



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Bakır Oksit-Su ve Elmas-Su Nanoakışkanlı Birleşik Jet Akışlı Kanallarda Isı Transferi ve Akış Yapılarının Değerlendirilmesi

 Koray KARABULUT^{a,*}

^a *Elektrik ve Enerji Bölümü, Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, TÜRKİYE*

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: kkarabulut@cumhuriyet.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.1183108

ÖZ

Bu çalışmada, sabit 1000 W/m^2 ısı akısına sahip dairesel oyuklu ve yamuk modellenmiş bakır plakalı yüzeylerden olan ısı transferi ve birleşik jet akışlı kanallardaki akış yapıları su, %2 hacimsel konsantrasyonlu CuO-Su (Bakır oksit)-Su ve Elmas-Su nanoakışkanları kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal çalışma, sürekli ve üç boyutlu olarak $k-\epsilon$ türbülans modeli Ansys-Fluent programının kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Kanallara ayrıca jet girişinden itibaren D jet giriş çapı ölçüsündeki sabit bir uzaklıkta (N) 45° ve 90° açılı kanatçıklar eklenmiştir. Kanal yüksekliği 3D iken; akışkanların Re sayısı aralığı 5000-15000'dir. Çalışmadan elde edilen sonuçların doğruluğu ve kabul edilebilirliği deneysel araştırmalar sonucu elde edilen eşitlik kullanılarak kanıtlanmıştır. Çalışmanın sonuçları, kanallardaki her bir model için ortalama Nu sayısının değişimleri olarak su ve nanoakışkanlar için kanatçiksiz ve kanatçıklı durumlarda karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, CuO-Su nanoakışkanı için birleşik jet akışın hız ve sıcaklık konturu dağılımları farklı kanatçık açıları için sunulmuştur. 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=5000 ve 15000 için analiz edilmiştir. Re=15000 için 90° kanatçıklı kanalda yamuk modellenmiş yüzeyde sırasıyla Elmas-Su ve Bakır oksit-Su nanoakışkanları kullanılması durumları için kanatçiksiz ve su akışkanı kullanılan kanallara göre Nu_m sayısında %27,57 ve %26,11'lik artışlar elde edilmiştir. Bunun yanı sıra, Re=15000 değerinde 90° açılı kanatçıklı kanallarda su akışkanı için PEC sayısı değerlerinin sırasıyla dairesel oyuklu ve yamuk modellenmiş yüzeylerde Elmas-Su ve CuO-Su nanoakışkanlarına göre %1,1-%1,31 ve %0,82-%0,63 daha fazla oldukları tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çapraz akış-çarpan jet birleşik jet akış, Nanoakışkan, Sayısal ısı transferi, Kanatçık

Evaluation of Heat Transfer and Flow Structures in Combined Jet Flow Channels with Copper Oxide-Water and Diamond-Water

ABSTRACT

In this study, heat transfer from circular hollow and trapezoidal model copper plate surfaces with a constant heat flux of 1000 W/m^2 and flow structures in combined jet flow channels were numerically investigated using water, 2% volumetric concentration CuO-Water (Copper oxide)-Water and Diamond-Water nanofluids. The numerical study was carried out steady and in three dimensions by using the Ansys-Fluent program with the $k-\epsilon$ turbulence model. In addition, 45° and 90° angled fins have been added to the channels at a fixed distance (N) in the size of the D jet inlet diameter from the jet inlet. While the channel height is 3D, the Re number range of the fluids is 5000-15000. The accuracy and acceptability of the results obtained from the study were proven by using the equation obtained as a result of experimental research. The results of the study were evaluated comparatively in

the finless and finned conditions for water and nanofluids as variations in the average Nu number for each model in the channels. Also, the velocity and temperature contour distributions of the combined jet flow for the CuO-Water nanofluid were presented for different fin angles. However, performance evaluation numbers (PEC) at different Reynolds numbers and mean Nu number (Nu_m) and surface temperature values (T_m) were analyzed for $Re=5000$ and 15000 for all three model surfaces in the channels. For $Re=15000$, 27.57% and 26.11% increases in the Nu_m number were obtained compared to the channels without fin and water-fluid for the use of Diamond-Water and Copper oxide-Water nanofluids, respectively, on the trapezoidal model surface in the 90° finned channel. In addition, the PEC number values for water fluid in channels with 90° angled fins at $Re=15000$ value were found to be 1.1%-1.31% and 0.82%-0.63 higher compared to Diamond-Water and CuO-Water nanofluids on the circular hollow and trapezoidal model surfaces, respectively.

Keywords: Combined jet flow with cross flow-impinging jet, Nanofluid, Numerical heat transfer, Fin

I. GİRİŞ

Elektronik elemanlardan olan ısı transferini artırmada kullanılan çapraz akış ile soğutma yöntemi, en yaygın 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 esasında olduğundan çok yüksek sıcaklıklardaki bileşenlerden olan ısı transferinde başarısız olabilir [1]. 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. 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 [2], [3]

Kilic ve ark., [4] bir tarafı açık ve üç tarafı kapalı kenarlardan oluşan dikdörtgen bir kanaldaki sabit ısı akılı ve bakır plakalı elektronik bileşenlerin tek bir hava jeti ile soğutulmaları üzerinde vorteks üreticinin etkisini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Türbülanslı akış için kullandıkları Re sayısı 8000 iken; elemanlara uygulanan sabit ısı akısı değeri 1000 W/m^2 dir. Isı transferinin girdap üreticinin yerleşimine, uzunluğuna ve açısal konumuna duyarlı olduğunu gözlemlemişlerdir. Kılıç ve Ullah [5] farklı Re sayılarında ($Re=6000-12000$) Realizable $k-\epsilon$ türbülans modelini kullanarak sayısal olarak farklı akışkanların ($\text{Cu-H}_2\text{O}$, $\text{CuO-H}_2\text{O}$, $\text{TiO}_2\text{-H}_2\text{O}$, H_2O) çapraz akışlı ısı değiştiricilerinde soğutma performanslarını araştırmışlardır. Suyu göre en iyi performans gösteren akışkan olan $\text{Cu-H}_2\text{O}$ nanoakışkanının ortalama Nu sayısını %6,63 artırdığını belirlemişlerdir. Bir diğer çalışmada; Kılıç ve Abdulvahitoğlu [6] bir araç radyatöründe nanoakışkanlar ve dönen jetler ile sayısal olarak ısı transferini çalışmışlardır. Çalışmada, baz soğutucu olarak tüm parametreler için $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$ nanoakışkanı seçilmiştir. Re sayısının 12000' den 21000' e artışı ile ortalama Nusselt sayısında (Nu) %51,3' lük bir artış elde edilmiştir. Dal ve ark., [7] hidrostatik yataklarda nanoparçacık ilaveli yağlayıcı akışkan kullanımının yük taşıma kapasitesine etkisi teorik olarak araştırılmışlardır. Yapılan çalışma ile nanoparçacık takviyeli yağlayıcı kullanımının hidrostatik yatakların yük taşıma kapasitesini arttırdığını ve yüksek hacimsel oranlar için nanoparçacık boyutunun performansa etkisinin daha baskın olduğunu belirlemişlerdir. Sabit ısı akılı bir elemandan çapraz akış-çarpan hava jetli akış ile olan ısı transferi Öztürk ve Demircan [8] tarafından sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmada 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 incelenmiştir. En yüksek ısı transferinin, jet giriş hızı/kanal giriş hızı oranının 3 ve 90° kanatçık açısında olduğu belirlenmiştir.

Nanoakışkanların kullanıldığı jet çarpmalı çalışmalar incelendiğinde; Chang ve Yang [9] $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Su}$ 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. Isı 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., [10] 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., [11] 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 bulduğunu saptamışlardır. Mikrokanaalın üst duvarında tırtıklı enjeksiyon jeti bulunan ve 0-40 Hartman yoğunluğunda manyetik alan kullanan bir mikrokanaal içindeki %0-6 Al_2O_3 -Su nanoakışkanın akışı Jalali ve ark., [12] tarafından incelenmiştir. Jet çarpma bölmeli alt mikro kanaal duvarı sabit bir sıcaklığa sahipken üst mikro kanaal 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. Selimefendigil ve Chamka [13] 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., [14] 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. Shi ve ark., [15] nano-alüminyum katkı maddelerinin yuvarlak su jetlerinin kararsızlığı üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. İki şeffaf lümenin içinde ve çıkışının yakınında akış görselleştirmesi, yüksek hızlı gölge görüntüleme tekniği ile elde edilmiş ve nanoparçacık katkı maddelerinin jet kararsızlığı üzerindeki etkilerine esas olarak, viskozite artışı ve kavitasyon teşvikinin neden olduğu belirlenmiştir.

