlendirme sayısı (PEC) göz önüne alınarak yorumlanmıştır.

1.1. ELMAS-SU NANOAKIŞKANININ TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ (THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF DIAMOND-WATER NANOFLUID)

Bu çalışmada kullanılan çalışma akışkanlarından biri olan %2 hacimsel konsantrasyonlu Elmas-Su nanoakışkanının termofiziksel özellikleri literatürde bulunan ve yaygın olarak kullanılan eşitlikler [17] yardımıyla elde edilmiş ve Su akışkanı ile Çizelge 1' de gösterilmiştir. Ayrıca, katı haldeki Elmas nanoparçacığının termofiziksel özellikleri de literatürdeki ilgili çalışmadan alınmıştır [18].

Nanoakışkanın Yoğunluğu

$$\rho_{nf} = (1 - \phi)\rho_{nf} + \phi\rho_p \quad (1)$$

Bu eşitlikte, ρ akışkanın yoğunluğunu (kg/m³), ϕ nanoparçacık konsantrasyonu ifade ederken, p, nf ve bf ise sırasıyla nanoparçacık, nanoakışkan ve su akışkanını belirtmektedir [17,18].

Nanoakışkanın Özgül Isısı [17,18,19]

$$c_{p,nf} = (1 - \phi)c_{p,bf} + \phi c_{p,p} \quad (2)$$

Nanoakışkanın Isıl İletkenliği [17,18]

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

Nanoakışkanın Viskozitesi [17,18]

$$\mu_{nf} = \mu_{bf} (1 + 2.5\phi) \quad (4)$$

2. SAYISAL METOT (NUMERICAL METHOD)

Model yüzeylerindeki birleşik jet akışın zorlanmış taşınımlı 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 ([10,20-21]).

Isı transferi süreçlerinde türbülansın doğru modellenmesi esastır. Bununla birlikte, türbülanslı akışkanların doğrudan sayısal simülasyonları çok zor olup aynı zamanda zaman alıcı bir süreçtir. Sayısal modellemelerde kullanılan çeşitli türbülans modelleri [22-29] bulunmakla birlikte, bu modeller arasında ekonomikliği ve pek çok akış olayında kabul edilebilir

doğrulukla sonuç vermesi bakımından yarı ampirik bir model olan k-ε türbülans modeli yaygın olarak kullanılmaktadır [30]

Çizelge 1. Termofiziksel özellikler (30°C) (Thermophysical

Özellikler	Su	Elmas-Su Nanoakışkanı	Elmas
k (W/mK)	0,6172	0,6685	1000
ρ (kg/m ³)	995,8	1046,08	3510
c _p (J/kgK)	4178,4	4104,77	497,26
μ (Ns/m ²)	803,4x10 ⁻⁶	843,57x10 ⁻⁶	-

properties)

Süreklilik denklemi

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = 0 \quad (5)$$

Momentum denklemi

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{u}_i \bar{u}_j) = \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u'_i u'_j} \right] \quad (6)$$

Enerji denklemi

$$\rho c_p \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{u}_i \bar{T}) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[k \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} - \rho c_p \overline{T' u'_i} \right] \quad (7)$$

Türbülans kinetik enerji denklemi

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon \quad (8)$$

$$G_k - \rho \varepsilon$$

Türbülans kinetik enerji yutulma terimi

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \varepsilon u_i) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (9)$$

Bu denklemlerde, k türbülanslı akış kinetik enerjisini, u_i x, y ve z yönlerindeki hız bileşenlerini, μ akışkanın viskozitesini, σ_k (σ_k=1) türbülanslı kinetik enerji Pr sayısını belirtmektedir. Türbülanslı kinetik enerji üretimi (G_k) ve türbülanslı akışın viskozitesini (μ_t) gösteren eşitlikler aşağıdaki gibidir ([20-23]).

$$G_k = -\overline{\rho u'_i u'_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (10)$$

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (11)$$

Türbülans yutulma Pr sayısı σ_ε ile belirtilirken, C_{1ε}=1.44, C_{2ε}=1.92, C_μ=0.09 ve σ_ε=1.3 değerlerine sahip olan eşitliklerdeki katsayılarıdır ([31-32]).

Ortalama ısı taşınım katsayısı h, Eş. 12 ve Nusselt sayısı (Nu) ise Eş. 13 ile hesaplanmaktadır ([22-23]).

$$h = \frac{q''}{T_y - T_a} \quad (12)$$

Nu sayısı

$$-k_a \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_y = h (T_a - T_y) \quad \text{ve} \quad (13)$$

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

Bu eşitliklerde, T_a ve T_y sırasıyla akışkanının ve elemanın ortalama olarak yüzey sıcaklıklarını (K), k_a akışkanın ısı iletim katsayısını (W/m.K), 3m akışkanın temas ettiği elemanın toplam yüzey uzunluğunu (m), h ve h_m ise sırasıyla deseni yüzey boyunca noktasal ve ortalama ısı taşınım katsayısını (W/m².K), n ise yüzeye dik yön olup deseni yüzey ortalama Nu sayısı (Nu_m) aşağıda belirtilen eşitliklerden bulunmaktadır.

Deseni yüzey ortalama ısı taşınım katsayısı

$$h_m = \frac{1}{3m} \int_0^{3m} h dx \quad (14)$$

Deseni yüzey ortalama Nu sayısı

$$Nu_m = \frac{h_m(3m)}{k_a} \quad (15)$$

Kanalın hidrolik çapı

$$D_{kh} = \frac{4A_k}{P_k} = \frac{4(H.W)}{2(H+W)} \quad (16)$$

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.

Kanalın ve jetin Re sayıları ise sırasıyla Eş. (17) ve (18) kullanılarak belirlenmektedir [10].

$$Re_k = \frac{\rho_a V_k D_{hk}}{\mu_a} \quad (17)$$

$$Re_j = \frac{\rho_a V_j D}{\mu_a} \quad (18)$$

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.

$$\Delta P = \frac{f \rho L}{2D_{kh}} V_k^2 \quad (19)$$

Bu eşitlikte, ΔP kanatçiksız 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 (20) ile bulunmaktadır ([33]).

Performans değerlendirme sayısı (PEC)

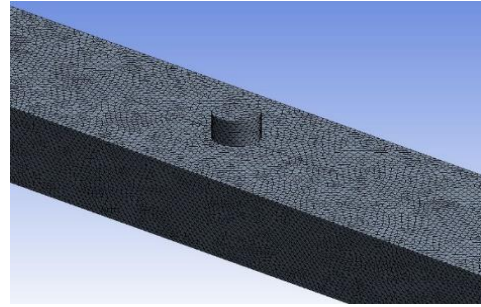
$$PEC = \frac{(Nu_{m-kanatçıklı} / Nu_{m-kanatçiksız})}{(\Delta P_{kanatçıklı} / \Delta P_{kanatçiksız})} \quad (20)$$

