

## KANATÇIK UZUNLUĞUNUN DEĞİŞİMİNE GÖRE AG-SU NANOAKIŞKANI KULLANILAN ÇAPRAZ AKIŞ-ÇARPAN JETLİ KANALLARDA MODEL YÜZEYLERİNİN SOĞUMA PERFORMANSININ ANALİZİ

Arş. Gör. Dr., YELİZ ALNAK<sup>1</sup>, Doç. Dr., KORAY KARABULUT<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, ORCID ID: 0000-0003-4383-3806

<sup>2</sup>Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu,

- ORCID ID:0000-0001-5680-0988

### ÖZET

Sürdürülebilirlik, küresel iklim değişikliğinin daha çok hissedildiği ve temiz enerji üretiminin önem kazandığı günümüzün yaygın kullanılan bir terimidir. Bu terimin kökeninde var olan enerjinin verimli ve tasarruflu kullanılarak gelecek nesillerin ihtiyaçları için gerekli olan kaynakların tüketilmemesi bulunmaktadır. Bu kapsamda, teknolojik ilerlemeyle boyutları küçülürken; ısınma problemi ortaya çıkan elektronik cihazların soğutulabilmeleri sürdürülebilirlik açısından gerekli bir durumdur. Tek bir soğutma yöntemi yerine çapraz akış ve çarpan jetli soğutma yönteminin birlikte uygulanması ısı transferini artırıcı yüksek performanslı bir durum oluşturmaktadır. Bu çalışmada, yamuk ve çıkıntılı modellerden olan ısı transferi kanatçiksiz, 45° ve 90° açılı kanatçıklı çapraz akış-çarpan jet akışlı H=4D yükseklikli kanallarda su ve Ag-Su nanoakışkanı kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir. Kanatçıklar, çarpan jet girişinden itibaren kanala sabit N=2D uzaklıkta yerleştirilmiş olup; kanatçık uzunlukları K=D ve K=2D olarak alınmıştır. Sayısal araştırma, zamandan bağımsız ve üç boyutlu olarak enerji ve Navier-Stokes denklemlerinin Ansys-Fluent programı kullanılarak k-ε türbülans modeli ile çözümlenerek gerçekleştirilmiştir. Kanatçık ve kanalın alt ve üst yüzeyleri adyabatik iken; model yüzeylerine 1000 W/m<sup>2</sup> lik sabit ısı akısı uygulanmıştır. Akışkanlar için çalışılan Reynolds sayısı aralığı 7000-11000'dir. %2 hacimsel konsantrasyonlu Ag-Su nanoakışkanın termofiziksel özellikleri literatürde bulunan denklemler yardımıyla elde edilmiştir. Çalışmanın sonuçları literatürdeki deneysel çalışma sonucu elde edilen korelasyonla karşılaştırılmış ve sonuçların uyumlu oldukları bulunmuştur. Sonuçlar, kanallardaki her bir yamuk ve çıkıntılı model yüzeyi için kanatçık uzunluğuna bağlı olarak ortalama Nu sayısının değişimleri olarak analiz edilmiştir. Ayrıca, Re=11000 değerinde farklı kanat açıları ve uzunlukları için Ag-Su nanoakışkanının hız-akım çizgisi ve sıcaklık konturu dağılımları görselleştirilmiştir. Reynolds sayısının 11000 değerinde K=D, K=2D ve kanallardaki tüm model yüzeyleri için su ve Ag-Su nanoakışkanı kullanılması durumlarında karşılaştırmalı olarak ortalama Nu sayısı (Nu<sub>o</sub>) ve model yüzey sıcaklık değerleri (T<sub>o</sub>) incelenmiştir. Re=11000' de 90° açılı ve K=2D kanatçık uzunluklu kanalda Ag-Su nanoakışkanı için kanatçiksiz ve su akışkanı kullanılan kanala göre N<sub>o</sub> değerinin sırasıyla yamuk ve çıkıntılı model yüzeylerinde %89,28 ve %117,39 arttıkları bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Çapraz Akış-Çarpan Jet Akışı, Nanoakışkan, Ag-Su, Kanatçık uzunluğu

## ANALYSIS OF THE COOLING PERFORMANCE OF MODEL SURFACES IN CROSS-FLOW-IMPINGING JET CHANNELS USING AG-WATER NANOFLUID ACCORDING TO THE CHANGE OF FIN LENGTH

### ABSTRACT

Sustainability is a widely used term today, where global climate change is felt more and clean energy production gains importance. The origin of this term is the efficient and economical use of existing energy and not consuming the resources necessary for the needs of future generations. In this context, while its dimensions are getting smaller with technological progress; the cooling of electronic devices with heating problems is a necessary condition in terms of sustainability. The application of cross flow and impinging jet cooling method together instead of a single cooling method creates a high-performance situation that increases heat transfer. In this study, heat transfer, which is one of the trapezoidal and ribbed models, was numerically investigated using water and Ag-Water nanofluids in  $H=4D$  height channels with cross flow-impinging jet flow with  $45^\circ$  and  $90^\circ$  angled fins. The fins are located at a constant  $N=2D$  distance from the impinging jet inlet to the channel; fin lengths are taken as  $K=D$  and  $K=2D$ . Numerical research was carried out by solving energy and Navier-Stokes equations with the  $k-\epsilon$  turbulence model using the Ansys-Fluent program, in three dimensional and steady. While the upper and lower surfaces of the fin and channel are adiabatic; a constant heat flux of  $1000 \text{ W/m}^2$  was applied to the model surfaces. The Reynolds number range studied for fluids is 7000-11000. Thermophysical properties of Ag-Water nanofluid with 2% volumetric concentration were obtained with the help of equations found in the literature. The results of the study were compared with the correlation obtained as a result of the experimental study in the literature and the results were found to be compatible. The results were analyzed as variations in the mean Nu number depending on the fin length for each trapezoidal and ribbed pattern surface in the channels. In addition, velocity-streamline and temperature contour distributions of Ag-Water nanofluid were visualized for different fin angles and lengths of  $Re=11000$ . The mean Nu number ( $Nu_o$ ) and model surface temperature values ( $T_o$ ) were investigated comparatively when the Reynolds number was 11000,  $K=D$ ,  $K=2D$ , and water and Ag-Water nanofluids were used for all model surfaces in the channels. It was found that the  $Nu_o$  value increased by 89.28% and 117.39% on the trapezoidal and ribbed model surfaces, respectively, in the  $90^\circ$  angled and  $K=2D$  fin length channel at  $Re=11000$ , compared to the finless and water-fluid channel for Ag-Water nanofluid.

**Keywords:** Cross flow-Impinging jet flow, Nanofluid, Ag-Water, Fin Length

### 1. GİRİŞ

Sürdürülebilir bir gelecek için enerji kaynaklarının verimli ve tasarruflu kullanılarak gelecek nesillerin ihtiyaçları da gözetilmelidir. Bu kapsamda, teknolojik ilerlemeyle boyutları

küçülürken; ısınma problemi ortaya çıkan elektronik cihazların soğutulabilmeleri sürdürülebilirlik açısından gerekli bir durumdur.