Ulaşılan literatür incelemelerinden de görüldüğü gibi çarpan jetlerin olduğu bir çok çalışma mevcuttur. Ancak, nanoakışkanların kullanılarak çapraz akış-çarpan jet akışın birlikte uygulandığı birleşik jet akışlı çalışma sayısı oldukça az olmakla birlikte; bu çalışmada kullanılan CuO-Su ve Elmas-Su nanoakışkanların kullanılarak ısı transferi performanslarının kıyaslandığı bir çalışmaya literatürde rastlanamamıştır. Bununla birlikte, literatürde ulaşılan çalışmalarla kıyaslandığında kanalda daha düşük basınç düşüşüne karşı; daha yüksek ısı transferi oranlarına ulaşılabilmektedir. Ayrıca, bu çalışmada da kullanılan karbon kökenli nanoakışkanlardan olan Elmas-Su nanoakışkanı gibi metal ve metal oksit nanoakışkanlarına göre düşük nanoparçacık konsantrasyonları ile yüksek ısı transferi sağlayabilen karbon kökenli nanoakışkanlar son yıllarda araştırmacıların dikkatini çekmekte olup; özellikle çeşitli ısı değiştiricileri uygulamalarında kullanıldığı çalışmalar literatürde bulunmaktadır [16 -19].

Bu çalışmada, H=3D yükseklikli birleşik jet akışlı kanallardaki dairesel oyuklu ve yamuk desenli yüzeylerden olan ısı transferi ve akış yapıları su, %2 CuO-Su ve %2 Elmas-Su nanoakışkanları kullanılarak kanatçıksız, 45° ve 90° açılı kanatçıklı kanal durumları için sayısal olarak incelenmiştir. Kanal içerisinde bulunan elemanların farklı model yüzeyleri olarak seçilmesinin nedeni, birleşik jet akışın soğutulacak desenli yüzeyler üzerindeki temasının artırılmasını sağlamanın yanında; jet akışın bir

desenli model yüzeyine çarptıktan sonra tekrar kanal içerisindeki diğer modele doğru yönlendirmesini sağlayarak ısı transferi etkisini artırmaktır. Kanatçık, literatürde bulunan Öztürk ve Demircan [8] tarafından yapılan çalışma da göz önünde bulundurularak; kanaldan gelen çapraz akışın ilk sırada bulunan modeller üzerine daha iyi yönlendirilebilmesi ve modeller arası boşlukta bulunan akışkanın hızının artırılabilmesi etkileri dikkate alınarak; akışı engellemeyecek şekilde konumlandırılmıştır. Sayısal araştırma, sürekli ve üç boyutlu enerji ve Navier-Stokes denklemlerinin k-ε türbülans modeli Ansys-Fluent programı kullanılarak çözümlenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Kanatçık ve kanalın alt ve üst yüzeyleri adyabatik iken; desenli yüzeyler 1000 W/m²' lik sabit ısı akısına sahiptir. ([5], [20-22]). Bilindiği gibi aşırı ısınma elektronik elemanların yoğun çalışma yükü altında oluşmaktadır. Bu ısı yükü ile birlikte, elemanların sıcaklıkları 308 ila 353 K arasında değişen sıcaklıklara kadar ulaşabilmektedir. Bu çalışmada da sırasıyla dairesel oyuklu ve yamuk modeller için elde edilen yüzey sıcaklıkları 304-307 K aralığındadır. Bu nedenle, yüzeylere uygulanan sabit ısı akısı yaklaşımının doğru olduğu görülmektedir. Akışkanlar için çalışılan Reynolds sayısı aralığı 5000-15000' dir. Seçilen bu Re sayısı değerleri literatürde yapılan çalışmalar temel alınarak seçilmiş olup; hem jet Re sayısını (Re_j) hem de kanal Re sayısını (Re_k) temsil etmektedir. Buna bağlı olarak, örnek verecek olursak; çalışmada H=3D kanal yüksekliğinde; jet ve kanalda Elmas-Su nanoakışkan akışı için Reynolds sayısının 5000 olduğu değerlerde akış hızları sırasıyla V_j=0,335 m/s ve V_k=0,098 m/s olmaktadır. Re=15000 için ise bu değerler sırasıyla V_j=1,004 m/s ve V_k=0,293 m/s' dir. Dolayısıyla, literatürde ulaşılan çalışmalar da göz önüne alındığında hem jet hem de kanal akışı için çalışılan Re sayısı aralığı (Re=5000-15000) türbülanslı olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, bu çalışmada akış çapraz ve jet akış olmak üzere birleşik şekilde uygulanarak kanaldaki akışın yüzeyler üzerindeki etkisinin kontrol edilmesiyle ısı transferi artırılırken; akış kontrolünün aerodinamik açıdan da öneminin vurgulandığı literatürde farklı uygulamalar mevcuttur [23-28]. Çalışmada kullanılan nanoakışkanların termofiziksel özellikleri literatürde bulunan çalışmadaki eşitlikler ve nanoparçacık özellikleri kullanılarak bulunmuştur. Çalışmanın sonuçları, literatürdeki deneysel çalışma sonuçlarıyla kıyaslanmış ve uyumlu oldukları saptanmıştır. Sonuçlar, her bir dairesel oyuk ve yamuk model yüzeyi için ortalama Nu sayısının değişimleri olarak incelenmiştir. Bununla birlikte, birleşik jet akışlı kanallar için kanatçiksiz ve farklı kanatçık açılı kanallarda CuO-Su nanoakışkanının hız ve sıcaklık konturu dağılımları Re=13000 için sunulmuştur. Ayrıca, Re sayısının 5000 ve 15000 değerlerinde kanallarda bulunan tüm desenler için kanatçiksiz ve kanatçıklı durumlarda ortalama Nu sayısı (Nu_m) ve yüzey sıcaklık (T_m) değerleri değerlendirilmiştir. Ayrıca, kanatçıkların ve nanoakışkanın birleşik jet akışlı kanallarda kanatçiksiz ve su kullanılan durumlara göre Nu sayısı artışına karşı basınç düşüşleri, performans değerlendirme sayısı (PEC) göz önüne alınarak yorumlanmıştır.

II. BAKIR OKSİT-SU VE ELMAS-SU NANOAKIŞKANLARININ TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada kullanılan çalışma akışkanlarından olan %2 hacimsel konsantrasyonlu Bakır oksit-Su ve Elmas-Su nanoakışkanlarının termofiziksel özellikleri literatürde bulunan ve yaygın olarak kullanılan eşitlikler [29] yardımıyla elde edilmiş ve Su akışkanı ile Tablo 1' de gösterilmiştir. Çalışmada, akışkanların tez fazlı akışkan oldukları varsayımı ile modellemeler yapılmıştır. Bu yaklaşımdaki temel düşünce, nanoakışkanlardaki Bakır oksit ve Elmas nanoparçacıklarının düşük konsantrasyonları nedeniyle akışkanlarda çökelme ve topaklaşma sorunu yaşanmadan homojen bir şekilde dağılımları üzerinedir. Ayrıca, katı haldeki Bakır oksit ve Elmas nanoparçacıklarının termofiziksel özellikleri de literatürdeki ilgili çalışmadan alınmıştır [30].

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.

Nanoakışkanın özgül ısısı

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

Nanoakışkanın ısı iletkenliği

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

Nanoakışkanın viskozitesi

$$\mu_{nf} = \mu_{bf} (1 + 2,5\varphi) \quad (4)$$

Tablo 1. Termofiziksel özellikler (30°C)

| Özellikler | Su | Bakır oksit | Elmas | Bakır oksit-Su nanoakışkanı | Elmas-Su nanoakışkanı |
|-----------------------------|------------------------|-------------|--------|-----------------------------|-------------------------|
| k (W/mK) | 0,6172 | 20 | 1000 | 0,6639 | 0,6685 |
| ρ (kg/m ³) | 995,8 | 6500 | 3510 | 1105,884 | 1046,08 |
| c_p (J/kgK) | 4178,4 | 535,6 | 497,26 | 4105,54 | 4104,77 |
| μ (Ns/m ²) | 803,4x10 ⁻⁶ | - | - | 843,57x10 ⁻⁶ | 843,57x10 ⁻⁶ |

III. SAYISAL METOT

Model yüzeylerindeki çapraz akış-çarpan jet akışının zorlanmış taşınımlı ısı transferinin çözümünde Ansys-Fluent programı kullanılmıştır.

Akış ve ısı transferi, aşağıdaki gibi gövde kuvvetinin bulunmadığı sürekli, kanaldaki çapraz akış-çarpan jet akış nedeniyle gerçekleşen türbülanslı akış için kütle, momentum ve enerjinin korunumu denklemlerinden zaman ortalamalı olarak türetilen diferansiyel denklemlerin çözümleriyle yapılmıştır ([31-32]).

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 (k- ω , k-k_L- ω , k- ω SST) ([33-41]) 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 ([31]). Bu nedenle, literatürdeki çalışmalardan elde edilen sonuçlar da göz önünde bulundurularak bu çalışmadaki sayısal hesaplamalarda standart k- ϵ türbülans modeli kullanılmıştır.