3. MODEL GEOMETRİLERİ (PATTERN GEOMETRIES)

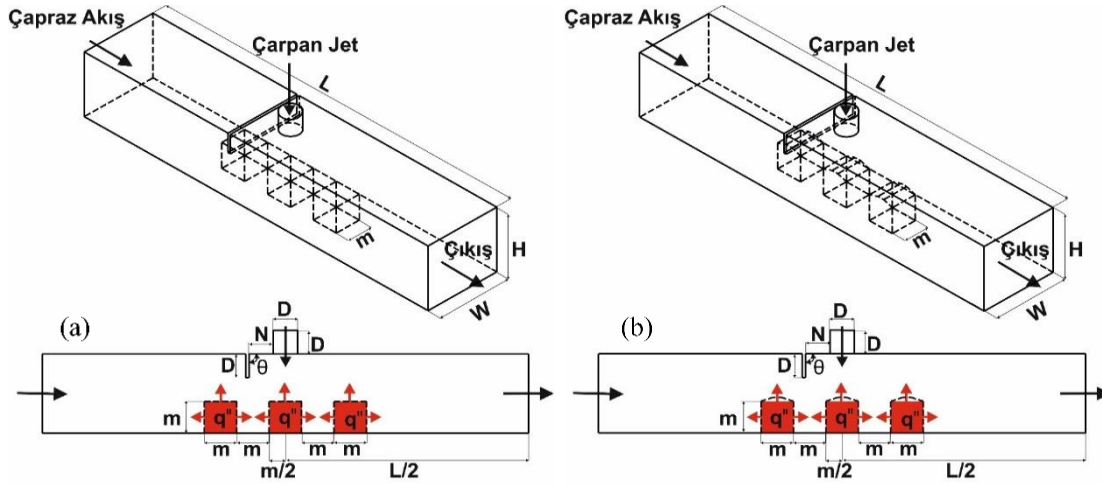
Çalışmadaki çarpan jet-çarpaz akış birleşik jet akışlı kanatçıklı kanallar ve kanallardaki küp ve yamuk modelli yüzeylere sahip elemanların ölçüleri ve sınır şartları Şekil 1 (a) ve (b)' de verilirken, kanalların boyutsal ölçüleri ise Çizelge 2' de verilmektedir. Bunun yanı sıra, bu çalışmada yapılan kabuller şu şekildedir:

- Sürekli, üç boyutlu ve türbülanslı akış hacmi kullanılmıştır,
- Sıkıştırılmaz akışkan olarak su ve %2 Elmas-Su nanoakışkanı, hem jet hem de çarpaz akış akışkanı olarak kullanılmışlardır,
- Akışkanların ısı özellikleri sabit olup, sıcaklıktan bağımsızdır,
- Kanalın ve kanatçığın yüzeyleri adyabatiktir,
- Akışkan olarak kullanılan su ve nanoakışkanda ve model yüzeylerinde ısı kaynağı bulunmamaktadır.

Ayrıca, birleşik jet akışlı kanalların sayısal hesaplamalarında kullanılan düzgün dörtyüzlü ağ yapısı Şekil 2' de gösterilmektedir



Şekil 2. Kanalda kullanılan düzgün dörtyüzlü ağ yapısının gösterimi



Şekil 1. (a) Küp (b) Yamuk modelli kanalların görünüşleri (Views of channels with (a) cube (b) trapezoidal pattern)

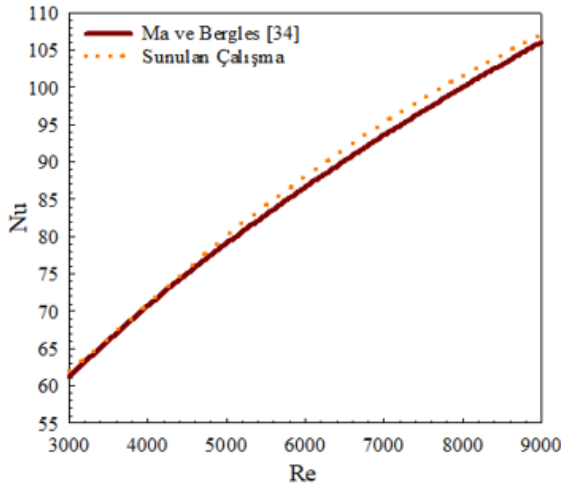
Çizelge 2. Kanalların boyutsal ölçüleri (Dimensional dimensions of channels)

Değişken	Ölçü
D	15 mm
L	66D
W	4D
H	3D, 4D
M	20 mm
θ	30°
N	2D

4. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Çalışmada, Şekil 3' de gösterildiği gibi sadece jet akışın olduğu durumda farklı Reynolds sayılarında incelemelerde bulunularak ulaşılan sonuçlar ile Ma ve Bergles [34]' in deneysel incelemeleri sonucunda ulaştıkları eşitlik kullanılarak ($\overline{Nu} = 1,29 Re^{0.5} Pr^{0.4}$) edinilen sonuçlar kendi aralarında karşılaştırılmış ve Ma ve Bergles [34]' 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 (Nu_m) üzerindeki etkisi farklı Reynolds sayılarında Çizelge 3' de sunulmuştur. Buna göre kanatçıksız kanal için 2022840 adet ağ elemanının güvenilir ve doğru sonucu vereceği bulunmuştur.



Şekil 3. Sunulan çalışma ve Ma ve Bergles [34]' in sonuçlarının kıyaslanması (Comparison of the presented study and the results of Ma and Bergles [34])

sayısı değerleri su akışkanına göre daha fazladır. Bununla birlikte, kanallara kanatçık eklenmesi akışı model yüzeyleri üzerine yönlendirerek ısı transferinin artmasını sağladığından kanatçıksız duruma göre Nu sayısında artışlar görülmektedir. Kanalların çapraz akış girişi tarafında olan birinci sıradaki Model 1 incelendiğinde en yüksek ortalama Nu sayısı değerlerine yamuk modellenli yüzeylerde ulaşılmaktadır. $H=3D$ kanal yüksekliği ve $Re=9000$ değerinde 30° kanatçık açılı kanalda Elmas-Su nanoakışkanı kullanılması durumunda su akışkanı kullanılan kanala göre ortalama Nu sayısı değerlerinde sırasıyla küp ve yamuk (Model 1) yüzeylerde %8,9 ve %9,1' lik artışlar elde edilmektedir. Bununla birlikte, $4D$ kanal yükseklikli kanallarda jet akışın model yüzeyleri üzerindeki etkisinin azalması sonucu soğutma etkisi azaldığından her iki desen yüzeyli kanalda Nu sayısı değerleri azalırken kanatçıksız kanallarda kanatçıklı kanallara göre daha düşük Nu sayıları görülmektedir. Yamuk yüzeyli 1. sıradaki Model 1 için Reynolds sayısının 5000 değerinde kanatçıklı ve $3D$ yükseklikli kanalda nanoakışkanın (Elmas-Su) ortalama Nu sayısı, $4D$ yükseklikli kanaldan %29,1 daha fazladır. Ayrıca, $Re=7000$ için $H=3D$ ' de su akışkanı kullanılan küp yüzeyli kanatçıklı kanalda, kanatçıksız kanala göre ortalama Nu sayısında %20'lik artış sağlanmaktadır. Kanallarda ikinci sırada bulunan Model 2' de ise küp yüzeydeki birleşik jet akışın yamuk yüzeyle kıyaslandığında desen şekli nedeniyle daha iyi temasta olması Nu sayısı değerlerinin de daha yüksek olmasını sağlamaktadır. Yine model şekline bağlı olarak, Model 2 üzerinde çapraz akışın etkisinin yanı sıra doğrudan çarpan jetin de etkisinde olmasına rağmen yamuk modellenli yüzeyde Model 1' de Nu sayısı değerlerinde düşüşlerin olduğu kanal tasarımları görülmektedir. Ancak, küp yüzeyde tüm kanal kurulumları ve akışkan tipi kullanımlarında Model 2' de Model 1' e göre Nu sayılarında daha yüksek değerlere ulaşılmaktadır. $Re=9000$ ve $H=3D$ ' de küp şekilli Model 2 yüzeyinde kanatçıksız kanalda Elmas-Su nanoakışkanı kullanılması durumunda Model 1' e göre Nu sayısında %24,73 artış sağlanırken bu değer yamuk şekilli yüzey için %1,84

Çizelge 3. Ağ elemanı sayısına bağlı olarak Nu_m ' nin Reynolds sayısı ile değişimi (Variation of Nu_m with Reynolds number depending on the number of mesh elements)