Soğuk akışkanın bir fan ile elektronik devrenin tüm bileşenlerin üzerine gönderilmesi ve böylece tüm bileşenlerin soğutulması prensibine dayanan çapraz akışlı ısı transferi yöntemi en yaygın kullanılan uygulamalardan biridir. Bir başka ısı transfer yöntemi, soğuk sıvının bir lüle ile yüksek sıcaklığa sahip bir eleman üzerine yerel olarak püskürtüldüğü çarpan jet soğutmadır. Bu nedenle, tek tip soğutma yöntemi ile tüm devreyi güvenli bir şekilde tutabilecek şartlara ulaşmak zordur. Çarpan jet ve çapraz akışlı soğutma yönteminin birlikte uygulanması, yüksek soğutma kapasiteli faydalı bir durum yaratabilmektedir (Kılıç, 2018; Teamah ve ark., 2015).

Literatürde sadece çapraz akış veya sadece jet akışını değerlendiren birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışma için incelenen model daha çok jet akışına benzediğinden, literatür taraması daha çok jet akışına odaklanmıştır. Ancak, literatürde çarpan jetlerle ilgili birçok sayısal ve deneysel çalışma bulunmaktadır. Karabulut ve Alnak, (2020) dikdörtgen kesitli kanallarda tek bir hava jeti akımı kullanarak sur ve dikdörtgen şeklinde farklı desenlere sahip bakır levha yüzeylerinden ısı transferini sayısal olarak incelemiş olup; jet ile levha arasındaki mesafeyi ( $H/D_h$ ) boyutsuz olarak 4-10 arasında almışlardır. Yaptıkları araştırma sonucunda Reynolds sayısının 4000 ve jet ile plaka arasındaki mesafenin 4 olduğu değer için dikdörtgen desenli yüzeylerde sur desenli yüzeylere göre ortalama %31,45 daha yüksek Nu sayısı değeri bulmuşlardır. Zou ve ark. (2022) deneylerinde ve sayısal simülasyonlarında hava soğutma sürecinde arayüzey ısı transferini ve gaz akışını araştırmak için yüksek hızlı sıkıştırılmış hava çarpmasını kullanmışlardır. Çalışmada, numune çapının ve jet mesafesinin akış yapısı ve sıcaklık alanı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, jet mesafesi ne kadar küçükse ara yüzey ısı transfer katsayısının o kadar büyük olduğunu göstermiştir. Demircan, (2019) elektronik devre elemanından çapraz akışlı jet ile ısı transferini sayısal olarak incelemiştir. Re sayısı ve hız oranlarının iyileştirilmesi ile ısı transferinin önemli ölçüde arttığı sonucuna varılmıştır. Sabit bir ısı akısı elemanı üzerinde çarpan hava jeti-çapraz akış birlikteliği ile ısı transferi Öztürk ve Demircan (2022) tarafından sayısal olarak incelenmiştir. Araştırmacılar yaptıkları çalışmada, farklı jet giriş hızı/kanal giriş hız oranları (0, 1, 2 ve 3) ve kanatçıkların farklı açıları ( $0^\circ$ ,  $22.5^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $67.5^\circ$  and  $90^\circ$ ) için kanaldaki tek bir elemandan ısı transferini araştırmışlardır. Kanal yüksekliğinin jet çapına oranı sabit ve 3 alınırken; kanalda akışkan olarak hava kullanılmıştır. Giriş hızının kanal giriş hızına oranı 3 ve kanat açısı  $90^\circ$  olduğunda elemandan en yüksek ısı transferine ulaşıldığı belirlenmiştir.

Nanoakışkanların kullanıldığı jet çarpma çalışmaları incelendiğinde Kumar ve ark. (2021) ısı transfer oranını artırmak için jet çarpma durumunda hava profilli kolonlarla birleştirilmiş bir ısı alıcı kullanmışlardır. Bunu yaparken araştırmalarında su ve %1 konsantrasyonlu CuO-Su nanoakışkanından yararlanılmıştır. Elde ettikleri sonuçlarda, jet akışkanı olarak su akışkanı kullandıklarında ısı alıcı sıcaklığında %10'luk bir azalma; nanoakışkan kullandıklarında ise sıcaklık düşüşünün %14 olduğunu bulmuşlardır. Selimefendigil ve Chamka (2020) bir CuO-Su nano jet kullanarak oyuk benzeri bir parça ile sabit sıcaklıklı bir yüzeyin soğutulmasında

konveksiyonla ısı transferi özelliklerini sayısal olarak analiz etmeyi amaçlamışlardır. Reynolds sayısı (100-400), farklı oyuk uzunlukları (5w-40w) ve yükseklikleri (w-5w) gibi farklı değerlerde nanoparçacığın hacimsel konsantrasyonunu (%0-4) değiştirerek çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. En yüksek hacimsel konsantrasyonda su yerine nanoakışkan kullanıldığında ortalama ısı transferinin %35-46 arttığını bulmuşlardır. Abdullah ve ark. (2019) deneysel analizle alüminyum levha yüzeyine çarpan çift jetin ısı transferi üzerindeki  $TiO_2$  nano çözelti konsantrasyonunun etkisini araştırdı. Bunun dışında çift jetin lüle mesafesi ve lüle-plaka mesafesi değişken olarak ele alınmıştır. Bu verilere dayanarak çift jetin akış yapısının ısı transferi artışını etkileyen önemli bir durum olduğunu bulmuşlardır. Datta ve ark. (2018) dışbükey bir yüzeye çarpan kapalı bir yarık jetinde  $Al_2O_3$ -Su nanoakışkanı kullanarak ısı transfer performansını araştırmak için sayısal bir simülasyon gerçekleştirmişlerdir. Sistemin akış davranışını ve taşınım ısı transfer performansını araştırmak için çeşitli Reynolds sayıları ve jet ile plaka arasındaki mesafe gibi farklı parametreler dikkate alınmıştır. Jet girişi Reynolds sayısının artmasıyla ortalama Nusselt sayısının ve ısı transfer katsayısının önemli ölçüde arttığını belirlemişlerdir. Shi ve ark. (2021) nano-alüminyum katkı maddelerinin yuvarlak su jetlerinin kararsızlığı üzerindeki etkilerini deneysel olarak araştırmışlardır. Yüksek hızlı gölge görüntüleme tekniği ile iki şeffaf lülenin çıkışında ve çıkışına yakın akış görselleştirmesi yapılmış ve nanoparçacık katkılarının jet kararsızlığı üzerindeki etkilerinin esas olarak viskozite artışı ve kavitasyon teşvikinden kaynaklandığı belirlenmiştir.

Literatür taramalarından da görülebileceği gibi çarpan jetler ile ilgili birçok çalışma bulunmakla birlikte, ulaşılan literatür araştırmalarından da görüldüğü üzere yüksek iletkenlik özelliğiyle yeni nesil bataryalarda da kullanılan Ag (gümüş) metalinden elde edilen Ag-Su nanoakışkanı kullanarak çarpan jet ve çapraz akışın birlikte uygulandığı kombine jet akış çalışmalarına rastlanamamıştır. Bunun yanı sıra, bu çalışmadaki gibi kanal, kanatçık ve model tasarımları da literatürde özgün bir değere sahiptir.