Süreklilik denklemi

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

Momentum denklemi

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

Enerji denklemi

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

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

Türbülans kinetik enerji denklemi

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 ($\sigma_k=1$) türbülanslı kinetik enerji Pr sayısını belirtmektedir. Türbülanslı kinetik enerji üretimi (G_k) ve türbülanslı akışın viskozitesini (μ_t) gösteren eşitlikler aşağıdaki gibidir ([31], [35]).

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

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

Türbülans yutulma Pr sayısı σ_ε ile belirtilirken, $C_{1\varepsilon}=1.44$, $C_{2\varepsilon}=1.92$, $C_\mu=0.09$ ve $\sigma_\varepsilon=1.3$ değerlerine sahip olan eşitliklerdeki katsayılarıdır ([8], [30]).

Isı taşınım katsayısı h, Eş. 12 ve Nusselt sayısı (Nu) ise Eş. 13 ile hesaplanmaktadır ([8], [21]).

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

$$-k_a \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_y = h (T_a - T_y) \text{ ve } Nu = \frac{h(3m)}{k_a} \quad (13)$$

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 model yüzeyi boyunca noktasal ve ortalama ısı taşınım katsayısını (W/m².K), n ise yüzeye dik yön olup; model yüzeyi için ortalama Nu sayısı (Nu_m) aşağıda belirtilen eşitliklerden bulunmaktadır.

Desenli yüzey ortalama ısı taşınım katsayısı

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

Desenli 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 [8].

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

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

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.

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

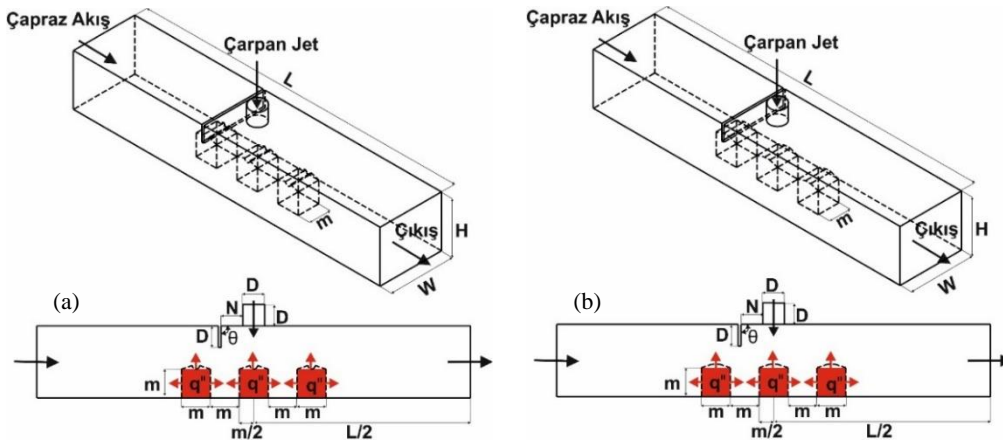
Bu eşitlikte, ΔP kanatçiksız ve kanatçıklı kanalların giriş ve çıkışları arasındaki basınç düşüşünü (Pa), f sürtünme faktörünü ve L kanalın uzunluğunu (m) temsil etmektedir.

Performans değerlendirme sayısı (PEC) ise aşağıda belirtilen Eş. 20 ile bulunmaktadır ([42]).

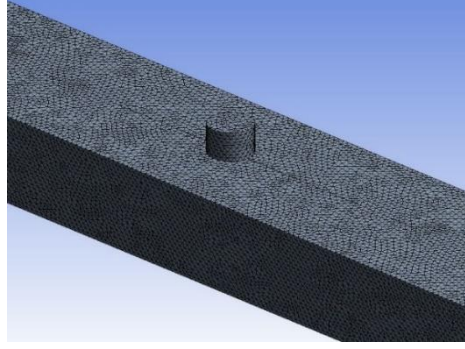
$$PEC = \frac{(Nu_{m-kanatçıklı} / Nu_{m-kanatçiksız})}{(\Delta P_{kanatçıklı} / \Delta P_{kanatçiksız})} \quad (20)$$

IV. MODEL GEOMETRİLERİ

Çalışmadaki çapraz akış-çarpan jet birleşik jet akışlı kanatçıklı kanallar ve kanallardaki dairesel oyuklu ve yamuk model yüzeylerine sahip elemanların ölçüleri Şekil 1 (a) ve (b)' de verilirken; kanalların boyutsal ölçüleri ise Tablo 2 (Öztürk ve Demircan [8])' de verilmiştir. Bunun yanı sıra, bu çalışmada yapılan kabuller ve sınır şartları Tablo 3' de sunulmaktadır. Ayrıca, birleşik jet akışlı kanalların sayısal hesaplamalarında kullanılan düzgün dörtyüzlü ağ yapısı Şekil 2' de gösterilmektedir.



Şekil 1. (a) dairesel oyuklu (b) yamuk modelli kanalların görünüşleri



Şekil 2. Kanalda kullanılan düzgün dört yüzüzlü ağ yapısının gösterimi

Tablo 2. Kanalların boyutsal ölçüleri (Öztürk ve Demircan [8])

| Değişken | Ölçü |
|----------|------------|
| D | 15 (mm) |
| L | 66D |
| W | 4D |
| H | 3D |
| M | 20 (mm) |
| θ | 45° ve 90° |
| N | D |

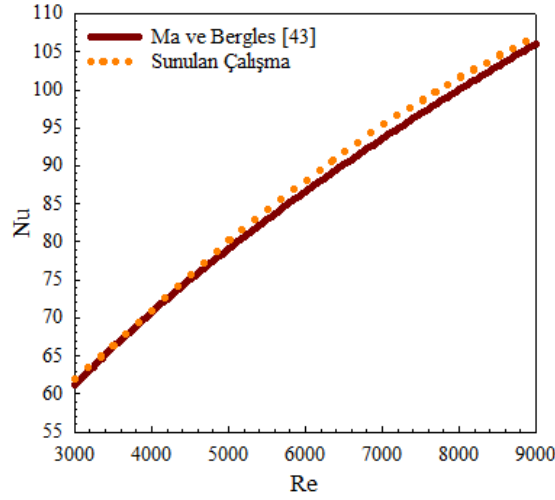
Tablo 3. Çalışmada uygulanan sınır şartları

| |
|---|
| a) Akış hacmi, sürekli, üç boyutlu ve türbülanslıdır |
| b) Sıkıştırılamaz akışkan olarak su, %2 CuO-Su ve Elmas-Su nanoakışkanları, 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, nanoakışkan ve desenli model yüzeylerinde ısı kaynağı bulunmamaktadır |
| f) Kanalın çıkış basıncı, atmosfer basıncına eşit olarak alınmıştır ($P_{ç}=P_{atm}$) |
| g) Kanalın çıkışındaki sıcaklık farkının ihmal edilebilecek kadar az miktarda olduğu kabul edilerek $\partial T/\partial x=0$ olarak belirlenmiştir |
| h) Kanal, kanatçık ve model yüzeylerinde kaymazlık sınır şartı olduğu ve bu nedenle bahsedilen yüzeylerde tüm hız bileşeni değerlerinin sıfır olduğu kabul edilmiştir. |

V. 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 [43]' in deneysel incelemeleri sonucunda ulaştıkları Eş. 21 kullanılarak ulaşılan sonuçlar karşılaştırılmış ve Ma ve Bergles [43]' in deneysel sonuçları ile sunulan çalışmanın sayısal sonuçlarının uyumlu ve tutarlı oldukları bulunmuştur.