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

Şekil 4 ve 5' de birleşik jet akışlı kanatçıksız ve 30° açılı kanatçıklı $H=3D$ ve $4D$ yüksekliklerindeki kanallarda sırasıyla küp ve yamuk modellenli yüzeylere ait ortalama Nu sayılarının Re sayısına göre değişimleri su akışkanı ve Elmas-Su nanoakışkanı kullanılması durumları için gösterilmektedir. Her iki modellenli kanal ve her üç model sırasında da $3D$ yükseklikli kanalda $4D$ yükseklikli kanala göre daha yüksek Nu sayısı değerleri elde edilirken genel itibariyle Elmas-Su nanoakışkanının Nu

olmaktadır. Kanallarda üçüncü ve son sıradaki her iki şekilli Model 3 yüzeyleri, tam olarak çapraz akış ve çarpan jetin etkisi altındadır. Bu nedenle, genel olarak her iki şekilli yüzeyde de Model 1 ve Model 2' ye göre Nu sayısı değerleri daha fazladır. Ayrıca, Model 3 için küp şekilli yüzeyin Nu sayısı değerlerinin yamuk şekilli yüzeyden daha yüksek olduğu Şekil 4 ve 5' in karşılaştırılmasından kolaylıkla görülebilmektedir. Yalnızca, küp şekilli yüzeyde incelenen en yüksek

Reynolds sayısı değerinde ($Re=9000$), her iki akışkan türü (su ve nanoakışkan) ve kanal yüksekliği durumlarında birleşik jet akışının kanaldaki hareketine bağlı olarak yüzeye çarpıp kanal çıkışına doğru hareketi nedeniyle Model 2' ye göre Nu sayısı değerleri biraz daha düşüktür.

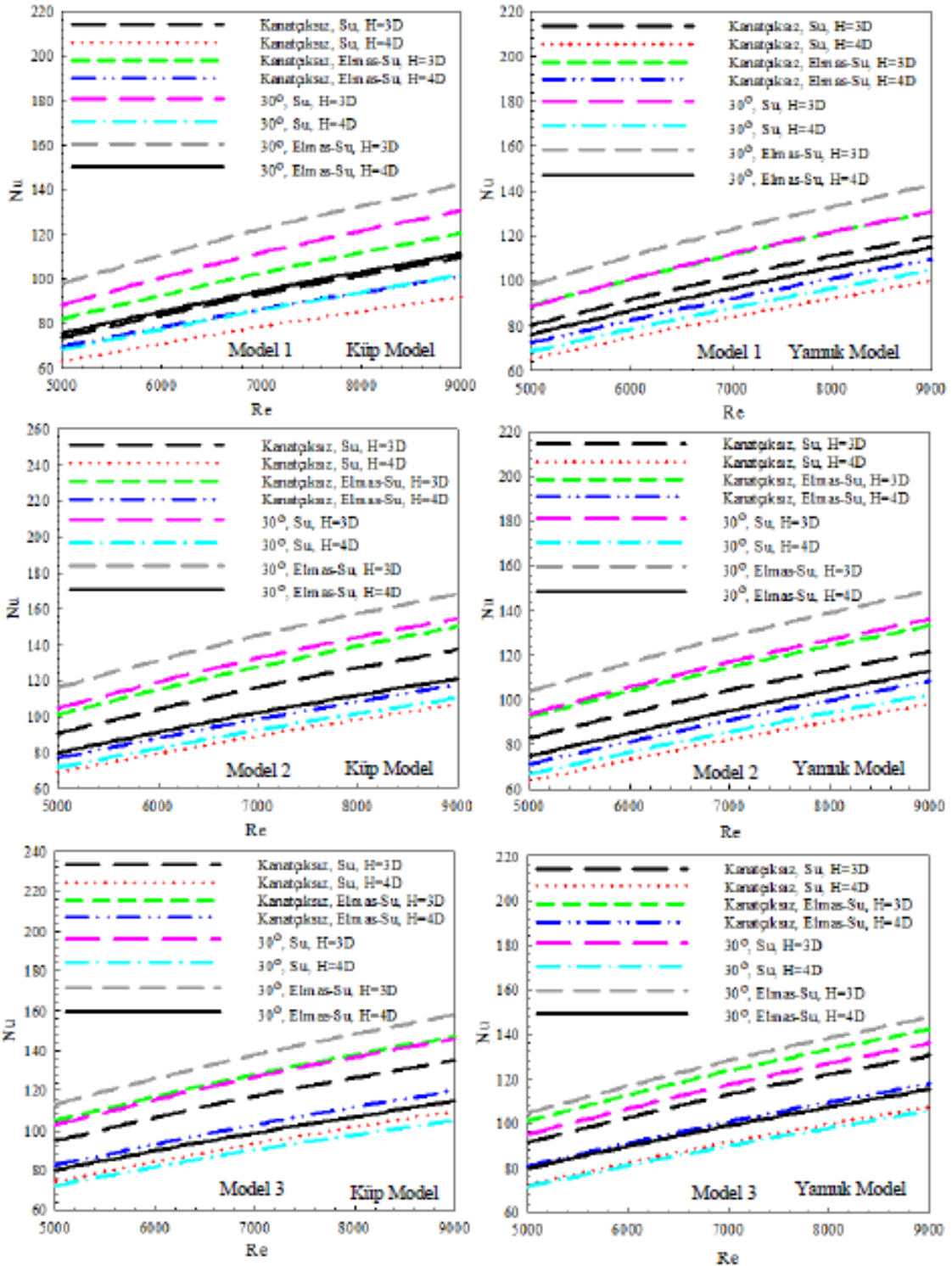
Küp ve yamuk modellenmiş bakır plakalı yüzeylerin ortalama yüzey sıcaklıklarının değişimleri su akışkan ve Elmas-Su nanoakışkanı kullanıldığında 3D ve 4D yükseklikli (H) ve kanatçiksiz ve kanatçıklı (30° açılı) birleşik jet akışlı kanallarda sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7' de verilmektedir. Reynolds sayısının artışına bağlı olarak kanallardaki birleşik jet akışkanının karışması ve desenli yüzeylerle olan etkileşimi artarak, yüzeylerin daha iyi soğutulması sağlanmaktadır. Böylece modellerin yüzey sıcaklıkları düşmektedir. Nu sayısı değişimlerine paralel olarak (Şekil 4 ve 5), her iki şekilli yüzeyli kanalda (küp ve yamuk) en düşük yüzey sıcaklığı değerlerine kanatçıklı ve $H=3D$ yükseklikli Elmas-Su nanoakışkanı kullanılması durumunda erişilmektedir. Bununla birlikte, en yüksek yüzey sıcaklığı değerlerine Model 1 ve Model 2 için $H=4D$ yükseklikli kanatçiksiz kanallarda su akışkanı için ulaşılmaktadır. Model 3' de ise kanatçıklı kanallarda birleşik jet akışın Model 2' ye daha iyi yönlendirilip yüzeye çarparak yön değiştirmesi sebebiyle Model 3 ile olan teması azalmaktadır. Bu da $H=4D$ yükseklikli kanallarda 30° kanatçık açılı kanallar için yüzey sıcaklığının daha fazla olmasını sağlamaktadır. Ayrıca, Model 1 için az da olsa yamuk şekilli yüzeylerin sıcaklık değerleri küp şekilli yüzeylerden düşük iken, Model 2 ve Model 3' de küp şekilli yüzeylerin sıcaklıkları yamuk şekilli yüzeylerden daha azdır. Bunun yanı sıra, kanal yüksekliğinin $3D$ ' den $4D$ ' ye artışı yüzey sıcaklık değerlerini artırırken, nanoakışkan kullanılması ise içeriğindeki nanoparçacıkların ısı transferini iyileştirici etkisi ile yüzey sıcaklıklarını düşürmektedir.