Bu çalışmada, yamuk ve çıkıntılı model yüzeylerinden olan ısı transferi ve kanallardaki akış yapıları kanatçiksız,  $45^\circ$  ve  $90^\circ$  açılı kanatçıklı birleşik jet akışlı  $H=4D$  yükseklikli kanallarda su ve Ag-Su nanoakışkanı kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir. Kanatçıklar, çarpan jet girişinden  $N=2D$  konumunda yerleştirilmiş olup; kanatçık uzunlukları  $K=D$  ve  $K=2D$  olarak alınmıştır. Sayısal araştırma, zamandan bağımsız ve üç boyutlu olarak enerji ve Navier-Stokes denklemlerinin Ansys-Fluent programı kullanılarak  $k-\epsilon$  türbülans modeli ile çözülerek gerçekleştirilmiştir. Kanat ve kanalın alt ve üst yüzeyleri adyabatik iken; model yüzeyleri  $1000 W/m^2$  sabit ısı akısına sahiptir. Akışkanlar için çalışılan Reynolds sayısı aralığı 7000-11000'dir. %2 hacimsel konsantrasyonlu Ag-Su nanoakışkanın termofiziksel özellikleri literatürde bulunan denklemler yardımıyla bulunmuştur. Çalışmanın sonuçları literatürdeki deneysel çalışma sonucu elde edilen korelasyonla karşılaştırılmış ve sonuçların uyumlu oldukları bulunmuştur. Ayrıca, farklı kanat açıları ( $45^\circ$  ve  $90^\circ$ ) ve uzunlukları ( $K=D$  ve  $K=2D$ ) için Ag-Su nanoakışkanının hız-akım çizgisi ve sıcaklık konturu dağılımları görselleştirilmiştir. Reynolds sayısının 11000 değerinde  $K=D$  ve  $K=2D$  ve kanallardaki tüm model yüzeyleri için

su ve Ag-Su nanoakışkanı kullanılması durumlarında karşılaştırmalı olarak ortalama Nu sayısı ( $Nu_o$ ) ve model yüzey sıcaklık değerleri ( $T_o$ ) değerlendirilmiştir.

## 2. AKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada kullanılan çalışma akışkanlarından olan %2 hacimsel konsantrasyonlu Ag-Su (Gümüş-Su) nanoakışkanının ve Su akışkanının termofiziksel özellikleri literatürde bulunan ve yaygın olarak kullanılan eşitlikler (Maxwell, 1873) yardımıyla elde edilmiş ve Tablo 1’ de gösterilmiştir. Ayrıca, katı haldeki gümüş nanoparçacıklarının termofiziksel özellikleri de literatürdeki ilgili çalışmadan alınmıştır (Mohammed ve ark., 2011).

Nanoakışkanın yoğunluğu

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

Bu eşitlikte,  $\rho$  akışkanın yoğunluğunu ( $\text{kg/m}^3$ ),  $\varphi$  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	Ag	Ag-Su nanoakışkanı
k (W/mK)	0,6172	429	0,650
$\rho$ ( $\text{kg/m}^3$ )	995,8	10500	1188,235
$c_p$ (J/kgK)	4178,4	235	3484,43
$\mu$ ( $\text{Ns/m}^2$ )	$803,4 \times 10^{-6}$	-	0,00105315

### 3. SAYISAL YÖNTEM

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 (Wang ve Mujumdar, 2005; Karabulut ve Alnak, 2021).

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 (Genç ve ark., 2009; Genç, 2010; Genç ve ark., 2011) 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 (Wang ve Mujumdar, 2005). 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

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

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

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

Türbülans kinetik enerji yutulma terimi



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

Bu denklemlerde,  $k$  türbülanslı akış kinetik enerjisini,  $u_i$   $x$ ,  $y$  ve  $z$  yönlerindeki hız bileşenlerini,  $\mu$  akışkanın viskozitesini,  $\sigma_k$  ( $\sigma_k=1$ ) türbülanslı kinetik enerji Pr sayısını belirtmektedir. Türbülanslı kinetik enerji üretimi ( $G_k$ ) ve türbülanslı akışın viskozitesini ( $\mu_t$ ) gösteren eşitlikler aşağıdaki gibidir (Wang ve Mujumdar, 2005; Genç ve ark., 2011).

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

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

Türbülans yutulma Pr sayısı  $\sigma_\epsilon$  ile belirtilirken,  $C_{1\epsilon}=1.44$ ,  $C_{2\epsilon}=1.92$ ,  $C_\mu=0.09$  ve  $\sigma_\epsilon=1.3$  değerlerine sahip olan eşitliklerdeki katsayılarıdır (Öztürk ve Demircan, 2022; Mohammed ve ark., 2011).

Isı taşınım katsayısı  $h$ , Eş. 12 ve Nusselt sayısı ( $Nu$ ) ise Eş. 13 ile hesaplanmaktadır (Öztürk ve Demircan, 2022; Karabulut, 2019).

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

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

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 ( $W/m^2.K$ ),  $n$  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 (Öztürk ve Demircan, 2022)

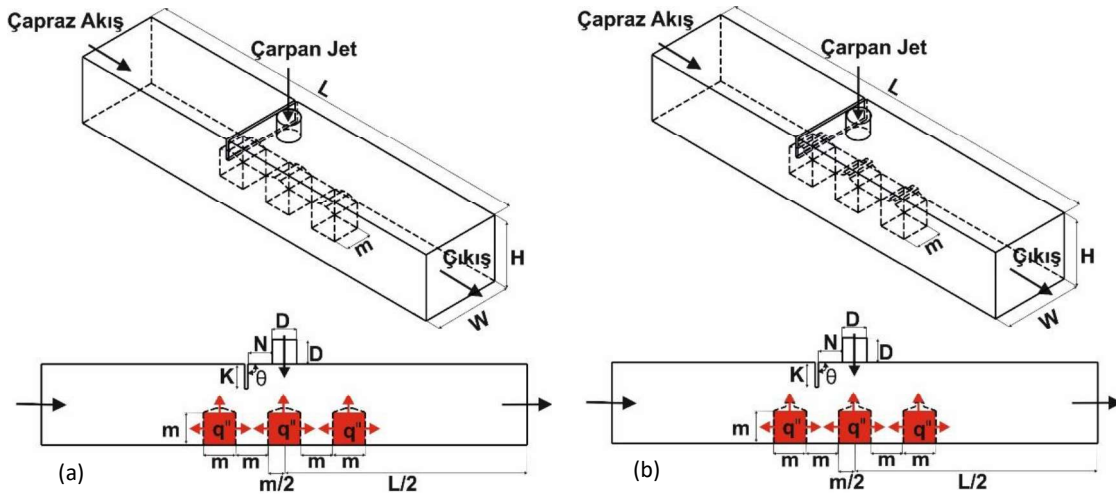
$$Re_k = \frac{\rho_a V_k D_{hk}}{\mu_a} \quad (17)$$

