

**FARKLI KANATÇIK KONUMLU VE SiO₂-SU NANOAKIŞKANLI
BİRLEŞİK JET AKIŞLI KANALLARDA ISINMIŞ YÜZEYLERİN
SOĞUTULMASININ İNCELENMESİ**

**COOLING OF HEATED SURFACES IN COMBINED JET FLOW CHANNELS
WITH DIFFERENT FIN POSITIONS AND SiO₂-WATER NANOFUID**

Koray KARABULUT

Doç. Dr. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu,
Elektrik ve Enerji Bölümü, Sivas, Türkiye

Doğan Engin ALNAK

Doç. Dr., Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi,
İmalat Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye,

ÖZET

Dünya genelinde enerji fiyatlarındaki artış, özellikle ısı yoğun kullanılan sanayideki üretim maliyetlerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bununla birlikte, teknolojiye gelişimle boyutları küçülen elektronik cihazlarda birim hacim başına ısı üretimi miktarının artması; bu sektördeki ilerleme süreci için istenmeyen bir durumdur. Çapraz akış-çarpan jet akışın birleşik jet akışı şeklinde birlikte uygulanması yüksek sıcaklıklı yüzeylerin soğutma kapasitesini artırmaktadır. Bu çalışmada, yamuk ve oyuklu model yüzeylerinden olan ısı transferi ve kanallardaki akış yapıları kanatçiksız, 30° ve 60° açılı kanatçıklı birleşik jet akışlı H=4D yükseklikli kanallarda su ve SiO₂-Su nanoakışkanı kullanılarak sayısal olarak araştırılmıştır. Kanatçıklar, çarpan jet girişinden itibaren N=D ve N=2D konumlarında yerleştirilmişlerdir. Kanatçık uzunluğu (K), 2D' dir. Sayısal inceleme, 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 yüzeyleri 1000 W/m² sabit ısı akısına sahiptir. Akışkanlar için çalışılan Reynolds sayısı aralığı 7000-11000'dir. %2 hacimsel konsantrasyona sahip SiO₂-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 oyuklu model yüzeyi için ortalama Nu sayısının değişimleri olarak değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, Re=11000 değeri için farklı kanat açıları (30° ve 60°) ve yerleşimleri (N=D ve N=2D) için SiO₂-Su nanoakışkanının hız-akım ve sıcaklık konturu dağılımları görselleştirilmiştir. Reynolds sayısının farklı değerlerinde ve N=D ve N=2D kanatçık konumlarında kanallardaki tüm model yüzeyleri için su ve SiO₂-Su nanoakışkanı kullanılması durumlarında karşılaştırmalı olarak Nu_{ort} ve T_{ort} değerleri analiz edilmiştir. Sonuç olarak, Re=11000 için N=2D kanatçık konumu ve 60° kanatçık açısında SiO₂-Su nanoakışkanı kullanılması durumunda su akışkanına göre Nu_{ort} değerinde sırasıyla yamuk ve oyuklu model yüzeyleri için %46,65 ve %51,27'lik artışlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Birleşik Jet Akışı, Nanoakışkan, SiO₂-Su, Soğutma

ABSTRACT

The increase in energy prices around the world negatively affects production costs, especially in the heat-intensive industry. However, the increase in the amount of heat production per unit volume in electronic devices whose dimensions have decreased with the development of technology is an undesirable situation for the progress process in this sector. The co-application of cross-flow-impinging jet flow as a combined jet flow increases the cooling capacity of high-temperature surfaces. In this study, heat transfer from trapezoidal and hollow model surfaces and flow structures in channels were investigated numerically using water and SiO₂-Water nanofluids in H=4D height channels with combined jet flow with 30° and 60° angled fins. The fins were located at N=D and N=2D positions from the impinging jet inlet. The fin length (K) is 2D. Numerical analysis was carried out by solving energy and Navier-Stokes equations with the k-ε 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; model surfaces have a constant heat flux of 1000 W/m². The Reynolds number range studied for fluids is 7000-11000. Thermophysical properties of SiO₂-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 evaluated as the variation of the mean Nu number for each trapezoidal and hollow model surface in the channels. However, velocity-streamline and temperature contour distributions of SiO₂-Water nanofluid were visualized for different fin angles (30° and 60°) and placements (N=D and N=2D) at Re=11000. Nu_{ort} and T_{ort} values were analyzed comparatively when water and SiO₂-Water nanofluid were used for all model surfaces in the channels at different values of Reynolds number and N=D and N=2D fin positions. As a result, 46.65% and 51.27% increases in Nu_{ort} value for trapezoidal and hollow model surfaces, respectively, were obtained compared to water fluid when N=2D fin position and SiO₂-Water nanofluid were used for Re=11000.