$$\overline{Nu} = 1,29 Re^{0.5} Pr^{0.4} \quad (21)$$



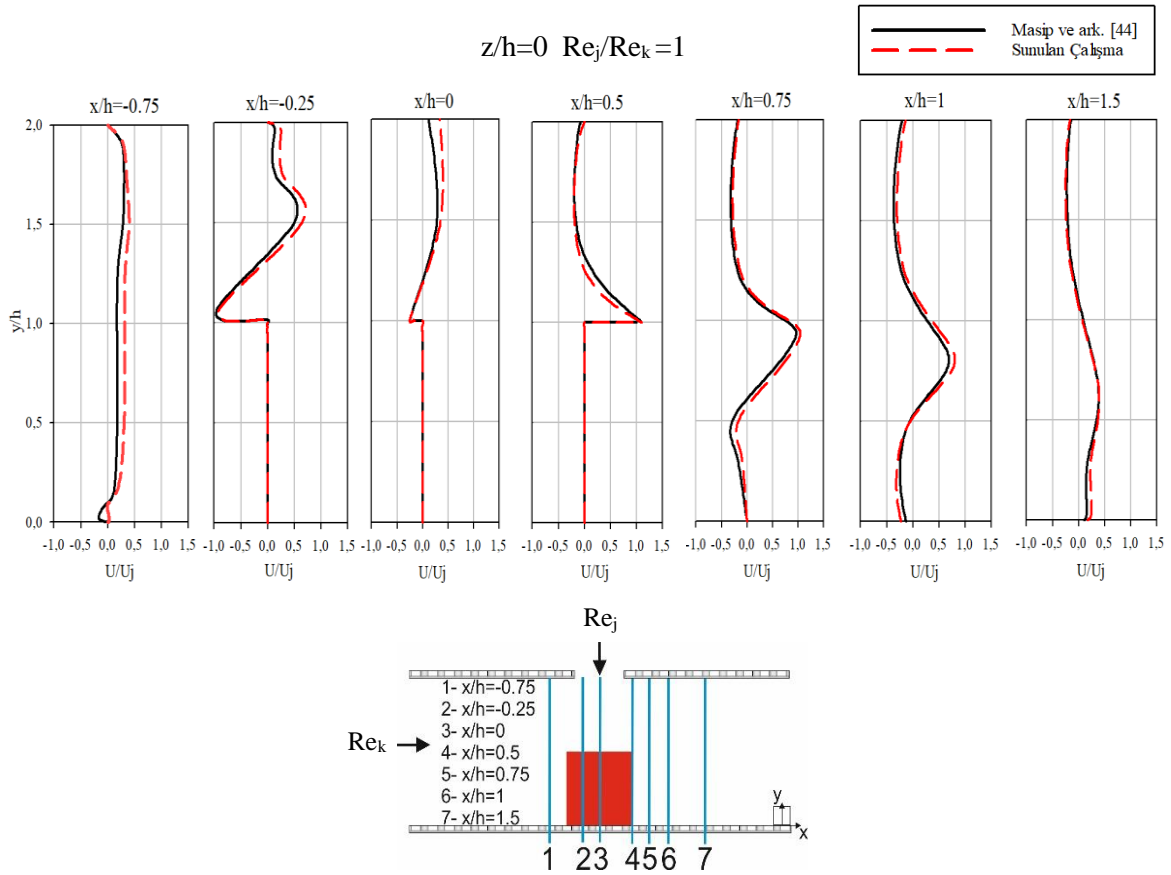
Şekil 3. Sunulan çalışma ve Ma ve Bergles [43]'in sonuçlarının karşılaştırılması

Ayrıca, literatürde Masip ve ark., [44]' nın çarpaz akış ve çarpan jet kombine akışına maruz kalan bir küp etrafındaki türbülanslı akışın deneysel olarak incelendiği çalışma ile bu çalışmanın sayısal sonuçları karşılaştırılmış ve Şekil 4' de gösterilmiştir. Masip ve ark., [44] çalışmalarında 2000x300x30mm boyutlarında bir kanal içerisine küp şeklinde bir eleman yerleştirmişlerdir. Kanalin bütün yüzeylerinin adyabatik olarak alındığı varsayılarak; jet Re sayısının (Re_j), kanal Re sayısına (Re_k) oranı eşit alınarak ($Re_j/Re_k=1$) elektronik elemanın etrafındaki akış yapıları farklı konumlarda (x/h) incelenmiştir. Şekil 4' den de görülebildiği gibi sunulan çalışma ile Masip ve ark., [44]' nın yapmış olduğu deneysel çalışma sonucu ulaşılan hız profillerinin birbirleri ile oldukça uyumlu oldukları saptanmıştır.

Ağ sayısı bağımsızlığını test ederek en uygun sayıda ağ sayısını saptamak için kanatçiksız birleşik jet akışlı kanaldaki ağ sayısının, ortalama Nu sayısı (Nu_m) üzerindeki etkisi farklı Reynolds sayılarında Tablo 4' de verilmiştir. Buna göre kanatçiksız kanal için 2022840 adet ağ elemanının güvenilir ve doğru sonucu vereceği belirlenmiştir.

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 |

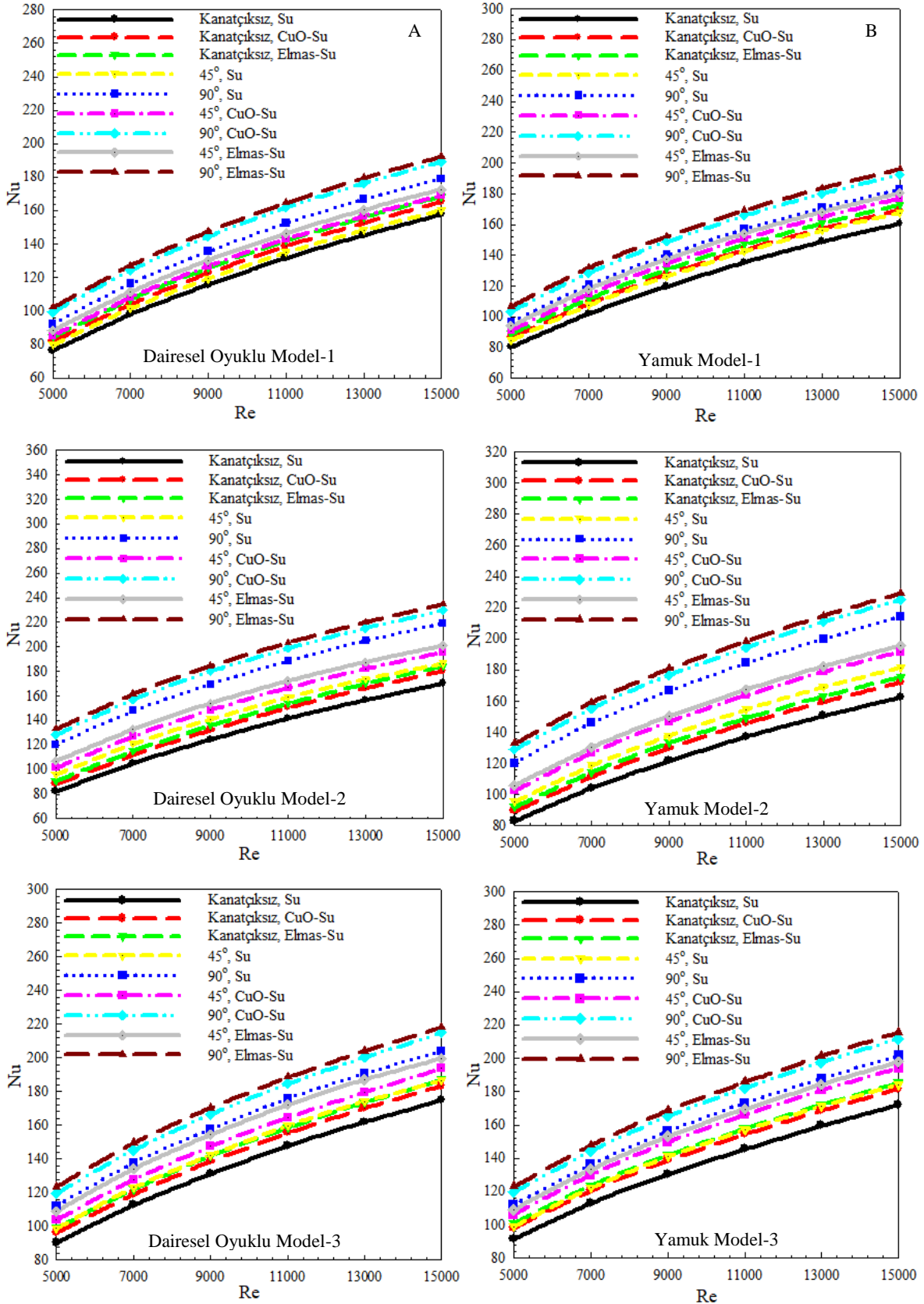


Şekil 4. Sunulan çalışma ve Masip ve ark., ([44])'nin sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 5. A ve B' de sırasıyla dairesel oyuklu ve yamuk modellenli bakır plakalı yüzeylere sahip, kanatçiksız, 45° ve 90° açılı kanatçıklı çapraz akış-çarpan jet birleşik jet akışlı kanallarda çapraz akışın olduğu kanal girişinden başlamak üzere model sıralarına göre ortalama Nu sayısının değişimleri Re sayısına bağlı olarak su, CuO-Su (Bakır oksit-Su) ve Elmas-Su nanoakışkanları için gösterilmektedir. Her iki modeli, çapraz akış-çarpan jet akışlı kanal için de en düşük Nu sayısı değerlerine kanatçiksız ve su akışkanı için ulaşılrken; kanallara kanatçık eklenmesiyle akışkanın desenli model yüzeyleri üzerine daha iyi yönlendirilmesiyle Nu sayısı değerleri artmaktadır. Çapraz akışın etkisi altında bulunan kanal girişine göre birinci sıradaki Model 1 yüzeyleri incelendiğinde kanatçık ve açı değişimleriyle birlikte akışkanın türüne karşı olan duyarlılıkları da Şekil 5. A ve B (a)' dan gözlemlenebilmektedir. $Re=9000$ değerinde 45° kanatçık açılı kanalda CuO-Su nanoakışkanı kullanılması durumunda, kanatçiksız ve su akışkanı olan birleşik jet akışlı kanala göre ortalama Nu sayısı artışları sırasıyla dairesel oyuklu ve yamuk modellenli yüzeyler için %9,75 ve %12,33 olmaktadır. Ayrıca, yamuk modellenli yüzeyler etrafında akışkanın daha iyi temasta bulunarak ısı transferi artışı dolayısıyla soğutma performansı etkisinin daha iyi olduğu söylenebilmektedir. Kanallar içerisinde ikinci sırada bulunan ortadaki Model 2 analiz edildiğinde; hem kanatçiksız hem de kanatçıklı kanallarda Model 1' e göre yüzeylerin sahip olduğu ortalama Nu sayısı değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu duruma, Model 2' nin çapraz akışa ek olarak doğrudan çarpan jet akışı etkisi altında bulunması neden olmaktadır. Çarpan jet akışı sonucu ısı transferinin gerçekleştiği ısı sınır tabaka kalınlığı azalarak, ısı transferinin artması sağlanmaktadır. Ayrıca, kanal girişinden gelen çapraz akış da çarpan jet akışı kitlesel olarak desenli model yüzeyleri üzerinden sürükleyerek; yerini daha soğuk olan kanal girişindeki akışkanın almasını sağlayıp ısı transferini artırıcı etki yapmaktadır. Bununla birlikte, $Re=13000$ için 90° kanatçık açılı birleşik jet akışlı kanallarda 45° açılı olanlara göre sırasıyla Elmas-Su ve Bakır oksit-Su nanoakışkanları kullanılması durumları için Model 2' de Model 1' e göre yamuk model yüzeyi için Nu sayılarının %8,7 ve %8,63 daha fazla oldukları bulunmuştur. Görüldüğü gibi kanatçık açısının 90°'ye çıkarılması hem çapraz akışın geçtiği kesit alanını daraltarak Model 2 üzerinde jet akış etkisi oluşmasını sağlarken; hem de Model 1 ve Model 2 arasında bulunan