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

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

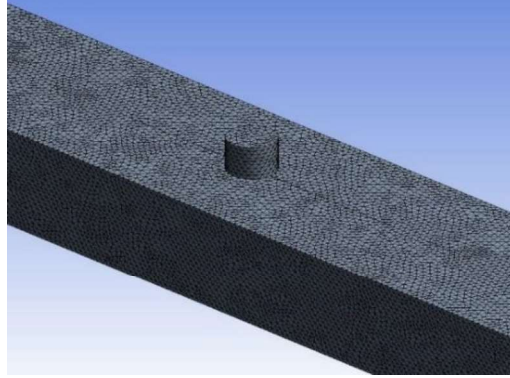
#### 4. MODEL GEOMETRİLERİ

Çalışmadaki çapraz akış-çarpan jet akışlı kanatçıklı kanallar ve kanallardaki yamuk ve çıkıntılı model yüzeylerine sahip elemanların ölçüleri Şekil 1 (a) ve (b)' de verilirken; kanalların boyutsal ölçüleri ise Tablo 2' 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) yamuk (b) çıkıntılı modelli kanalların görünüşleri





Şekil 2. Kanalda kullanılan düzgün dörtyüzlü ağ yapısının gösterimi

Tablo 2. Kanalların boyutsal ölçüleri

Değişken	Ölçü
D	15 (mm)
L	66D
W	4D
H	4D
M	20 (mm)
$\theta$	45° ve 90°
N	2D
K	D, 2D

Tablo 3. Çalışmada uygulanan sınır şartları

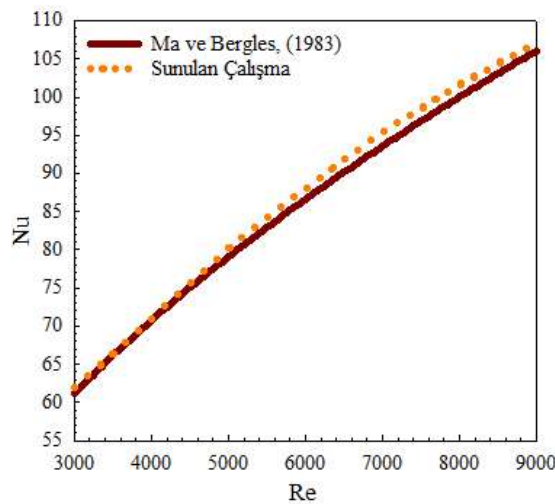
a) Akış hacmi, sürekli, üç boyutlu ve türbülanslıdır
b) Sıkıştırılamaz akışkan olarak su, %2 Ag-Su nanoakışkanı, hem jet hem de çapraz akış akışkanı olarak kullanılmışlardır
c) Akışkanların ısıl özellikleri sabit olup, sıcaklıktan bağımsızdır
d) Kanalın ve kanatçığın yüzeyleri adyabatiktir
e) Akışkan 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.

## 5. 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, (1983)' in deneysel incelemeleri sonucunda ulaştıkları Eş. 19 kullanılarak ulaşılan sonuçlar karşılaştırılmış ve Ma ve Bergles, (1983)' in deneysel sonuçları ile sunulan çalışmanın sayısal sonuçlarının uyumlu ve tutarlı oldukları bulunmuştur.

$$\overline{Nu} = 1,29 Re^{0.5} Pr^{0.4} \quad (19)$$

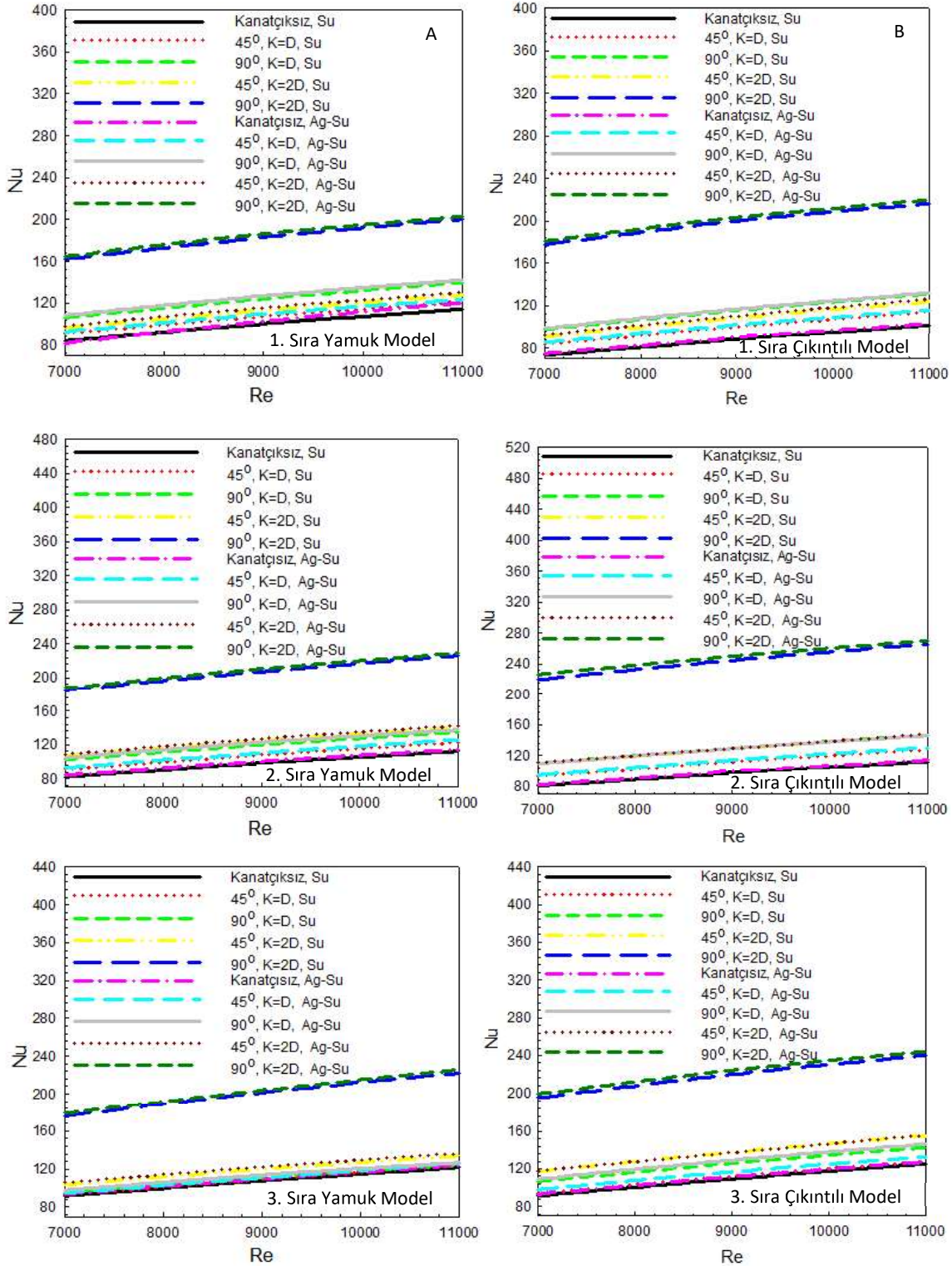
Şekil 4 A-yamuk B-çıkıntılı model yüzeylerine sahip çapraz akış-çarpan jet akışlı kanatçiksız, 45° ve 90° açılı ve K=D ve K=2D kanatçık uzunluklu kanallarda su ve Ag-Su nanoakışkanı kullanılması durumlarında kanaldaki model sıralarına göre ortalama Nu sayısının Re sayısı ile değişimi görülmektedir. Her iki akışkan ve model yüzeyi için de en düşük Nu sayısı değerlerine kanatçiksız model yüzeylerinde ulaşılırken; Nu sayısı için en yüksek değerlere ise 2D (K) kanatçık uzunluklu ve 90° açılı kanatçık durumunda erişilmektedir. Açılı ve kanatçık uzunluklarının etkisi kendi içlerinde değerlendirildiğinde en fazla etkinin kanatçığın akışkan içerisinde uzayıp; akışkanın karışmasını artırarak türbülans yoğunluğunu artıran kanatçık uzunluğu olduğu görülmektedir. Yamuk Model 1 için Re=9000' de Ag-Su nanoakışkanlı ve K=D kanatçık uzunluklu kanalda kanatçık açısı 45°' den 90°' ye çıkarıldığında ortalama Nu sayısı değeri %15,77 artarken; 90° açılı kanalda kanatçık uzunluğu D' den 2D' ye çıkarıldığında ise Nu sayısı %47,11 artmaktadır. Kanalda ikinci sırada bulunan modeller üzerinde çarpan jet akışı bulunması nedeniyle çapraz akışla birlikte birleşik jet akışı etkisi oluşarak Model 1' e göre ulaşılan Nu sayısı değerleri artmaktadır. Re=11000' de 90° açılı ve K=2D kanatçık uzunluklu nanoakışkan kullanılan kanalda Model 2 için Nu sayısı değeri, Model 1' e göre sırasıyla yamuk ve çıkıntılı yüzeyler için %12,88 ve %22,94 daha fazla olmaktadır. Kanalin son sırasında bulunan Model 3 yüzeyleri üzerinde birleşik jet akışı etkisi azalmaktadır. Bu nedenle de her iki model yüzeyi için de genel itibarıyla Nu sayısı değerlerinde Model 2' ye göre azalmalar olmaktadır. Bununla birlikte, tüm model sıraları ve model şekilleri dahil olmak üzere nanoakışkan kullanılan kanallarda su akışkanı kullanılan kanallara göre Nu sayısı değerleri daha yüksek olmaktadır. Model 3 için Re=7000' de 45° açılı ve K=2D uzunluklu kanatçıklı kanalda Ag-Su nanoakışkanı kullanılması durumunda kanatçiksız ve su akışkanı kullanılan duruma göre Nu sayısı yamuk ve çıkıntılı model yüzeyleri için sırasıyla %15,31 ve %29,54 artış göstermiştir.