Keywords: Combined jet flow, Nanofluid, SiO₂-Water, Cooling

1. GİRİŞ

Elektronik elemanlardan ısı transferini arttırmak için kullanılan çapraz akışlı soğutma yöntemi en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntem, soğuk akışkanın bir fan ile tüm bileşenlerin üzerine gönderilmesi ve böylece tüm elektronik bileşenlerin soğutulması prensibine dayanmaktadır. 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 akışı 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°, 22.5°, 45°, 67.5° and 90°) 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° 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 yararlanmışlardır. 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 TiO₂ 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 Al₂O₃-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 bulunmaktadır. Ancak, incelenen literatürde yüksek ısı transfer performansı sergileyen SiO₂-Su nanoakışkanı kullanılarak 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 oyuklu model yüzeylerinden olan ısı transferi ve kanallardaki akış yapıları kanatçiksız, 30° ve 60° açılı kanatçıklı birleşik jet akışlı H=4D yükseklikli kanallarda

su ve SiO₂-Su nanoakışkanı kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir. Kanatçıklar, çarpan jet girişinden N=D ve N=2D konumlarında yerleştirilmiş olup; kanatçık uzunluğu 2D (K)' dir. Sayısal araştırma, zamandan bağımsız ve üç boyutlu olarak enerji ve Navier-Stokes denklemlerinin Ansys-Fluent programı kullanılarak k-ε türbülans modeli ile çözümlenerek gerçekleştirilmiştir. Kanat ve kanalın alt ve üst yüzeyleri adyabatik iken; model yüzeyleri 1000 W/m² sabit ısı akısına sahiptir. Akışkanlar için çalışılan Reynolds sayısı aralığı 7000-11000'dir. %2 hacimsel konsantrasyona sahip SiO₂-Su nanoakışkanın termofiziksel özellikleri literatürde bulunan denklemler yardımıyla bulunmuştur. Çalışmanın sonuçları literatürdeki deneysel çalışma sonucu elde edilen korelasyonla karşılaştırılmış ve sonuçların uyumlu oldukları bulunmuştur. Sonuçlar, kanallardaki her bir yamuk ve oyuklu model yüzeyi için ortalama Nu sayısının değişimleri olarak analiz edilmiştir. Bununla birlikte, Re=11000 değeri için farklı kanat açıları ve yerleşimleri için SiO₂-Su nanoakışkanının hız-akım ve sıcaklık konturu dağılımları görselleştirilmiştir. Reynolds sayısının 7000 ve 11000 değerlerinde N=D ve N=2D için kanallardaki tüm model yüzeyleri için ve ayrı ayrı hem su hem de nanoakışkan kullanılması durumlarında Nu_{ort} ve T_{ort} değerleri araştırılmıştır.

2. AKIŞKANLARIN TERMOFİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada kullanılan çalışma akışkanlarından olan %2 hacimsel konsantrasyonlu SiO₂-Su (Silisyum dioksit-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 Silisyum dioksit 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, 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. özellikler				Termofiziksel (30°C)
	Özellikler	Su	SiO ₂	
k (W/mK)	0,6172	1,2	0,62194	
ρ (kg/m ³)	995,8	2200	1022,236	
c _p (J/kgK)	4178,4	703	4032,25	
μ (Ns/m ²)	803,4x10 ⁻⁶	-	0,00105315	

3. SAYISAL YÖNTEM

Model yüzeylerindeki çapraz akış-çarpan jet akışının zorlanmış taşınımı 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

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

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

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

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

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 (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)