Şekil 8 ve Şekil 9' da sırasıyla küp ve yamuk modellenmiş yüzeyler için su akışkanı ve elmas-su nanoakışkanı kullanılarak oluşturulan birleşik jet akışın kanatçıklı ortalama Nu sayısının ($Nu_{m-kanatçıklı}$) kanatçiksiz ortalama Nu sayısına ($Nu_{m-kanatçiksiz}$) oranının ($Nu_{m-kanatçıklı}/Nu_{m-kanatçiksiz}$), kanallarda kanatçıklı ve kanatçiksiz durumlardaki basınç düşüşü oranlarına ($\Delta P_{kanatçıklı}/\Delta P_{kanatçiksiz}$) göre değişimlerini gösteren performans değerlendirme sayısı (PEC)

değerlendirilmektedir. Her iki şekilden de görülebildiği gibi PEC sayılarının 1 değerinin üzerinde olması kanaldaki basınç düşüşü oranlarına göre Nu sayısı oranlarının daha yüksek olduğunu ve bu nedenle kanatçık kullanımıyla elde edilen ısı transferi artışının basınç düşüşü artışına karşı da üstün geldiğini kanıtlamaktadır. Bununla birlikte, her iki desenli yüzey için de $H=3D$ yükseklikli kanallar için elde edilen PEC sayıları daha fazla iken su akışkanının PEC sayısı elmas-su nanoakışkanından daha yüksektir. Nanoakışkanın PEC sayısının sudan daha düşük olmasına nanoakışkanın yüksek Nu sayısına rağmen sudan daha fazla basınç düşüşüne neden olmasıyla ulaşılmaktadır. $Re=9000$ için $H=3D$ ' de su akışkanının PEC değeri nanoakışkandan küp ve yamuk şekilli yüzeyler için sırasıyla %0,62 ve %0,2 daha fazladır. Şekil 8 ve 9' dan görülebildiği gibi küp yüzeyli birleşik jet akışlı kanallarda kanatçık kullanımı yamuk yüzeyli kanallara göre ısı transferi artırımında daha fazla iyileşme sağlarken, Re sayısının artışına bağlı olarak basınç düşüşü arttığından PEC sayısı değerlerinde de azalma görülmektedir.

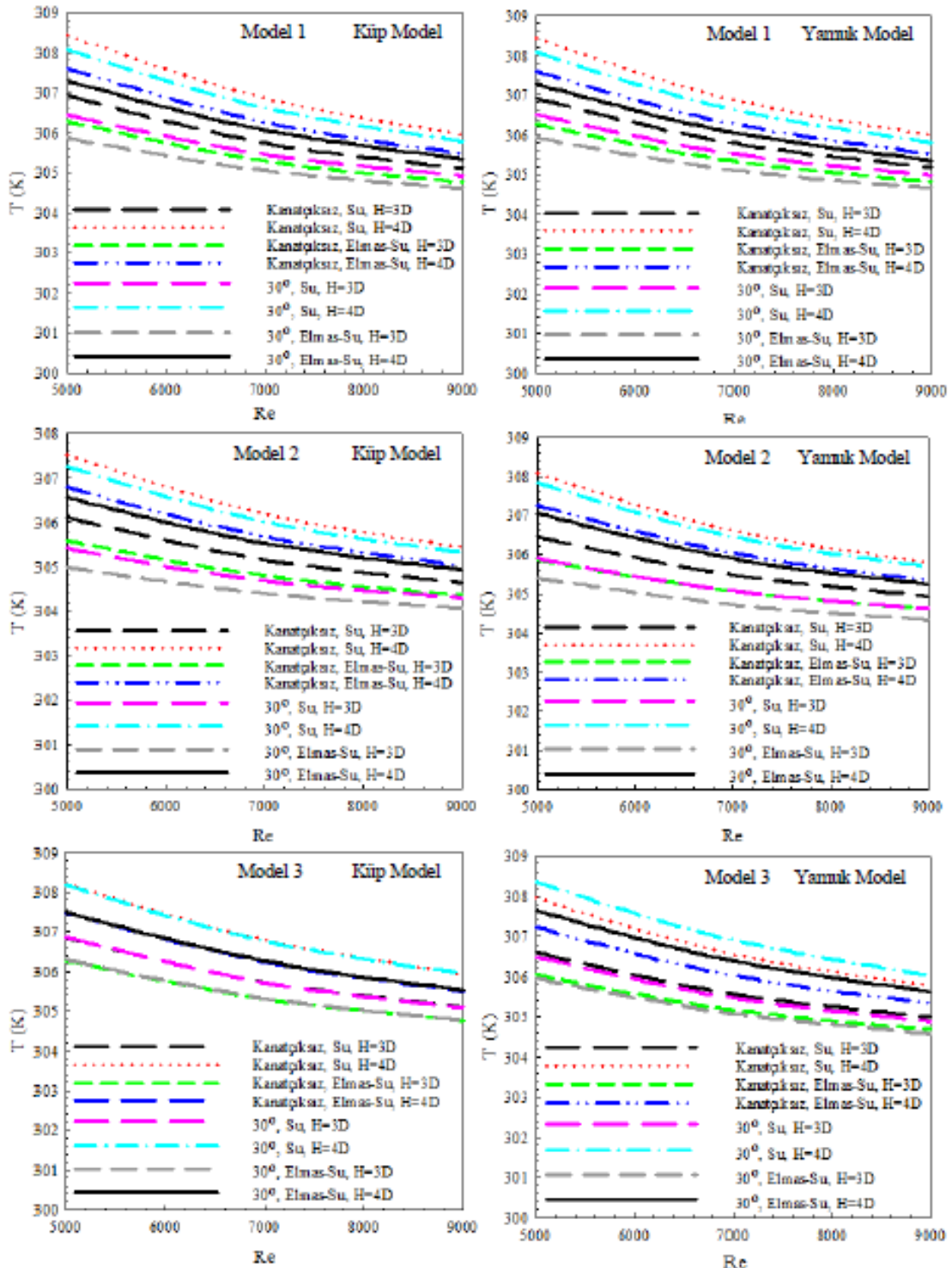
Çizelge 4' de kanallarda bulunan her üç küp ve yamuk modellenmiş yüzey için de $Re=7000$ ' de $H=3D$ ve $4D$ kanal yüksekliklerinde kanatçiksiz ve 30° açılı kanatçıklı durumlarda su akışkanı ve nanoakışkan kullanıldığında ortalama Nu sayısı (Nu_m) ve ortalama yüzey sıcaklığı (T_m) değerleri irdelenmektedir. Her iki kanal yüksekliğinde de küp şekilli yüzeyin Nu_m değerleri, yamuk şekilli yüzeylerden daha fazla iken, $H=4D$ için ulaşılan Nu_m değerleri $H=3D$ ' den daha düşüktür. Bunun yanı sıra, nanoakışkan için elde edilen Nu_m değerleri su akışkanına göre daha yüksek olup, kanatçıklı kanallar için artan ısı transferine bağlı olarak Nu_m değerleri de artış sergilemektedir. $H=3D$ ve kanatçıklı kanalda Elmas-Su nanoakışkanı kullanılması durumunda kanatçiksiz ve su akışkanı kullanılan kanala göre küp ve yamuk modellenmiş yüzeylerde Nu_m değerleri sırasıyla %24,14 ve %18,91 daha fazladır. Buna bağlı olarak da en düşük T_m değeri, $H=3D$ ' de kanatçıklı ve Elmas-Su nanoakışkanı kullanılan kanalda küp şekilli yüzey için elde edilmektedir.