yeniden dolaşım halindeki akışkanın hareketlenmesini sağlayarak Model 2 yüzeylerinden olan ısı transferini artırmaktadır. Kanalin sonunda bulunan Model 3' de ise kanatçiksız birleşik jet akışlı kanallarda, Model 1 ve 2' den gelen çapraz akış-çarpan jet akışı doğrudan Model 3 üzerine doğru hareket ettiğinden her üç akışkan için de (su, CuO-Su, Elmas-Su) Model 1 ve 2' ye göre Nu sayısı değerleri artarken; kanatçıklı kanallarda yüksek Re sayılarında akışkanın kanatçıklı yüzeyler üzerine ve modeller arasına yönlendirilmesiyle kanal sonunda bulunan ve birleşik jet akış etkisinin azaldığı Model 3' de Model 2' ye göre Nu sayılarında bir miktar azalma saptanmaktadır. $Re=15000$ ' de Model 3 için Model 2' ye göre 90° açılı kanatçıklı durumda sırasıyla dairesel oyuklu ve yamuk model yüzeylerinde Elmas-Su nanoakışkanı için %7,62 ve % 8,11' lik azalışlar görülmektedir.

Tablo 5' de Reynolds sayısının 5000 ve 15000 değerleri için çapraz akış-çarpan jet birleşik jet akışlı kanallarda bulunan her üç desenli dairesel oyuklu ve yamuk modellenli yüzeyler için kanatçiksız, 45° ve 90° açılı kanatçıklı durumlarda su, CuO-Su ve Elmas-Su nanoakışkanları kullanılarak elde edilen ortalama Nusselt sayısı (Nu_m) ve ortalama model yüzey sıcaklık (T_m) değerlerinin değişimleri sunulmaktadır. Her iki model yüzeyi ve her üç akışkan tipi için de kanatçiksız durumlarda Nu_m değerleri en düşük değerlerde iken; kanalın üst yüzeyine eklenen kanatçık sayesinde birleşik jet akışkanının model yüzeyleri üzerine yönlendirilmesiyle Nu_m değerleri artarken; T_m değerleri azalış göstermektedir. Özellikle nanoakışkanların (CuO-Su ve Elmas-Su) kullanılması durumlarında, akışkana eklenen nanoparçacıkların ısı transfer yüzey alanını artırması ve akışkan içerisinde türbülans oluşturucu etkisiyle hız sınır tabakasının model yüzeyleri üzerinde daha basık ve kanal merkezinde daha düz olması sağlanarak; model yüzeyleri üzerinde ısı sınır tabakasını inceltmesiyle ısı transferini artırıcı etki sağlayarak yüzeylerin soğuma performansını iyileştirmektedir ki bu durum Şekil 7' deki hız konturu dağılımlarında model yüzeyleri üzerindeki akışkanın hız artışlarından ve sıcaklık değişimlerinden anlaşılabilir. Bu nedenle, CuO-Su ve Elmas-Su nanoakışkanlarında Su akışkanına göre daha yüksek Nu_m ve daha düşük T_m değerleri elde edilmektedir. $Re=15000$ için 90° kanatçıklı kanalda Yamuk modellenli yüzeyde sırasıyla Elmas-Su ve Bakır oksit-Su nanoakışkanları kullanılması durumları için kanatçiksız ve su akışkanı kullanılan kanallara göre Nu_m sayısında %27,57 ve %26,11' lik artışlar olmaktadır. Aynı şartlarda, dairesel oyuklu desenli model yüzeyinde Nu_m değerinin artış oranları Elmas-Su ve Bakır oksit-Su nanoakışkanları için %28,48 ve %27,2' dir. Bununla birlikte, birleşik jet akışın yüzeyler üzerindeki temasının ve etrafındaki akışkan hareketinin daha iyi olduğu yamuk model için Nu_m değerleri; dairesel oyuklu model yüzeyleri için daha fazladır ve buna bağlı olarak artan ısı transferi nedeniyle T_m değerleri dairesel oyuklu modelden daha düşüktür.

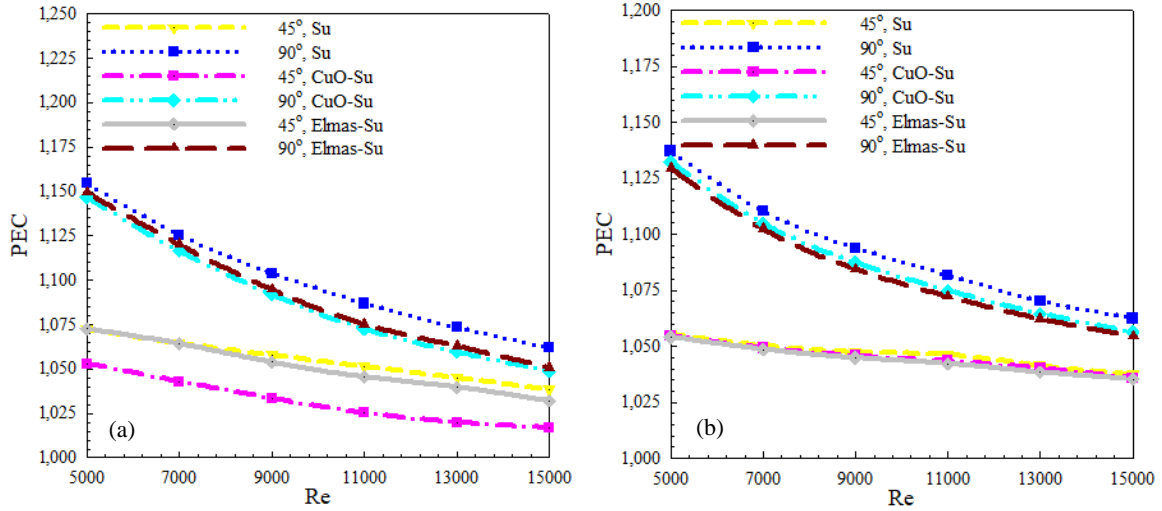


Şekil 5. Birleşik jet akışlı kanallarda bulunan A-Dairesel oyuklu B-Yamuk model yüzeyleri için kanal içerisindeki model diziliş sırasına göre ortalama Nu sayılarının Re sayısına göre değişimleri

Tablo 5. Birleşik jet akışlı kanallarda her üç dairesel oyuklu ve yamuk model yüzeyi için Nu_m ve T_m değerlerinin farklı akışkan tipleri ve Re sayılarında analizi