Şekil 3. Sunulan çalışma ve Ma ve Bergles, (1983)'in sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 4 ve 5'de H=4D yükseklikli kanatçiksız ve 45° ve 90° açılı kanatçıklı, N=2D kanatçık uzaklıklı ve sırasıyla K=D ve K=2D kanatçık uzunluklu kanallardaki tüm yamuk ve çıkıntılı

model yüzeyleri için su ve nanoakışkanın ortalama Nu sayısı ( $Nu_o$ ) ve ortalama yüzey sıcaklık değişimleri ( $T_o$ ) verilmektedir. Tablolardan görüldüğü gibi, kanatçiksiz duruma göre her iki model şekilli yüzey için de kanatçık kullanılması durumunda su akışkanına göre daha yüksek Nu sayısı değerleri elde edilmektedir. Bununla birlikte, kanatçık uzunluğu  $2D$  çıkarıldığında elde edilen  $Nu_o$  değerleri daha da artmaktadır. Buna bağlı olarak da  $T_o$  değerleri ise azalış göstermektedir.  $Re=11000$ ' de  $90^\circ$  açılı ve  $K=2D$  kanatçık uzunluklu kanalda Ag-Su nanoakışkanı için kanatçiksiz ve su akışkanı kullanılan kanala göre  $N_o$  değerinin sırasıyla yamuk ve çıkıntılı model yüzeylerinde %89,28 ve %117,39 arttıkları bulunmuştur.



**Şekil 4.** Su ve Ag-Su nanoakışkanı kullanılan kanatçksız ve farklı kanatçık uzunluklu (K) ve açılı ( $\theta$ ) kanallardaki sıralanmalarına göre yamuk ve çıkıntılı model yüzeylerindeki Nu sayısı değışimleri

**Tablo 4. Kanatçksız ve K=D kanatçık uzunluklu ve açılı kanallardaki tüm yamuk ve çıkıntılı model yüzeylerindeki  $Nu_o$  ve  $T_o$  değişimleri**

K=D, H=4D			Re=7000		Re=11000	
			Yamuk Model	Çıkıntılı Model	Yamuk Model	Çıkıntılı Model
<b>Kanatçksız</b>	Su	$Nu_o$	85,866	81,795	115,895	112,629
<b>45°</b>	Su	$Nu_o$	91,428	90,353	122,498	123,317
<b>90°</b>	Su	$Nu_o$	101,349	104,638	133,069	140,313
<b>Kanatçksız</b>	Ag-Su	$Nu_o$	87,726	83,622	118,121	114,874
<b>45°</b>	Ag-Su	$Nu_o$	93,396	92,879	125,294	126,487
<b>90°</b>	Ag-Su	$Nu_o$	103,447	105,609	135,422	141,304
<b>Kanatçksız</b>	Su	$T_o$ (K)	306,680	306,685	305,328	305,324
<b>45°</b>	Su	$T_o$ (K)	306,416	306,122	305,151	304,950
<b>90°</b>	Su	$T_o$ (K)	305,897	305,503	304,873	304,552
<b>Kanatçksız</b>	Ag-Su	$T_o$ (K)	306,406	306,408	305,153	305,147
<b>45°</b>	Ag-Su	$T_o$ (K)	306,161	305,817	304,961	304,760
<b>90°</b>	Ag-Su	$T_o$ (K)	305,680	305,302	304,733	304,426

**Tablo 5. Kanatçksız ve K=2D kanatçık uzunluklu ve açılı kanallardaki tüm yamuk ve çıkıntılı model yüzeylerindeki  $Nu_o$  ve  $T_o$  değişimleri**