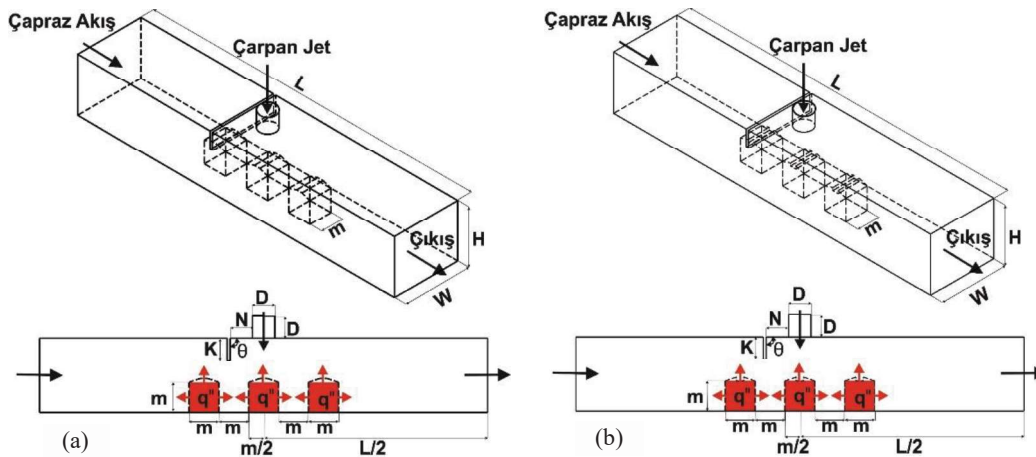
$$Re_k = \frac{\rho_a V_k D_{hk}}{\mu_a} \quad (17)$$

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

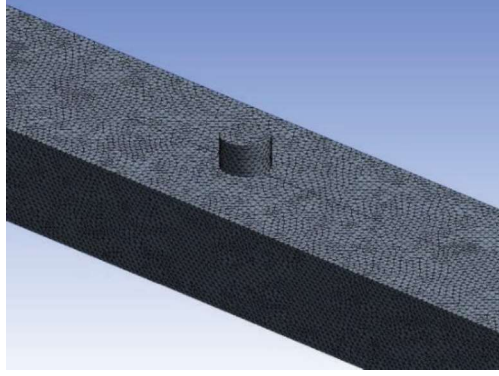
Bu eşitliklerde, akışkanın kanal ve jet akış hızları sırasıyla V_k ve V_j (m/s) ile gösterilmektedir.

4. MODEL GEOMETRİLERİ

Çalışmadaki çapraz akış-çarpan jet akışlı kanatçıklı kanallar ve kanallardaki yamuk ve oyuklu 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. Birleşik jet akışlı kanalların görünüşleri (a) yamuk (b) oyuklu model



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)
θ	30° ve 60°
N	D, 2D
K	2D

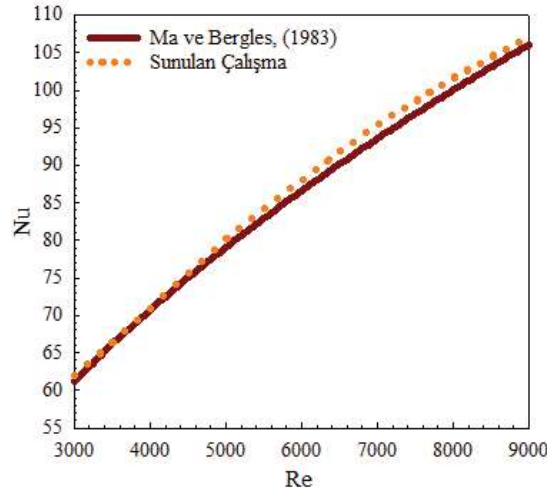
Tablo 3. Çalışmada uygulanan sınır şartları

a)	Akış hacmi, sürekli, üç boyutlu ve türbülanslıdır
b)	Sıkıştırılamaz akışkan olarak su, %2 SiO ₂ -Su nanoakışkanı, 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 ($P_c = P_{atm}$)
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