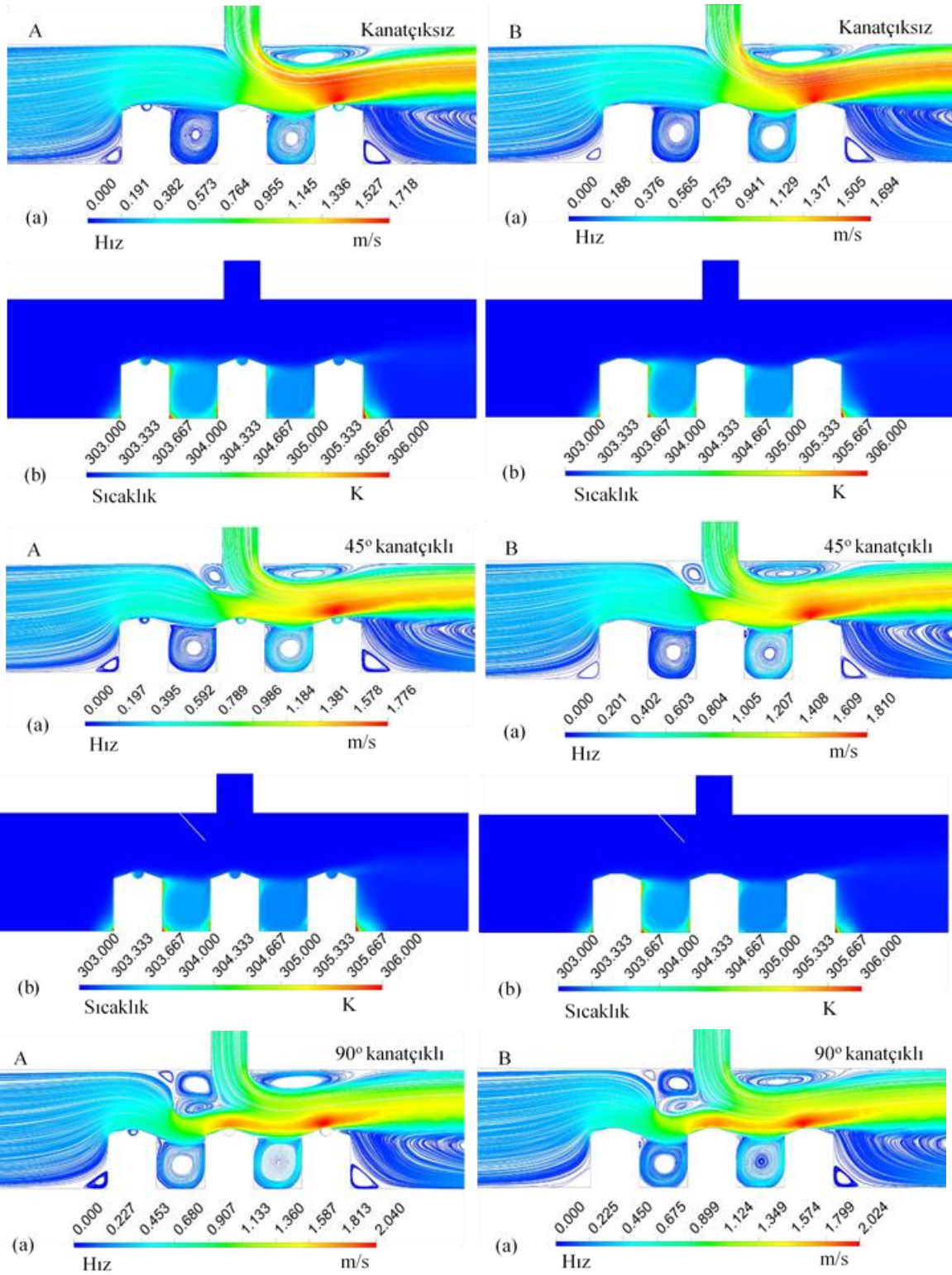
| | | | Re=5000 | | Re=15000 | |
|---------------------|----------|-----------|-----------------------------|----------------|-----------------------------|----------------|
| | | | Dairesel oyuklu model | Yamuk model | Dairesel oyuklu model | Yamuk model |
| Kanatçksız | Su | Nu_m | 82,872 | 84,891 | 164,992 | 167,493 |
| Kanatçksız | CuO-Su | Nu_m | 88,789 | 91,298 | 174,464 | 176,311 |
| Kanatçksız | Elmas-Su | Nu_m | 91,504 | 94,042 | 177,944 | 179,885 |
| 45° Kanatçık | Su | Nu_m | 91,580 | 93,125 | 176,901 | 177,797 |
| 90° Kanatçık | Su | Nu_m | 108,303 | 109,681 | 199,663 | 200,829 |
| 45° Kanatçık | CuO-Su | Nu_m | 96,955 | 100,083 | 186,239 | 187,703 |
| 90° Kanatçık | CuO-Su | Nu_m | 115,829 | 117,461 | 209,873 | 211,231 |
| 45° Kanatçık | Elmas-Su | Nu_m | 101,441 | 103,094 | 190,154 | 191,391 |
| 90° Kanatçık | Elmas-Su | Nu_m | 119,493 | 120,823 | 211,993 | 213,685 |
| Kanatçksız | Su | T_m (K) | 306,768 | 306,653 | 304,223 | 304,209 |
| Kanatçksız | CuO-Su | T_m (K) | 306,393 | 306,193 | 304,086 | 304,045 |
| Kanatçksız | Elmas-Su | T_m (K) | 306,256 | 306,061 | 304,043 | 304,003 |
| 45° Kanatçık | Su | T_m (K) | 306,494 | 306,338 | 304,138 | 304,112 |
| 90° Kanatçık | Su | T_m (K) | 305,613 | 305,501 | 303,85 | 303,819 |
| 45° Kanatçık | CuO-Su | T_m (K) | 306,045 | 305,915 | 303,973 | 303,961 |
| 90° Kanatçık | CuO-Su | T_m (K) | 305,265 | 305,176 | 303,716 | 303,707 |
| 45° Kanatçık | Elmas-Su | T_m (K) | 305,935 | 305,792 | 303,945 | 303,921 |
| 90° Kanatçık | Elmas-Su | T_m (K) | 305,181 | 305,082 | 303,703 | 303,678 |

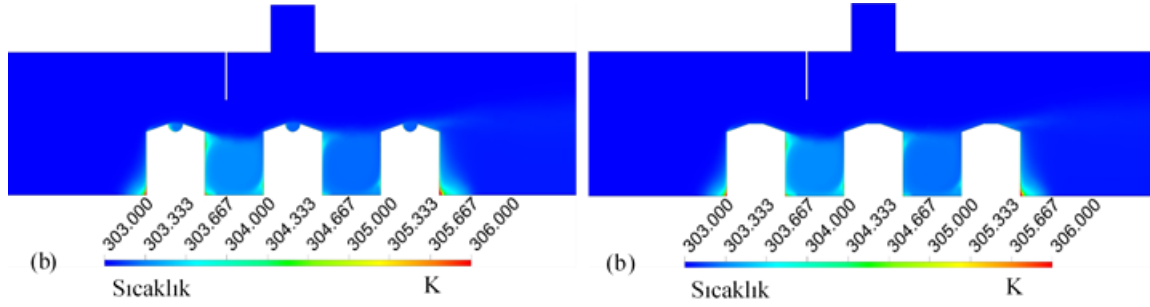
Şekil 6. (a) ve (b)' de $H=3D$ yükseklikli birleşik jet akışlı kanallardaki sırasıyla dairesel oyuklu ve yamuk model yüzeylerine ait performans değerlendirme sayısının (PEC) Re sayısı değişimleri, su akışkanı, CuO-Su ve Elmas-Su nanoakışkanları için farklı kanatçık açılarında (45° ve 90°) gösterilmektedir. PEC sayısı, birleşik jet akışlı kanallarda kanatçık kullanılması durumunda kanatçksız duruma göre ortalama Nu sayısı artışının basınç düşüşü artışına karşı olan performansını sergilemektedir. Bu nedenle, PEC sayısı fazla olan kanal ve akış şartlarının daha yüksek performanslı olduğu söylenebilir. Şekil 6' da her iki kanal için de en yüksek PEC değerine 90° kanatçık açılı kanalda su akışkanı için ulaşıldığı görülmektedir. Bununla birlikte, nanoakışkan için sudan daha fazla Nu sayısı değerleri elde edilirken; suya göre nanoakışkanın viskozitesinin daha yüksek olması sebebiyle sürtünme faktörü ve dolayısıyla kanaldaki basınç düşüşü daha fazla olduğundan PEC sayıları sudan daha düşüktür. $Re=15000$ değerinde 90° açılı kanatçıklı kanallarda su akışkanı için PEC sayısı değerlerinin sırasıyla dairesel oyuklu ve yamuk modellenli yüzeylerde Elmas-Su ve CuO-Su nanoakışkanlarına göre %1,1-1,31 ve %0,82-%0,63 daha fazla oldukları tespit edilmiştir. Ayrıca, yamuk model için PEC sayısı değerlerinin dairesel oyuklu modelden daha fazla oldukları grafiklerden görülebilmektedir. Bu durum, yamuk modellenli yüzeylerin dairesel oyuklu modellere göre kanal içerisinde Nu sayısı artışına karşın; daha düşük basınç düşüşüne sebep olduklarını belirtmektedir.