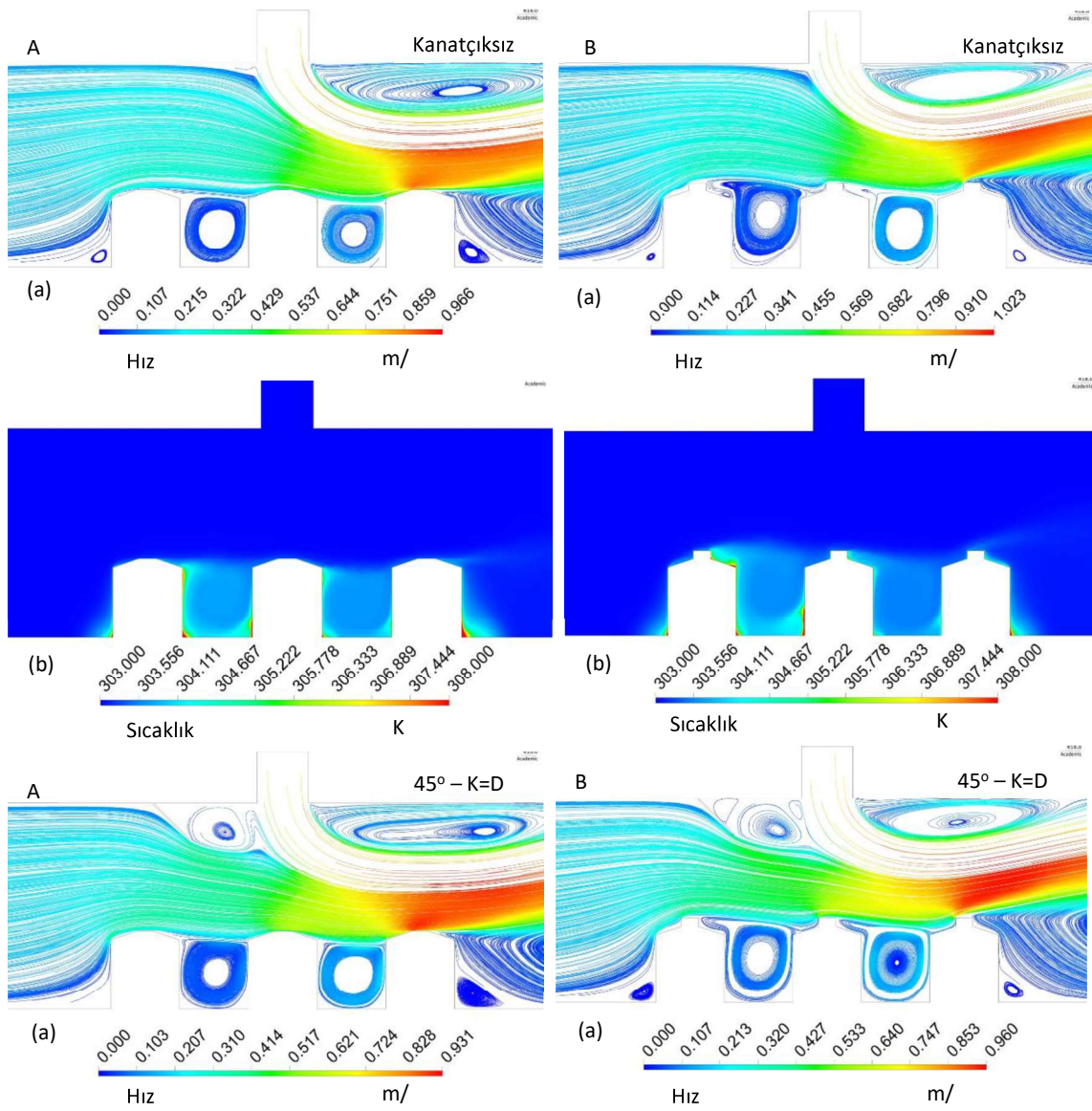
K=2D, H=4D			Re=7000		Re=11000	
			Yamuk Model	Çıkıntılı Model	Yamuk Model	Çıkıntılı Model
<b>Kanatçksız</b>	Su	$Nu_o$	85,866	81,795	115,895	112,629
<b>45°</b>	Su	$Nu_o$	101,911	105,713	133,958	141,751
<b>90°</b>	Su	$Nu_o$	174,217	197,566	216,454	241,049
<b>Kanatçksız</b>	Ag-Su	$Nu_o$	87,726	83,622	118,121	114,874
<b>45°</b>	Ag-Su	$Nu_o$	104,023	107,322	136,302	143,335
<b>90°</b>	Ag-Su	$Nu_o$	177,071	202,079	219,373	244,846
<b>Kanatçksız</b>	Su	$T_o$ (K)	306,680	306,685	305,328	305,324
<b>45°</b>	Su	$T_o$ (K)	305,929	305,441	304,886	304,512
<b>90°</b>	Su	$T_o$ (K)	304,025	303,854	303,644	303,542
<b>Kanatçksız</b>	Ag-Su	$T_o$ (K)	306,406	306,408	305,153	305,147
<b>45°</b>	Ag-Su	$T_o$ (K)	305,711	305,276	304,744	304,408
<b>90°</b>	Ag-Su	$T_o$ (K)	303,944	303,776	303,594	303,495

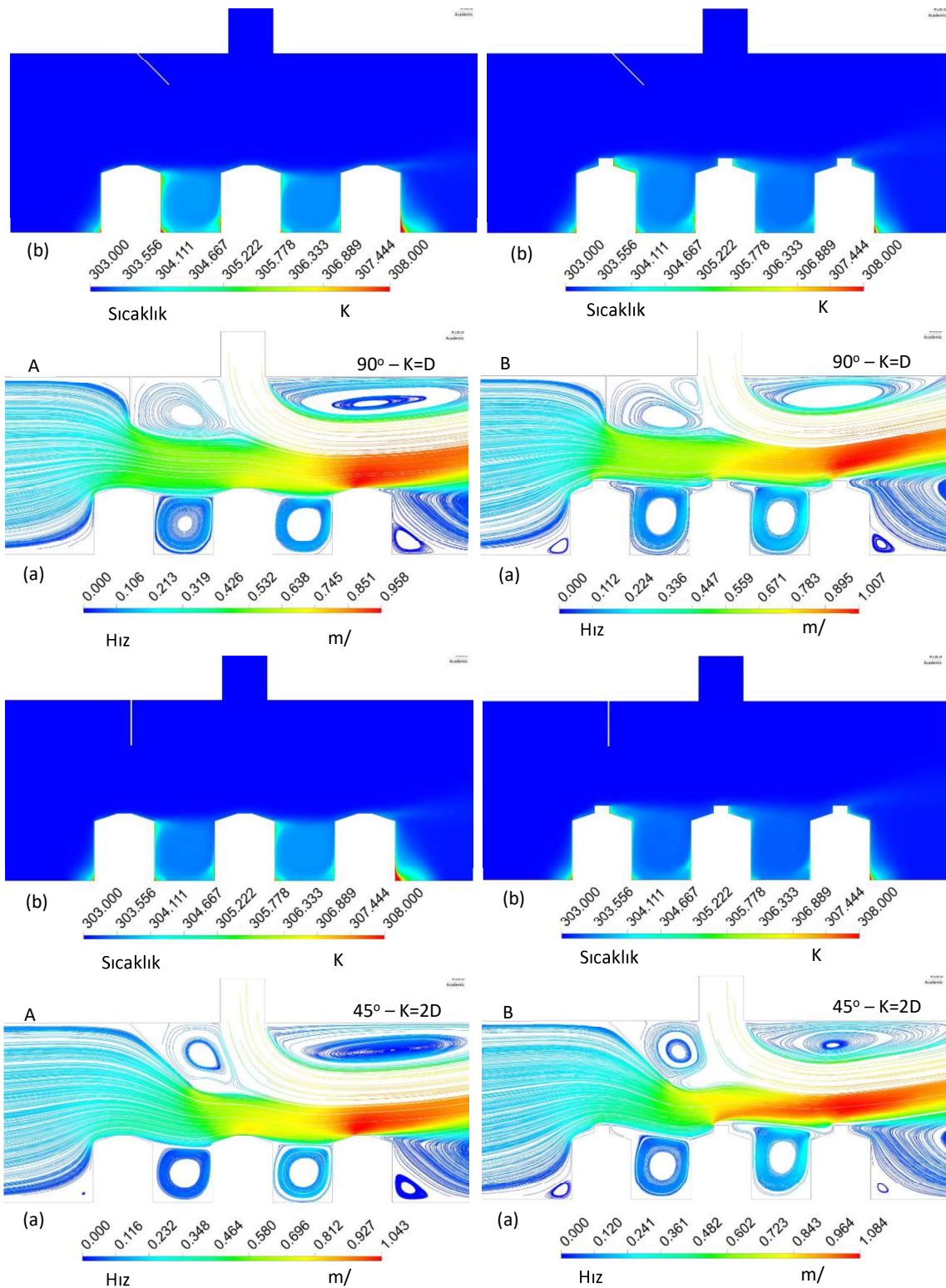
Şekil 5' de Re=11000' de Ag-Su nanoakışkanlı A-yamuk ve B-çıkıntılı model yüzeylerinin olduğu birleşik jet akışlı kanallar için kanatçksız ve 45° ve 90° açılı kanatçıklı kanallarda K=D ve K=2D kanatçık uzunlukları dikkate alınarak kanatçıkların sabit N=2D konumlanmasına göre (a) hız-akım çizgisi (b) sıcaklık konturu dağılımları görselleştirilmiştir. Kanatçksız durumlarda kanalın ilk sırasındaki modeller etrafında (Model 1) hız değerleri düşüktür. Model 2 üzerinden