Şekil 10' da $Re=7000$ için birleşik jet akışlı kanatçiksiz ve 30° açılı kanatçıklı ve $H=3D$ ve $4D$ yükseklikli bir kanalda Elmas-Su nanoakışkanına ait (a) hız ve (b) sıcaklık konturu dağılımları gösterilmektedir. Hız konturu dağılımlarında görülebildiği gibi kanatçiksiz ve



Şekil 4. Kanatsız ve kanatlı farklı yükseklikli birleşik jet akışlı kanallarda küp modellenli yüzeylerin desen sıralarına göre Nu sayısının değişimi (Variation of Nu number according to the order of the cube patterned surfaces in combined jet flow channels of different heights without fin and with fin)

Şekil 5. Kanatsız ve kanatlı farklı yükseklikli birleşik jet akışlı kanallarda yanık modellenli yüzeylerin desen sıralarına göre Nu sayısının değişimi (Variation of Nu number according to the order of the trapezoid patterned surfaces in combined jet flow channels of different heights without fin and with fin)



Şekil 6. Kanatçksız ve kanatçıklı farklı yükseklikli birleşik jet akışlı kanallarda küp modellenli yüzeylerin desen sıralarına göre sıcaklıklarının değişimi (Variation of the temperature of the cube-patterned surfaces according to the order of the patterns in the combined jet flow channels of different height without fin and with fin)

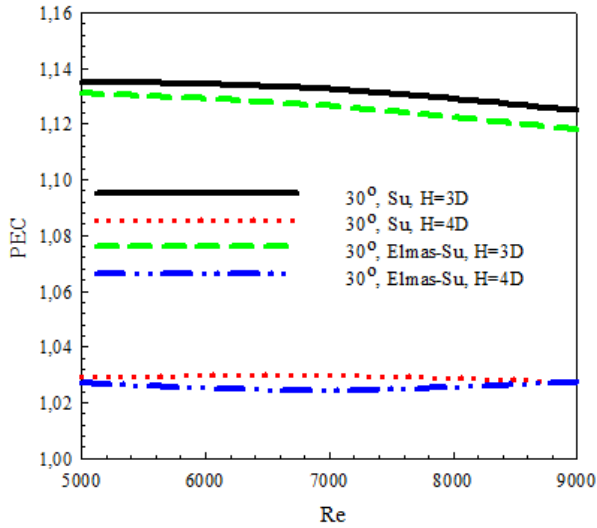
Şekil 7. Kanatçksız ve kanatçıklı farklı yükseklikli birleşik jet akışlı kanallarda yamuk modellenli yüzeylerin desen sıralarına göre sıcaklıklarının değişimi (Variation of the temperature of the trapezoid-patterned surfaces according to the order of the patterns in the combined jet flow channels of different height without fin and with fin)

H=3D yükseklikli birleşik jet akışlı kanallarda kanal girişindeki birinci modeller daha çok çapraz akışın etkisi altındadır. Bununla birlikte, küp şekilli birinci sıradaki yüzeyin (Model 1) üzerinde oluşan yeniden dolaşım bölgesi nedeniyle bu model sırasından olan ısı transferi, yamuk şekilli yüzeyden daha az olduğundan sıcaklık konturundan da belli olduğu gibi bu desende ısınma daha fazladır. İkinci sıradaki modellerde ise çarpan jet akışı da devreye girmektedir. Bununla birlikte, çarpan jet akışın girişinde kanalın sağ üst tarafında oluşan yeniden dolaşım bölgeleri, akışı Model 2 ve Model 3' ün üzerine doğru baskılamaktadır. Özellikle, H=3D kanal yüksekliklerinde her iki şekilli yüzey için de Model 3 üzerinde akış hızları daha fazla olmakla birlikte yamuk model için Model 2' ye çarpan akış model üzerinde fazla temasta bulunmayıp kanal çıkışına doğru yönelmektedir. Bu durum da yüzeylerin soğumasında olumsuz etkiye sebep olmaktadır. Bununla birlikte, model aralarında oluşan yeniden dolaşım bölgeleri akışın kendi içinde sirkülasyona uğramasına neden olarak ısı transferini azaltmaktadır. Kanal yüksekliği H=4D olduğunda ise kanaldan gelen çapraz akış çarpan jet akışını her iki şekilli yüzey için de Model 3' ün üzerine doğru yönlendirerek, bu sıradaki yüzeylerden olan ısı transferinin Model 2' den daha fazla olmasını sağlamaktadır. Kanallara kanatçık (30°) eklendiğinde ise çapraz akışın geçtiği kanal kesit alanı daraltıldığından Model 1 ve özellikle Model 2 üzerinde jet akış etkisi oluşturularak hem model yüzeyleri üzerinde hem de model aralarında akışın hızlanması sağlandığından çarpan jet-çapraz akış birleşik jet akışıyla ısı transferi

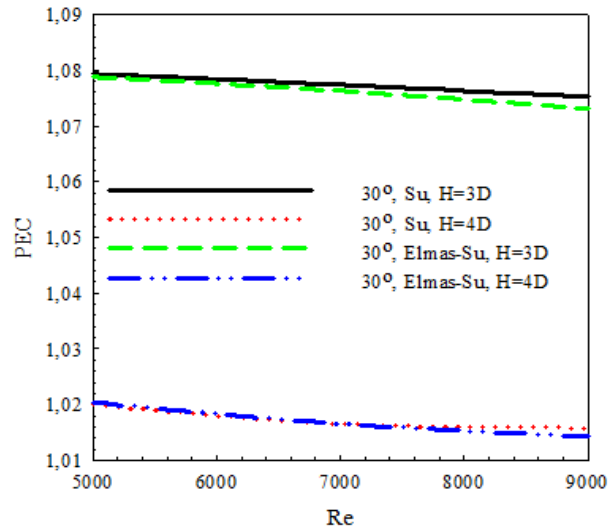
performanslarında artış elde edilebilmektedir. Bununla birlikte, kanal ve model tasarımlarına bağlı olarak özellikle modellerin köşe noktalarında bulunan yeniden dolaşım bölgelerinin küçültülebilmelerine rağmen tam olarak yok edilememesinden bu kısımlar sıcaklık konturu dağılımlarında sıcaklık artışları ile kendisini göstermektedir

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, çapraz akış-çarpan jet akış olarak H=3D ve 4D yükseklikli birleşik jet akışlı kanallarda bulunan küp ve yamuk modellenmiş yüzeylerden olan ısı transferi kanatçiksiz ve 30° açılı olarak kanatçıkların çarpan jet girişinden itibaren N=2D olarak yerleştirilmesi durumunda sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal inceleme, üç boyutlu Navier-Stokes ve enerji denklemlerinin Ansys-Fluent paket programının kullanılarak sürekli şartlarda çözülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Kanal boyutlarına uygun olarak literatürdeki çalışmalar gözetilerek kanallara küp ve yamuk şekilli olmak üzere üçer adet model yerleştirilmiştir. Model yüzeylerine 1000 W/m² lik sabit ısı akışı uygulanırken, kanallarda akışkan olarak su ve %2 hacimsel konsantrasyonlu Elmas-Su nanoakışkanı kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçları, kanallardaki her bir şekilli yüzey sırası için ortalama Nu sayısı ve yüzey sıcaklığı değişimi olarak incelenirken, kanatçıkların ısı transferini artırmadaki potansiyeli neden oldukları basınç düşüşünü de değerlendirmek amacıyla performans değerlendirme sayısı (PEC) da dikkate alınmıştır. Bunun



Şekil 8. Su ve Elmas-Su nanoakışkanı için 30° kanatçıklı küp modellenmiş birleşik jet akışlı kanallarda PEC sayısının Re ile değişimi (Variation of PEC number with Re in cube-pattern combined jet flow channels with 30° fins for Water and Diamond-Water nanofluid)