Şekil 6. (a) Dairesel oyuklu (b) yamuk model yüzeyleri için PEC sayısının Re sayısı ile değişiminin incelenmesi

Şekil 7. A ve B' de kanatçıksız, 45° ve 90° kanatçıklı birleşik jet akışlı kanallarda sırasıyla dairesel oyuklu ve yamuk model yüzeylerine ait (a) hız ve (b) sıcaklık konturu dağılımları CuO-Su nanoakışkanı için $Re=13000$ değerinde verilmektedir. Kanatçıksız durumda kanal girişindeki soldan birinci model olan Model 1, daha çok çapraz akışın etkisi altında olup; her iki model yüzeyi için de bu modeller etrafındaki hız değerleri düşüktür. Kanallarda ortadaki model olan Model 2 ise çapraz akışa ek olarak doğrudan çarpan jet akışın da etkisi altındadır. Bu nedenle bu model etrafındaki hız değerleri hız konturu dağılımlarından da görülebildiği gibi (Şekil 7. A, B (a) ve (b)) Model 1' e göre daha fazladır. Kanalın sonunda bulunan Model 3 etrafında akışkan hareketine bakıldığında kanatçıksız durumda kanal girişinden gelen çapraz akışın çarpan jete kanal sonuna doğru sürüklenmesiyle hız değerlerinin fazla olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak, özellikle Model 2 ve 3 için Model 1' e göre model yüzey ve akışkan sıcaklık değerlerinin daha düşük oldukları sıcaklık konturlarından saptanabilmektedir. Kanallara 45° açılı kanatçık eklendiğinde; akışkanın geçiş kesit alanı daraltıldığından her iki şekilli yüzey için Model 1 üzerinde akışkan hızlanma sağlanırken; Model 2 ve 3 üzerinde çarpan jete ilave olarak jet akış etkisi sağlanarak akışkan hızı artmaktadır. Böylece, model yüzeylerinden olan ısı transferi artarak soğuma iyileştirilmektedir. Bununla birlikte, kanatçıksız kanala göre çapraz akış; kanatçıklı model yüzeyleri (Model 1 ve 2) üzerine yönlendirilebildiğinden kanal sonundaki Model 3 üzerindeki akışkan hızı azalmaktadır. Kanatçık açısı 90°' ye çıkarıldığında ise akışkan, hem modeller üzerine hem de modeller arasına daha iyi temas edebildiğinden; hem modeller arası yeniden dolaşım bölgeleri hareketlendirilebilmekte hem de model yüzeyleri üzerinde jet akış etkisi artırılarak model yüzeylerinin soğuması iyileştirilmektedir. Bu nedenle, 90° kanatçık açılı durumda; hem kanatçıksız hem de 45° açılı durumdakine göre modeller arasında ve model yüzeyleri etrafında akışkan sıcaklıklarının daha düşük değerlere ulaştığı görülebilmektedir. Ayrıca, özellikle yamuk model için modeller etrafındaki sıcak akışkan bölgelerinin daha az düzeyde oldukları sıcaklık konturu dağılımlarından söylenebilir.





Şekil 7. A-Dairesel oyuklu ve B-Yamuk model için birleşik jet akışlı kanallarda kanatçiksız, 45° ve 90° kanatçık açılı durumlarda CuO-Su nanoakışkanı ve $Re=13000$ için (a) hız ve (b) sıcaklık konturu dağılımları

VI. GENEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, dairesel oyuklu ve yamuk modellen bakır plakalı yüzeylerden olan ısı transferi ve kanallardaki akış yapısı çapraz akış-çarpan jetten oluşan birleşik jet akışlı kanallarda kanatçiksız, 45° ve 90° açılı kanatçık eklenmesi durumları için Su, %2 hacimsel konsantrasyonlu CuO-Su (Bakır oksit-Su) ve Elmas-Su nanoakışkanları için sayısal olarak araştırılmıştır.

Bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verildiği şekilde özetlenebilir:

- Kanal girişine göre birinci sıradaki Model 1 için $Re=9000$ değerinde 45° kanatçık açılı kanalda CuO-Su nanoakışkanı kullanılması durumunda, kanatçiksız ve su akışkanı olan birleşik jet akışlı kanala göre ortalama Nu sayısı artışları sırasıyla dairesel oyuklu ve yamuk modellenli yüzeyler için %9,75 ve %12,33 olmaktadır.
- Model 2 analiz edildiğinde; hem kanatçiksız hem de kanatçıklı kanallarda Model 1' e göre yüzeylerin sahip olduğu ortalama Nu sayısı değerlerinin arttığı görülmektedir.
- $Re=13000$ için 90° kanatçık açılı birleşik jet akışlı kanallarda 45° açılı olanlara göre sırasıyla Elmas-Su ve Bakır oksit-Su nanoakışkanları kullanılması durumları için Model 2' de Model 1' e göre yamuk model yüzeyi için Nu sayılarının %8,7 ve %8,63 daha fazla oldukları bulunmuştur.
- Model 3 için ise kanatçiksız birleşik jet akışlı kanallarda, her üç akışkan için de (Su, CuO-Su, Elmas-Su) Model 1 ve 2' ye göre Nu sayısı değerleri artarken; kanatçıklı kanallarda yüksek Re sayılarında Model 3' de Model 2' ye göre Nu sayılarında bir miktar azalma saptanmaktadır.
- $Re=15000$ ' de Model 3 için Model 2' ye göre 90° açılı kanatçıklı durumda sırasıyla dairesel oyuklu ve yamuk model yüzeylerinde Elmas-Su nanoakışkanı için %7,62 ve % 8,11' lik azalışlar görülmektedir.
- Kanallardaki her üç model yüzeyi birlikte incelendiğinde; her iki model yüzeyi ve her üç akışkan tipi için de kanatçiksız durumlarda Nu_m değerleri en düşük değerlerde iken; kanala kanatçık eklenmesiyle Nu_m değerleri artarken; T_m değerleri azalış göstermektedir.
- Özellikle nanoakışkanların (CuO-Su ve Elmas-Su) kullanılması durumlarında, yüzeylerin soğuma performansları iyileşmektedir. Bu nedenle, CuO-Su ve Elmas-Su nanoakışkanlarında Su akışkanına göre daha yüksek Nu_m ve daha düşük T_m değerleri elde edilmektedir.
- $Re=15000$ için 90° kanatçıklı kanalda yamuk modellenli yüzeyde sırasıyla Elmas-Su ve Bakır oksit-Su nanoakışkanları kullanılması durumları için kanatçiksız ve Su akışkanı kullanılan kanallara göre Nu_m sayısında %27,57 ve %26,11' lik artışlar olmaktadır. Aynı şartlarda, dairesel oyuklu model yüzeyinde Nu_m değerinin artış oranları Elmas-Su ve Bakır oksit-Su nanoakışkanları için %28,48 ve %27,2' dir.
- Bununla birlikte, birleşik jet akışın yüzeyler üzerindeki temasının ve etrafındaki akışkan hareketinin daha iyi olduğu yamuk model için Nu_m değerleri; dairesel oyuklu model yüzeyleri için daha fazladır ve buna bağlı olarak artan ısı transferi nedeniyle T_m değerleri dairesel oyuklu modelden daha düşüktür.
- $Re=15000$ değerinde 90° açılı kanatçıklı kanallarda su akışkanı için PEC sayısı değerlerinin sırasıyla dairesel oyuklu ve yamuk modellenli yüzeylerde Elmas-Su ve CuO-Su nanoakışkanlarına göre %1,1- %1,31 ve %0,82- %0,63 daha fazla oldukları tespit edilmiştir. Ayrıca, yamuk model için PEC sayısı değerleri; dairesel oyuklu modelden daha fazladır.

- Hız ve sıcaklık konturu dağılımlarına bakıldığında; kanatçık açısı 90° ye çıkarıldığında model yüzeylerinin soğuması iyileştirilmekte ve böylece 90° kanatçık açılı durumda; hem kanatçıksız hem de 45° açılı durumdakine göre modeller arasında ve model yüzeyleri etrafında akışkan sıcaklıklarının daha düşük değerlere ulaştığı görülebilmektedir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimi tarafından desteklenmiştir (Proje no: TEKNO-2021-031).

VII. KAYNAKLAR

- [1] K. Naga Ramesh, T. Karthikeya Sharma, G. Amba Prasad Rao, "Latest advancements in heat transfer enhancement in the micro-channel heat sinks: a review," *Archives of Computational Methods in Engineering*, vol. 28, pp. 3135-3165, 2021.
- [2] M. Kılıç, "Elektronik sistemlerin soğutulmasında nanoakışkanlar ve çarpan jetlerin müşterek etkisinin incelenmesi," *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 18, s. 33 (3), ss. 121-132, 2018.
- [3] M. A. Teamah, M. M. Dawood, A. Shehata, "Numerical and experimental investigation of flow structure and behavior of nanofluids flow impingement on horizontal flat plate," *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 74, pp. 235-246, 2015.
- [4] M. Kılıç, A. Ullah, "Numerical investigation of effect of different parameter on heat transfer for a crossflow heat exchanger by using nanofluids," *Journal of Thermal Engineering*, vol. 7, no. 14, pp. 1980-1989, 2021.
- [5] M. Kilic, T. Calisir, S. Baskaya, "Experimental and numerical investigation of vortex promoter effects on heat transfer from heated electronic components in a rectangular channel with an impinging jet," *Heat Transfer Research*, vol. 48, no. 5, pp. 435-463, 2017.
- [6] M. Kılıç, A. Abdulvahitoglu, "Numerical investigation of heat transfer at a rectangular channel with combined effect of nanofluids and swirling jets in a vehicle radiator," *Thermal Science*, vol. 23, no. 6A, pp. 3627-3637, 2019.
- [7] A. Dal, M. Kılıç, A. Ö. Akyüz, A. D. Tuncer, A. Gungor, "Effects of lubricant fluid with nanoparticle additive on the load capacity of a hydrostatic journal bearing," *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, vol. 7, no. 2, pp. 753-762, 2020.
- [8] S. M. Öztürk, T. Demircan, "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*, vol. 37, no. 1, pp. 57-74, 2022.
- [9] T. B. Chang, Y. K. Yang, "Heat transfer performance of jet impingement flow boiling using Al₂O₃-water nanofluid," *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 28, no. 4, pp. 1559-1566, 2014.
- [10] A. Datta, A. Jaiswal, P. Halder, "Heat transfer analysis of slot jet impingement using nano fluid on convex surface," *IOP Conference Series-Materials Science and Engineering*, vol. 402, no. 012098, 2018.
- [11] D. Kumar, M. Zunaid, S. Gautam, "Heat sink analysis in jet impingement with air foil pillars and nanoparticles," *Materials Today: Proceedings*, vol. 46, no. 20, pp. 10752-10756, 2021.