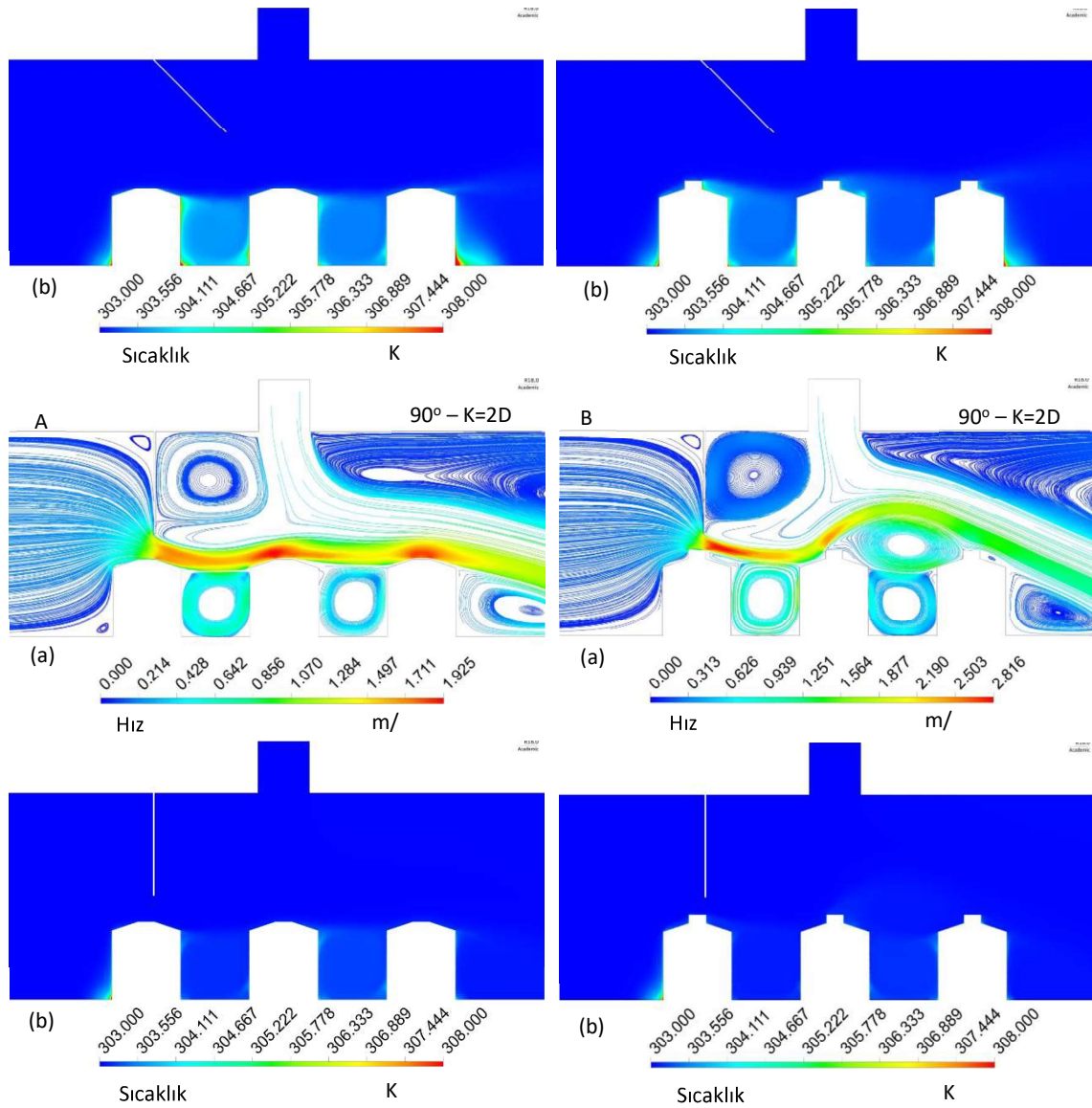


çarpın jet akışı etki etmeye başlamasıyla birleşik jet akışının etkisiyle Model 2 ve Model 3 üzerlerinde akış hızlanmaya yani akışkanın hızı artmaya başlamaktadır. Bununla birlikte, sıcaklığın diğer bölgelere göre yüksek olduğu yeniden dolaşım bölgeleri kanal içerisinde model yüzeyleri arasında ve kanalın üst kısmında çarpın jete yakın olarak konumlanmıştır. Kanala 45° açılı ve  $K=D$  uzunluklu kanatçık eklendiğinde kanal girişinden gelen çarpın akış, model yüzeylerine doğru yönlendirilebildiğinden modeller üzerinde akış hızında artışlar görülmektedir. Akış hızındaki bu artış, model aralarındaki akışkan hızını da artırdığından sıcaklık konturu dağılımlarında yüksek sıcaklıklı bölgelerin azalması ile bu durumu görülebilmektedir.  $K=D$  kanatçık uzunluğunda kanat açısı 90° ye çıkarıldığında akışkanın geçiş kesit alanı daraltılmış olduğundan özellikle Model 1 yüzeyleri etrafında hız değerleri daha fazla artmaktadır. 45° açıda kanatçık uzunluğu  $2D$  ye çıkarıldığında ise akış model yüzeylerine daha iyi yönlendirilebildiğinden;  $D$  kanatçık uzunluğuna göre ısı transferi ve dolayısıyla yüzeylerin soğuması daha iyi olmaktadır. Ayrıca, kanal içerisinde model yüzeyleri üzerinde homojen hız dağılımı sürdürülebilmektedir. 90° açılı kanalda kanatçık uzunluğu  $2D$  değerine çıkarıldığında özellikle yamuk model yüzeyli kanalda çıkıntılı model yüzeyine göre daha ince ve sürekli bir hız dağılımı görülmektedir. Bununla birlikte, çıkıntılı model yüzeyli kanalda Model 2 ve Model 3' ün arasındaki bölgenin üst kısmında yeniden dolaşım bölgelerinin oluştuğu görülmektedir. Oluşan bu yeniden dolaşım bölgelerinin akışkan hızının azaldığı kanal kısımlarında yoğunluğu artmaktadır.