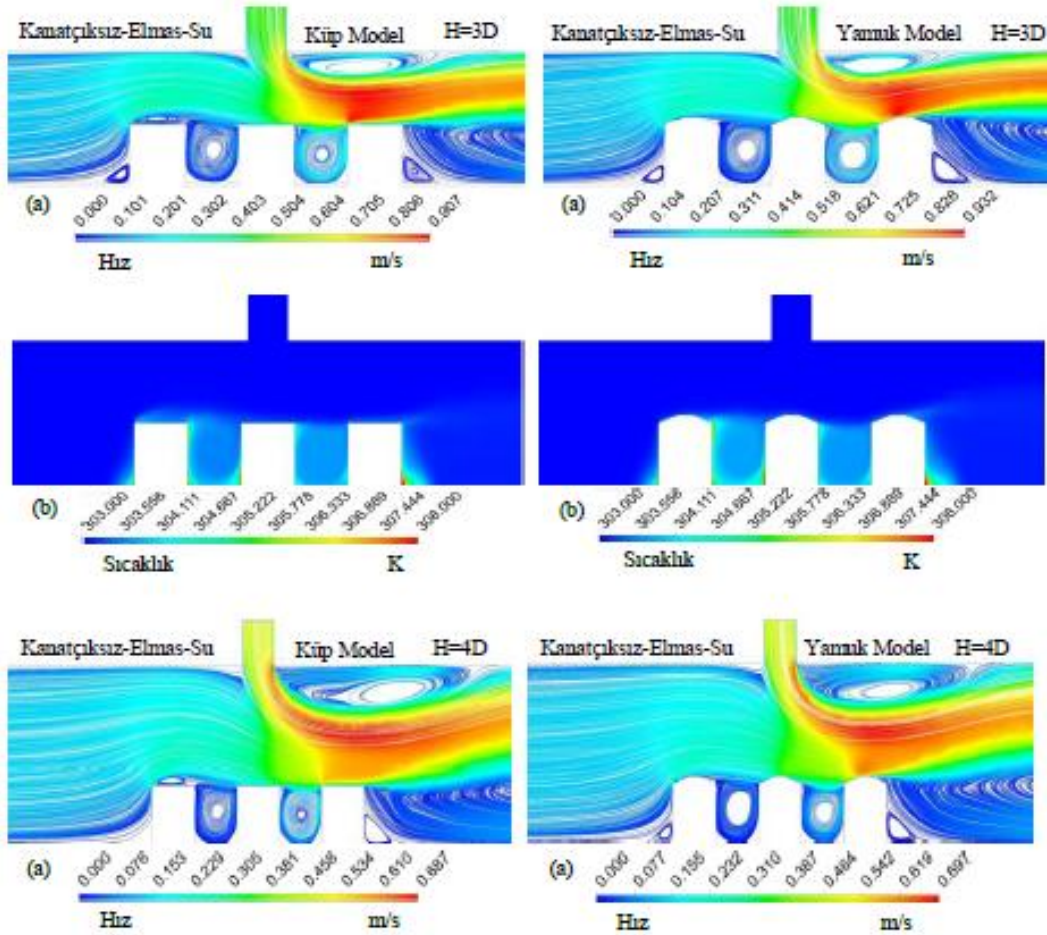
Şekil 9. Su ve Elmas-Su nanoakışkanı için 30° kanatçıklı yamuk modellenmiş birleşik jet akışlı kanallarda PEC sayısının Re ile değişimi (Variation of PEC number with Re in trapezoid-pattern combined jet flow channels with 30° fins for Water and Diamond-Water nanofluid)

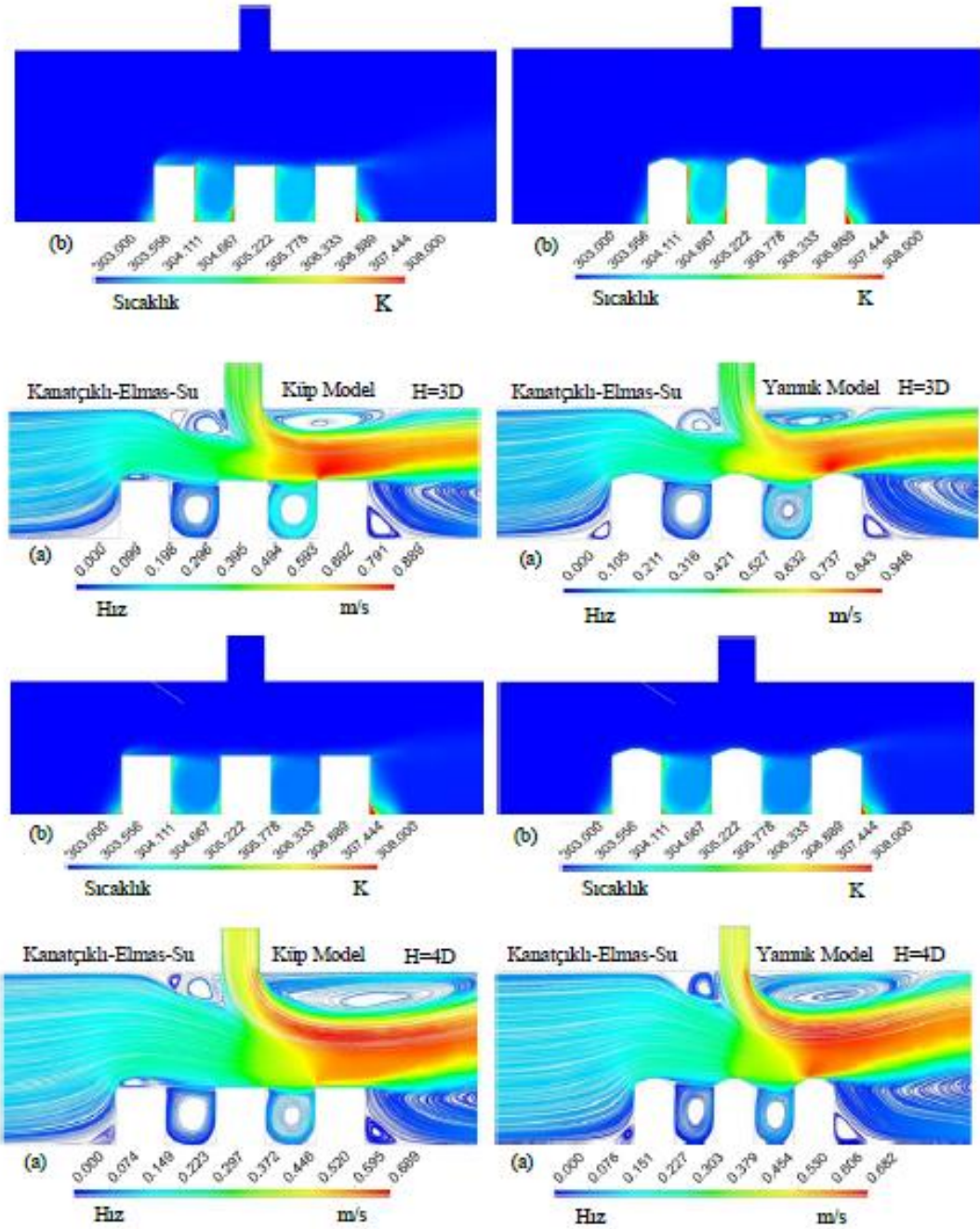
artışı elde edilmektedir. Kanatçıklı kanallarda H=4D olduğunda da kanatçiksiz kanallara göre birleşik jet akışı kanal girişine doğru Model 1 ve Model 2 yüzeylerine etki edebildiğinden şekilli yüzeylerin soğutma

yanı sıra, her üç şekilli yüzeyin tümü için hem su hem de nanoakışkan kullanılması durumlarında ortalama Nu sayısı (Nu_m) ve ortalama yüzey sıcaklık (T_m) değerleri