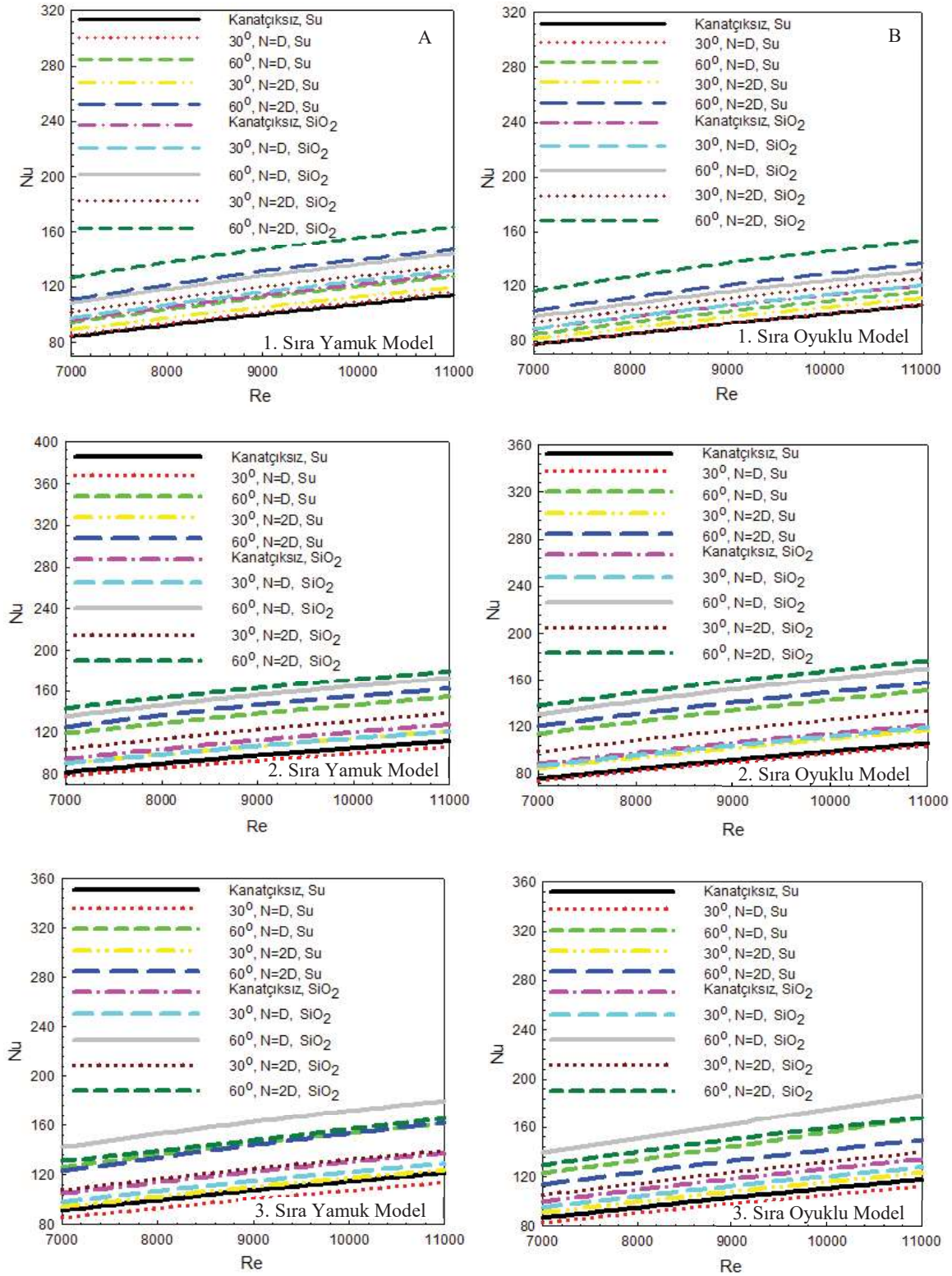
Çalışmada, Şekil 3' de gösterildiği gibi sadece jet akışın olduğu durumda farklı Reynolds sayılarında incelemelerde bulunularak ulaşılan sonuçlar ile Ma ve Bergles, (1983)' in deneysel incelemeleri sonucunda ulaştıkları Eş. 19 kullanılarak ulaşılan sonuçlar karşılaştırılmış ve Ma ve Bergles, (1983)' 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 3. Sunulan çalışma ve Ma ve Bergles (1983)'in sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 4'de yamuk ve oyuklu model şekillerine sahip kanatçiksız ve kanal üst yüzeyiyle 30° ve 60° açı yapan $K=2D$ uzunluklu ve çarpan jet girişinden $N=D$ ve $N=2D$ uzaklıkları kanatçıklı çapraz akış-çarpan jet akışlı kanallarda ($H=4D$) su ve SiO_2 -Su nanoakışkanı kullanılması durumlarında kanaldaki model sıralarına göre yüzeylerdeki ortalama Nu sayısının Re sayısına bağlı değişimleri görülmektedir. Kanatçiksız durumda kanalın girişinde bulunan ilk sıradaki model yüzeyleri genel itibariyle çapraz akışın etkisi altında bulunmaktadır. Bununla birlikte, ikinci sırada bulunan modeller ise doğrudan çarpan jetin etkisi altındadır. Kanalın son sırasındaki Model 3' de kanatçiksız durumda çapraz akış-çarpan jet akış birlikteliği etki etmektedir. İlk sıradaki Model 1 için en düşük Nu sayısı değerleri kanatçiksız ve su akışkanı kullanılan durum için elde edilirken; Model 2 ve 3 için ise kanal yüksekliğinin kanatçığın etki edebilmesi için fazla olması nedeniyle 30° açılı ve $N=D$ kanatçık uzaklığı için en az Nu sayısı değerine ulaşılmaktadır. Kanala kanatçık eklenmesi, çapraz akış-çarpan jet akış birlikteliğini model yüzeylerine yönlendirmesiyle Nu sayısı değerlerinde artış olmaktadır. Bunun yanı sıra kanatçığın açısının artırılması (60°) ve kanal girişine doğru yönlendirilmesi ($N=2D$) akışkanın hem model yüzeylerine doğru daha iyi bir şekilde yönlendirilmesini hem de kanal içerisindeki karışımın türbülans yoğunluğunu artırması dolayısıyla Nu sayısında daha fazla artışa sebep olmaktadır. Böylece ısı transferi artarak, yüzeylerin soğuması iyileştirilmektedir. Ayrıca, %2 hacimsel konsantrasyonlu SiO_2 -Su (Silisyum dioksit) nanoakışkanının kullanılması silisyumun yarı iletken bir madde olması nedeniyle akışkanın ısı transferi özelliğini artırmaktadır. Bu nedenle, özellikle $N=2D$ kanatçık uzaklıkları ve 60° açılı kanallarda Model 1 ve 2 için en yüksek Nu sayısı SiO_2 -Su nanoakışkanı kullanılması durumlarında elde edilmektedir. Model 1 için $N=2D$ ve 60° açılı SiO_2 -Su nanoakışkanı kullanılması durumlarında kanatçiksız duruma göre sırasıyla yamuk ve oyuklu model yüzeyleri için $Re=9000$ ' de Nu sayısında %47 ve %48' lik artışlar elde edilmektedir. Model 2' de çapraz akışa ek olarak çarpan jet etkisi de ısı transferine etki etmektedir. Bu nedenle, Nu sayısı değerleri Model 1' e göre daha fazladır. Model 2 ve $Re=9000$ için $N=2D$ uzaklıkları ve 30° açılı nanoakışkanlı kanallarda, Model 1' e göre Nu sayısında sırasıyla yamuk ve oyuklu modeller için %2,7 ve %6,07' lik artış olmaktadır. Bununla birlikte, kanaldaki akış yapısına bağlı olarak en düşük Nu sayısı değerine $N=D$ uzaklıkları ve 30° açılı kanalda ulaşılmaktadır. Bunun yanı sıra, Model 3 kanal sonunda bulunmasına rağmen özellikle Re sayısının artmasıyla Model 1 ve 2' ye göre birleşik jet akış etkisinin arttığı görülmektedir. Kanatçık konumunun $N=D$ ve 60° açı olması durumunda her iki model yüzeyi için de en yüksek Nu sayısına ulaşılmaktadır. En düşük Nu sayısı değerleri ise $N=D$ ve 30° açılı durumda su akışkanı kullanılan kanallarda olmaktadır.