Şekil 5. Kanatçıksız ve farklı kanatçık uzunluklu ve açılı kanallardaki

A- yamuk ve B- çıkıntılı modeller için (a) hız-akım çizgisi (b) sıcaklık konturu dağılımları

## 6. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Her iki akışkan ve model yüzeyi için de en düşük Nu sayısı değerlerine kanatçıksız model yüzeylerinde ulaşılırken; Nu sayısı için en yüksek değerlere ise 2D (K) kanatçık uzunluklu ve  $90^\circ$  açılı kanatçık durumunda erişilmektedir.
- Açılı ve kanatçık uzunluklarının etkisi kendi içlerinde değerlendirildiğinde en fazla etkin kanatçık uzunluğunun gösterdiği belirlenmiştir.
- Yamuk Model 1 için  $Re=9000$ ' de Ag-Su nanoakışkanlı ve  $K=D$  kanatçık uzunluklu kanalda kanatçık açısı  $45^\circ$  den  $90^\circ$  ye çıkarıldığında ortalama Nu sayısı değeri %15,77 artarken;  $90^\circ$



açılı kanalda kanatçık uzunluğu  $D'$  den  $2D'$  ye çıkarıldığında ise  $Nu$  sayısı %47,11 artmaktadır.  
– Model 2 için birleşik jet akışı etkisinin artması nedeniyle Model 1' e göre ulaşılan  $Nu$  sayısı değerleri artmaktadır.

-  $Re=11000'$  de  $90^\circ$  açılı ve  $K=2D$  kanatçık uzunluklu nanoakışkan kullanılan kanalda Model 2 için  $Nu$  sayısı değeri, Model 1' e göre sırasıyla yamuk ve çıkıntılı yüzeyler için %12,88 ve %22,94 daha fazla olmaktadır.

- Model 3 yüzeyleri üzerinde ise birleşik jet akışı etkisi azalmaktadır. Bu nedenle de her iki model yüzeyi için de genel itibariyle  $Nu$  sayısı değerlerinde Model 2' ye göre azalmalar olmaktadır.

- Tüm model sıraları ve model şekilleri dahil olmak üzere nanoakışkan kullanılan kanallarda su akışkanı kullanılan kanallara göre  $Nu$  sayısı değerleri daha yüksek olmaktadır.

- Model 3 için  $Re=7000'$  de  $45^\circ$  açılı ve  $K=2D$  uzunluklu kanatçıklı kanalda Ag-Su nanoakışkanı kullanılması durumunda; kanatçiksız ve su akışkanı kullanılan duruma göre  $Nu$  sayısı yamuk ve çıkıntılı model yüzeyleri için sırasıyla %15,31 ve %29,54 artış göstermiştir.

- Kanaldaki tüm model yüzeyleri düşünüldüğünde;  $Re=11000'$  de  $90^\circ$  açılı ve  $K=2D$  kanatçık uzunluklu kanalda Ag-Su nanoakışkanı için kanatçiksız ve su akışkanı kullanılan kanala göre  $Nu$  değerinin sırasıyla yamuk ve çıkıntılı model yüzeylerinde %89,28 ve %117,39 artıkları bulunmuştur.

## KAYNAKÇA

Abdullah, M. F., Zulkifli, R., Harun, Z., Abdullah, S., Wan Ghopa, W. A., Najm, A. S., Sulaiman, N. H. Impact of the  $TiO_2$  Nano Solution Concentration on Heat Transfer Enhancement of the Twin Impingement Jet of A Heated Aluminium Plate. *Micromachines* 10, 176, 2019.

Alnak, D. E., Thermohydraulic Performance Study of Different Square Baffle Angles in Cross-Corrugated Channel, *Journal of Energy Storage*, 28, 101295, 2020.

Datta, A., Jaiswal, A., Halder, P., Heat Transfer Analysis of Slot Jet Impingement Using Nano-Fluid on Convex Surface. *IOP Conf Series-Mat Sci Eng* 402, 012098, 2018.

Demircan, T., Numerical Analysis of Cooling An Electronic Circuit Component with Cross Flow and Jet Combination, *Journal of Mechanics*, 35, 395-404, 2019.

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.

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.

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.

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.
- Selimefendigil, F., Chamkha, A. J., Cooling of An Isothermal Surface Having A Cavity Component by Using Cu-Water Nano-Jet, International Journal of Numerical Methods Heat & Fluid Flow, 30, 2169-2191, 2020.
- Karabulut, K., Heat Transfer Improvement Study of Electronic Component Surfaces Using Air Jet Impingement, Journal of Computational Electronics, 18, 1259-1271, 2019.
- Karabulut, K., Alnak, D. E., Study of Cooling of the Varied Designed Warmed Surfaces with An Air Jet Impingement, Pamukkale University Journal of Engineering Science, 26, 88-98, 2020.
- Karabulut, K., Alnak, D. E., Investigation of Graphene Oxide-Distilled Water Nanofluids With Consideration of Heat Transfer and Flow Structure for Backward-Facing Step Flow, Journal of Engineering Thermophysics, 30, 2, 300-316, 2021.
- Kılıç, M., Investigation of Combined Effect of Nanofluids and Impinging Jets on Cooling of Electronic Systems, Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering Architecture, 18, 121-132, 2018.
- 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.
- Ma, C. F., Bergles, A. E., Boiling jet impingement cooling of simulated microelectronic chips, Heat Transfer in Electronic Equipment HTD, 28, 5-12, 1983.
- 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.
- Maxwell, J. C., *A Treatise on Electricity and Magnetism*, Clarendon Press, Oxford, UK, 1873.
- Shi, W., Li, F., Lin, Q., Fang, G., Experimental Study on Instability of Round Nanofluid Jets at Low Velocity. Exp Therm Fluid Sci 120, (2021), no. 110253.
- 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 Fluid Science, 74, 235-246, 2015.
- 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.
- Zou, L., Ning, L., Wang, X., Li, Z., He, L., Li, H., Evaluation of Interfacial Heat Transfer Coefficient Based on the Experiment and Numerical Simulation in the Air-Cooling Process, Heat and Mass Transfer, 58, 337-354, 2022.