Çizelge 4. Su ve Elmas-Su nanoakışkanı kullanılan birleşik jet akışlı kanallarda bulunan her üç küp ve yamuk modellenli yüzey için Nu_m ve T_m değerleri (Nu_m and T_m values for all three cube and trapezoidal surfaces in combined jet flow channels using Water and Diamond-Water nanofluids)

$Re=7000$			H=3D		H=4D	
			Küp Model	Yamuk Model	Küp Model	Yamuk Model
Kanatçksız	Su	Nu_m	108,889	106,403	87,156	85,866
30° Kanatçıklı	Su	Nu_m	123,798	115,555	89,706	87,863
Kanatçksız	Elmas-Su	Nu_m	119,531	116,626	96,016	94,638
30° Kanatçıklı	Elmas-Su	Nu_m	135,181	126,530	98,496	96,842
Kanatçksız	Su	T_m (K)	305,544	305,611	306,615	306,680
30° Kanatçıklı	Su	T_m (K)	305,290	305,349	306,467	306,662
Kanatçksız	Elmas-Su	T_m (K)	305,135	305,191	306,062	306,109
30° Kanatçıklı	Elmas-Su	T_m (K)	304,926	304,968	305,952	306,114





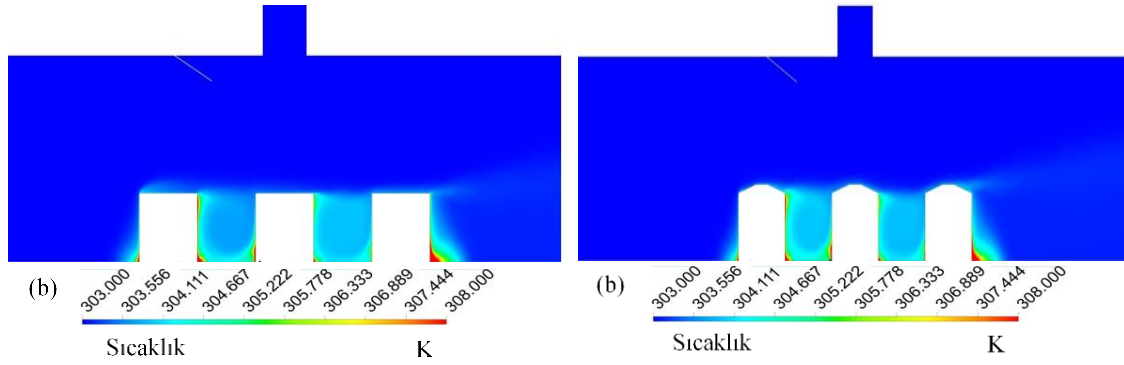
tablo şeklinde verilerek genel bir değerlendirme yapılmıştır. Ayrıca, kanallardaki birleşik jet akışı etkisi Elmas-Su nanoakışkanı için kanatçıksız ve kanatçıklı durumlarda farklı kanal yükseklikleri için hız ve sıcaklık konturu dağılımları sunularak görselleştirilmiştir. Buna göre bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda belirtildiği şekilde özetlenebilir:

- Her iki modele sahip kanal ve her üç model sırasında da 3D yükseklikli kanalda 4D yükseklikli kanala göre daha yüksek Nu sayısı değerleri elde edilirken genel itibariyle

Elmas-Su nanoakışkanının Nu sayısı değerleri su akışkanına göre daha fazladır.

- Kanallara kanatçık eklenmesiyle kanatçıksız duruma göre Nu sayısında artışlar elde edilmektedir.

- Kanallarda birinci sıradaki Model 1 incelendiğinde en yüksek ortalama Nu sayısı değerlerine yamuk şekilli yüzeylerde ulaşılmaktadır. H=3D kanal yüksekliği ve $Re=9000$ değerinde 30° kanatçık açılı kanalda Elmas-Su nanoakışkanı kullanılması durumunda su akışkanı kullanılan kanala göre ortalama Nu sayısı değerlerinde



Şekil 10. Kanatçıksız ve 30° kanatçıklı küp ve yamuk modeli birleşik jet akışlı kanallarda Elmas-Su nanoakışkanı için (a) hız (b) sıcaklık konturu dağılımları ($Re=7000$ ve $H=3D$ ve $4D$) ((a) Velocity (b) temperature contour distributions for Diamond-Water nanofluid in combined jet flow channels with finless and 30° fin cube and trapezoidal patterned)

sırasıyla küp ve yamuk şekilli (Model 1) yüzeylerde %8,9 ve %9,1' lik artışlar elde edilmektedir.

- Yamuk şekilli 1. sıradaki Model 1 için $Re=5000$ değerinde kanatçıklı ve 3D yükseklikli kanalda nanoakışkanın ortalama Nu sayısı, 4D yükseklikli kanaldan %29,1 daha fazladır.

- $Re=7000$ için $H=3D$ ' de su akışkanı kullanılan küp yüzeyli (Model 1) kanatçıklı kanalda, kanatçıksız kanala göre ortalama Nu sayısında %20'lik artış sağlanmaktadır.

- Kanallarda ikinci sırada bulunan Model 2' de küp modellenli yüzeyde tüm kanal kurulumları ve akışkan tipi kullanımlarında Model 1' e göre Nu sayılarında daha yüksek değerlere ulaşılmaktadır.

- $Re=9000$ ve $H=3D$ ' de küp şekilli Model 2 yüzeyinde kanatçıksız kanalda Elmas-Su nanoakışkanı kullanılması durumunda Model 1' e göre Nu sayısında %24,73 artış sağlanırken bu değer yamuk şekilli yüzey için %1,84 olmaktadır.

- Kanallarda üçüncü ve son sıradaki her iki şekilli (küp ve yamuk) Model 3 yüzeyleri için de Nu sayısı değerleri genel olarak Model 1 ve Model 2' ye göre daha fazladır.

- Model 3 için küp şekilli yüzeyin Nu sayısı değerleri, yamuk şekilli yüzeyden daha yüksektir. Bununla birlikte, yalnızca küp şekilli yüzeyde $Re=9000$ için her iki akışkan türü (su ve nanoakışkan) ve kanal yüksekliği durumlarında ($H=3D$ ve $4D$) Model 2' ye göre Nu sayısı değerleri biraz daha düşüktür.

- Her iki şekilli kanalda (küp ve yamuk) en düşük yüzey sıcaklığı değerlerine kanatçıklı ve $H=3D$ yükseklikli Elmas-Su nanoakışkanı kullanılması durumunda erişilirken, en yüksek yüzey sıcaklığı değerlerine ise Model 1 ve Model 2 için $H=4D$ yükseklikli kanatçıksız kanallarda su akışkanı için ulaşılmaktadır.

- Model 3' de $H=4D$ yükseklikli ve 30° kanatçık açılı kanallarda diğer durumlara göre daha yüksek yüzey sıcaklıkları elde edilmektedir.

- Kanallarda bulunan her üç şekilli yüzey dikkate alındığında, $H=3D$ ve kanatçıklı kanalda Elmas-Su nanoakışkanı kullanılması durumunda kanatçıksız ve su akışkanı kullanılan kanala göre küp ve yamuk şekilli

yüzeylerde Nu_m değerleri sırasıyla %24,14 ve %18,91 daha fazladır. Buna bağlı olarak da en düşük T_m değeri, $H=3D$ ' de kanatçıklı ve Elmas-Su nanoakışkanı kullanılan kanalda küp şekilli yüzey için elde edilmektedir.

- Her iki şekilli yüzey için de $H=3D$ yükseklikli kanallar için elde edilen PEC sayıları daha fazla iken su akışkanının PEC sayısı Elmas-Su nanoakışkanından daha yüksektir.