- [12] E. Jalali, S. M. Sajadi, F. Ghaemi, D. Baleanu, "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*, vol. 147, pp. 8397-8409, 2022.
- [13] F. Selimefendigil, A. J. Chamkha, "Cooling of an isothermal surface having a cavity component by using CuO-water nano-jet," *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, vol. 30, no. 4, pp. 2169-2191, 2020.
- [14] M. F. Abdullah, R. Zulkifli, Z. Harun, S. Abdullah, W. A. Wan Ghopa, A. S. Najm, N. H. Sulaiman, "Impact of the TiO₂ nanosolution concentration on heat transfer enhancement of the twin impingement jet of a heated aluminum plate," *Micromachines*, vol. 10, no. 176, 2019.
- [15] W. Shi, F. Li, Q. Lin, G. Fang, "Experimental study on instability of round nanofluid jets at low velocity," *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 120, no. 110253, 2021.
- [16] F. Kılınç, E. Buyruk, K. Karabulut, "Experimental investigation of cooling performance with graphene based nano-fluids in a vehicle radiator", *Heat and Mass Transfer*, vol. 56, pp. 521-530, 2020.
- [17] K. Karabulut, E. Buyruk, F. Kılınç, "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*, vol. 42, no. 230, 2020.
- [18] K. Karabulut, E. Buyruk, F. Kılınç, "Grafen oksit nanoparçacıkları içeren nanoakışkanın taşınım ısı transferi ve basınç düşüşü artışı üzerindeki etkisinin düz bir boruda deneysel olarak araştırılması", *Mühendis ve Makina*, vol. 59, no. 690, pp. 45-67, 2018.
- [19] F. Kılınç, E. Buyruk, K. Karabulut, "Grafen tabanlı nanoakışkanların araç radyatörü soğutma performansı üzerindeki etkisinin deneysel analizi", *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 9, no. 2, pp. 1046-1056, 2019.
- [20] M. Kilic, T. Calisir, S. Baskaya, "Experimental and numerical study of heat transfer from a heated fat plate in a rectangular channel with an impinging air jet," *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol. 39, no. 1, pp. 329-344, 2016.
- [21] K. Karabulut, "Heat transfer improvement study of electronic component surfaces using air jet impingement," *Journal of Computational Electronics*, vol. 18, pp. 1259-1271, 2019.
- [22] D. E. Alnak, F. Koca, Y. A. Alnak, "Numerical investigation of heat transfer from heated surfaces of different shapes," *Journal of Engineering Thermophysics*, vol. 30, pp. 494-507, 2021.
- [23] K. Koca, M. S. Genç, E. Bayır, F. K. Soğuksu, "Experimental study of the wind turbine airfoil with the local flexibility at different locations for more energy output", *Energy*, vol. 239, no. Part A, pp. 121887, 2022.
- [24] K. Koca, M. S. Genç, R. Özkan, "Mapping of laminar separation bubble and bubble-induced vibrations over a turbine blade at low Reynolds numbers", *Ocean Engineering*, vol. 239, pp. 109867, 2021.
- [25] K. Koca, M. S. Genç, S. Ertürk, "Impact of local flexible membrane on power efficiency stability at wind turbine blade", *Renewable Energy*, vol. 197, pp. 1163-1173, 2022.
- [26] K. Koca, M. S. Genç, H. H. Açıkkel, M. Çağdaş, T. M. Bodur, "Identification of flow phenomena over NACA 4412 wind turbine airfoil at low Reynolds numbers and role of laminar separation bubble on flow evolution", *Energy*, vol. 144, pp. 750-764, 2018.

- [27] K. Koca, M. S. Genç, H. H. Açık, “Experimental investigation on effect of partial flexibility at low aspect ratio airfoil - Part II: Installation both on suction and pressure surface”, *EPJ Web of Conferences- Experimental Fluid Mechanics*, vol. 269, no. 01028, 2022.
- [28] K. Koca, M. S. Genç, D. Veerasamy, M. Özden, “Experimental flow control investigation over suction surface of turbine blade with local surface passive oscillation”, *Ocean Engineering*, vol. 266, no. Part 4-113024, 2022.
- [29] J. C. Maxwell, Preliminary on the Measurement of Quantities, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, England: Oxford University Press, 1873, pp. 6-10.
- [30] H. A. Mohammed, P. Gunnasegaran, N. H. Shuaib, “The impact of various nanofluid types on triangular microchannels heat sink cooling performance,” *International Communications in Heat and Mass Transfer*, no. 3, pp. 767-773, 2011.
- [31] S. J. Wang, A. S. Mujumdar, “A comparative study of five low Reynolds number k- ϵ models for impingement heat transfer”, *Applied Thermal Engineering*, vol. 25, pp. 31-44, 2005.
- [32] K. Karabulut, D. E. Alnak, “Investigation of graphene oxide-distilled water nanofluids with consideration of heat transfer and flow structure for backward-facing step flow,” *Journal of Engineering Thermophysics*, vol. 30, no. 2, pp. 300-316, 2021.
- [33] M.S. Genc, U. Kaynak, G. D. Lock, “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*, vol. 223, pp. 217-231, 2009.
- [34] M. S. Genç, “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*, vol. 24, pp. 2155-2164, 2010.
- [35] M. S. Genç, Ü. Kaynak, H. Yapıcı, “Performance of transition model for predicting low Re aerofoil flows without/with single and simultaneous blowing and suction,” *European Journal of Mechanics B/Fluids*, vol. 30, pp. 218-235, 2011.
- [36] M. S. Genc, Ü. Kaynak, “Control of laminar separation bubble over a NACA2415 aerofoil at low Re transitional flow using blowing/suction”, *International Conference on Aerospace Sciences and Aviation Technology, ASAT-13-AE-11, Cairo, Egypt, 2009.*
- [37] M. S. Genc, G. Lock, U. Kaynak, “An experimental and computational study of low Re number transitional flows over an aerofoil with leading edge slat”, *The 26th Congress of ICAS and 8th AIAA ATIO, AIAA-8877, Anchorage, Alaska, 2008.*
- [38] İ. Karasu, M. Özden, M. S. Genç, “Performance assessment of transition models for three-dimensional flow over NACA4412 wings at low Reynolds numbers”, *Journal of Fluids Engineering* vol. 140, no. 12, pp. 121102, 2018.
- [39] M. S. Genç, G. Ozisik, N. Kahraman, “Investigation of aerodynamics performance of NACA 00-12 aerofoil with plain”, *Journal of Thermal Science and Technology*, vol. 28, no. 1, pp. 1-8, 2008.
- [40] M. S. Genç, K. Koca, H. H. Açık, “Investigation of pre-stall flow control on wind turbine blade airfoil using roughness element”, *Energy*, vol. 176, pp. 320-334, 2019.
- [41] İ. Karasu, H. H. Açık, K. Koca, M. S. Genç, “Effects of thickness and camber ratio on flow characteristics over airfoils”, *Journal of Thermal Engineering*, vol. 6, no. 3, pp. 242-252, 2020.

- [42] D. E. Alnak, "Thermohydraulic performance study of different square baffle angles in cross-corrugated channel," *Journal of Energy Storage*, vol. 28, no. 101295, 2020.
- [43] C. F. Ma, A. E. Bergles, "Boiling jet impingement cooling of simulated microelectronic chips," *Heat Transfer in Electronic Equipment HTD*, vol. 28, pp. 5-12, 1983.
- [44] Y. Masip, A. Rivas, G. S. Larraona, R. Anton, J. C. Ramos, B. Moshfegh, "Experimental study of the turbulent flow around a single wall-mounted cube exposed to a cross-flow and an impinging jet," *International Journal of Heat and Fluid Flow*, vol. 38, pp. 50-71, 2012.