Şekil 4. Birleşik jet akışlı kanallarda bulunan A-yamuk B-oyuklu modeller için kanal içerisindeki diziliş sıralarına göre yüzeylerin ortalama Nu sayılarının Re sayısı ile değişimi

Tablo 4 ve 5’de $H=4D$, $K=2D$ olan durumda sırasıyla $N=D$ ve $N=2D$ kanatçık konumlu birleşik jet akışlı kanallardaki tüm modeller için ortalama Nu_{ort} sayısı (Nu_{ort}) ve ortalama yüzey sıcaklık (T_{ort}) değişimleri $Re=7000$ ve $Re=11000$ değerlerinde su ve SiO_2 -Su nanoakışkanı kullanılması durumları için incelenmiştir. Kanatçiksız ve su akışkanı kullanılan kanallara göre kanatçıklı ve nanoakışkan kullanılan kanallarda daha yüksek Nu_{ort} değerleri elde edilirken; T_{ort} sıcaklık değerleri de daha düşüktür. Ayrıca, $N=2D$ kanatçık konumunda $N=D$ ’ye göre elde edilen Nu_{ort} değerleri daha yüksektir. $Re=11000$ için $N=2D$ kanatçık konumu ve 60° kanatçık açısında SiO_2 -Su nanoakışkanı kullanılması durumunda su akışkanına göre Nu_{ort} değerinde sırasıyla yamuk ve oyuklu model yüzeyleri için %46,65 ve %51,27’lik artışlar elde edilmektedir. Bu artış değerleri soğuma performansının iyileştiğinin bir göstergesi olmaktadır.