- $Re=9000$ için $H=3D$ ' de su akışkanının PEC değerinin nanoakışkandan küp ve yamuk şekilli yüzeyler için sırasıyla %0,62 ve %0,2 daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, birleşik jet akışlı kanallarda değişik şekilli model yüzeylerinden olan ısı transferinin artırılması; bağlı bulunduğu devrenin güvenli sıcaklık sınırları arasında çalışması bakımından büyük bir öneme sahiptir. Bu duruma, yüzeylerin sahip olduğu şekiller dışında kanaldaki akışkanı model yüzeylerine yönlendirmede kullanılan kanatçık kurulumu, kanaldaki akışkanın Re sayısı ve akışkanın termofiziksel özellikleri başlıca etkenler ol. Bu bağlamda bu çalışmada, suya göre daha yüksek ısı iletkenlik değerine sahip Elmas-Su nanoakışkanının kullanılmasının ısı transferini artırıcı özelliğinin yanında basınç düşüşü artışına olan etkisi de kanatçıklı ve kanatçıksız kanal durumları gözetilerek sunulmuştur.

SİMGELER (NOMENCLATURE)

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 [-]
h	Isı taşınım katsayısı [W/m^2K]
k_a	Akışkanın ısı iletkenliği [W/mK]
V	Akışkanın kanal girişindeki hızı [ms]
c_p	Akışkanın özgül ısısı [J/kgK]

p	Basınç [Pa]
q''	Desenli yüzeylerdeki ısı akısı [W/m ²]
N	Kanatçığın jet girişinden olan uzaklığı [mm]
T	Sıcaklık [K]
u _i	x, y ve z yönlerindeki hız bileşenleri [m/s]
Re	Reynolds sayısı [-]
Nu	Nusselt sayısı [-]
μ	Dinamik viskozite [kg/sm]
μ _t	Türbülans viskozitesi [kg/sm]
ν	Kinematik viskozite [m ² /s]
ρ	Akışkanın yoğunluğu [kg/m ³]
k	Türbülanslı akışın kinetik enerjisi [m ² /s ²]
ε	Türbülans dağılımı terimi [m ² /s ³]

ALT İNDİSLER (SUBSCRIPTS)

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

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

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

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZAR KATKILARININ BEYANI (DECLARATION OF AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI (CONFLICT OF INTEREST)

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Naga Ramesh K., Karthikeya Sharma T., Amba Prasad Rao G., "Latest advancements in heat transfer enhancement in the micro-channel heat sinks: a review", *Archives of Computational Methods in Engineering*, 28:3135-3165, (2021).
- [2] Alnak D.E., Karabulut K., "Computational analysis of heat and mass transfer of impinging jet onto different foods during the drying process at low Reynolds numbers", *Journal of Engineering Thermophysics*, 28:255-268, (2019).
- [3] Karabulut K., Alnak D.E., "Investigation of air jet impingement drying with forced convection of moist things" *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 25:387-395, (2019).
- [4] Alnak D.E., Karabulut K., "Analysis of heat and mass transfer of the different moist object geometries with air slot jet impinging for forced convection drying", *Thermal Science*, 22:2943-2953, (2018).
- [5] Kılıç M., "Elektronik sistemlerin soğutulmasında nanoakışkanlar ve çarpan jetlerin müşterek etkisinin incelenmesi", *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18:121-132, (2018).
- [6] Teamah M.A., Dawood M.M., Shehata A., "Numerical and experimental investigation of flow structure and behavior of nanofluids flow impingement on horizontal flat plate", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 74:235-246, (2015).
- [7] 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).
- [8] Karabulut K., Alnak D.E., "Dikdörtgen bir kanaldaki farklı desenli yüzey geometrilerinin ısı transferine olan etkilerinin incelenmesi", *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 183:37-49, (2021).
- [9] Demircan T., "Numerical analysis of cooling an electronic circuit component with cross flow and jet combination", *Journal of Mechanics*, 35:395-404, (2019).
- [10] 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*, 37:57-74, (2022).
- [11] 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).
- [12] Chang T.B., Yang Y.K., "Heat transfer performance of jet impingement flow boiling using Al₂O₃-water nanofluid", *Journal of Mechanical Science and Technology*, 28:1559-1566, (2014).
- [13] Datta A., Jaiswal A., Halder P., "Heat transfer analysis of slot jet impingement using nano fluid on convex surface", *IOP Conference Series-Materials Science and Engineering*, 402:012098, (2018).
- [14] Kumar D., Zunaid M., Gautam S., "Heat sink analysis in jet impingement with air foil pillars and nanoparticles", *Materials Today: Proceedings*, 46:10752-10756, (2021).
- [15] Selimefendigil F., Chamkha A.J., "Cooling of an isothermal surface having a cavity component by using CuO-water nano-jet", *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, 30:2169-2191, (2020).
- [16] 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 aluminum plate", *Micromachines*, 10:176, (2019).

- [17] Maxwell J.C., “A treatise on electricity and magnetism”, Clarendon Press, Oxford, UK, 1873.
- [18] Mohammed H.A., Gunnasegaran P., Shuaib N.H., “The impact of various nanofluid types on triangular microchannels heat sink cooling performance”, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 3: 767-773, (2011).
- [19] Karabulut K., Buyruk E., Kilinc F., “Experimental and numerical investigation of convection heat transfer in a circular copper tube using graphene oxide nanofluid”, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 42:5, (2020).
- [20] 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).
- [21] Karabulut K., Alnak D.E., “Investigation of the variation of cooling performance with the channel height in a channel having impinging jet-cross flow”, *ISPEC 12th International Conference on Engineering & Natural Sciences*, Bingöl, 273-290, (2021).
- [22] Genç M.S., “Numerical simulation of flow over a thin aerofoil at a high Reynolds number using a transition model”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 24:2155-2164, (2010).
- [23] Genç M.S., Kaynak U., Lock G.D., “Flow over an aerofoil without and with a leading- edge slat at a transitional Reynolds number”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 223: 217-231, (2009).
- [24] Karasu İ., Özden M., Genç M.S., “Performance assesment of transition models for three-dimensional flow over NACA4412 wings at low Reynolds numbers”, *Journal of Fluids Engineering*, 140: 121102, (2018).
- [25] Karasu İ., Genç M.S., Açikel H.H., “Numerical study on low Reynolds number flow over an aerofoil”, *Journal of Applied Mechanical Engineering*, 2:131, (2013).
- [26] Genç M.S., Kaynak Ü., Yapıcı H., “Performance of transition model for predicting low Re aerofoil flows without/with single and simultaneous blowing and suction”, *European Journal of Mechanics B/Fluids*, 30:218-235, (2011).
- [27] Genç M.S., Lock G., Kaynak U., “An experimental and computational study of low Re number transitional flows over an aerofoil with leading edge slat”, *The 26th Congress of ICAS*, Alaska, 77-88, (2008).
- [28] Genç M.S., Koca K., Açikel H.H., Özkan G., Kırış M.S., Yıldız R., “Flow characteristics over NACA4412 airfoil at low Reynolds number”, *EPJ Web of Conferences*, 114:02029, (2016).
- [29] Demir H., Özden M., Genç S.M., Çağdaş M., “Numerical investigation of flow on NACA4412 aerofoil with different aspect ratios”, *EPJ Web of Conferences*, 114:02016, (2016).
- [30] 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).
- [31] Karabulut K., “Heat transfer improvement study of electronic component surfaces using air jet impingement”, *Journal of Computational Electronics*, 18:1259-1271, (2019).
- [32] Karabulut K., Alnak D.E., “Study of cooling of the varied designed warmed surfaces with an air jet impingement”, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 26:88-98, (2020).
- [33] Alnak D.E., “Thermohydraulic performance study of different square baffle angles in cross-corrugated channel”, *Journal of Energy Storage*, 28:101295, (2020).
- [34] Ma C.F., Bergles A.E., “Boiling jet impingement cooling of simulated microelectronic chips”, *Heat Transfer In Electronic Equipment HTD*, 28:5-12, (1983)