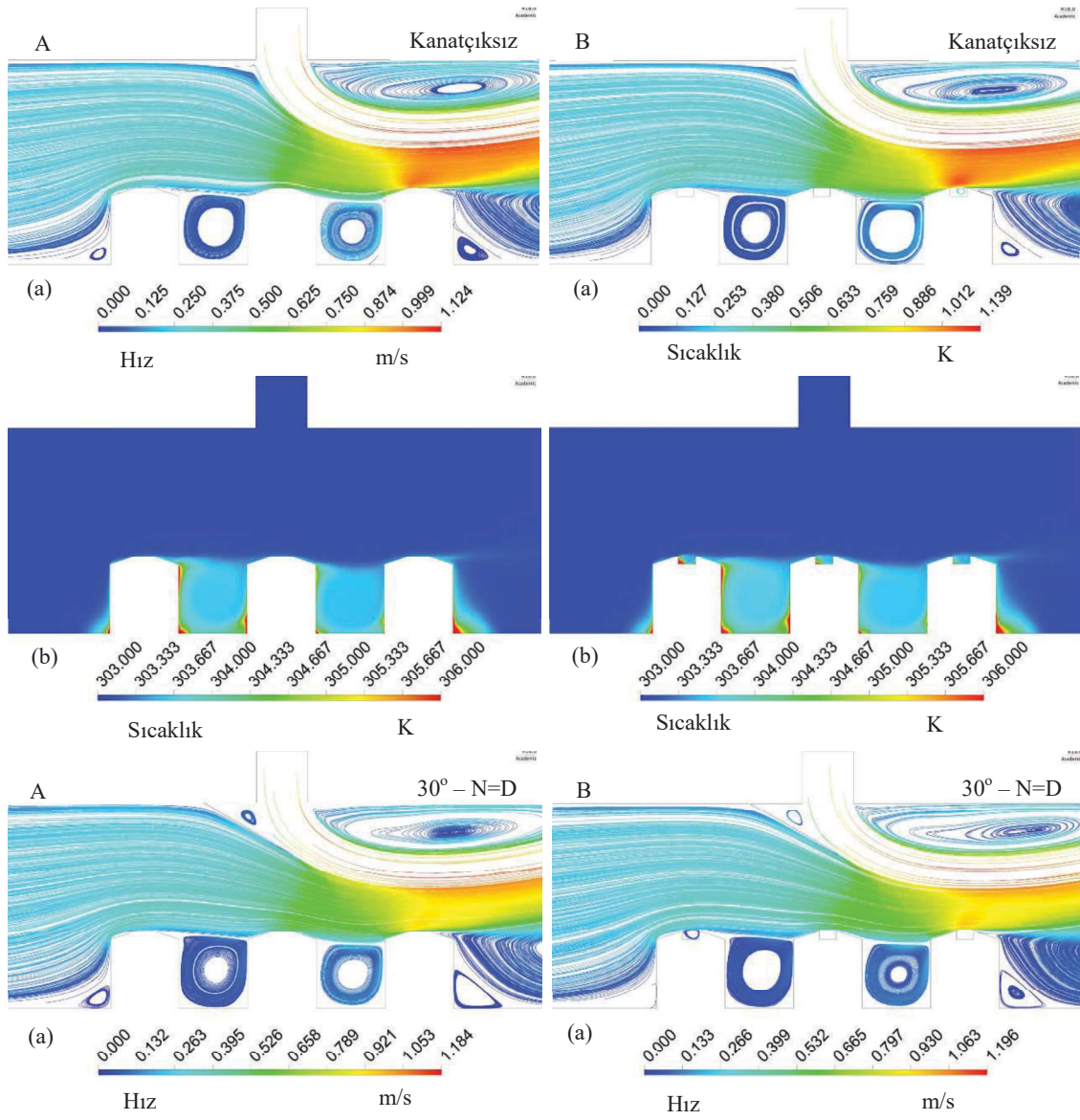
Tablo 4. Kanatçiksız ve $N=D$ kanatçık uzaklıklı ve açılı kanallardaki tüm yamuk ve oyuklu model yüzeylerindeki Nu_{ort} ve T_{ort} değişimleri

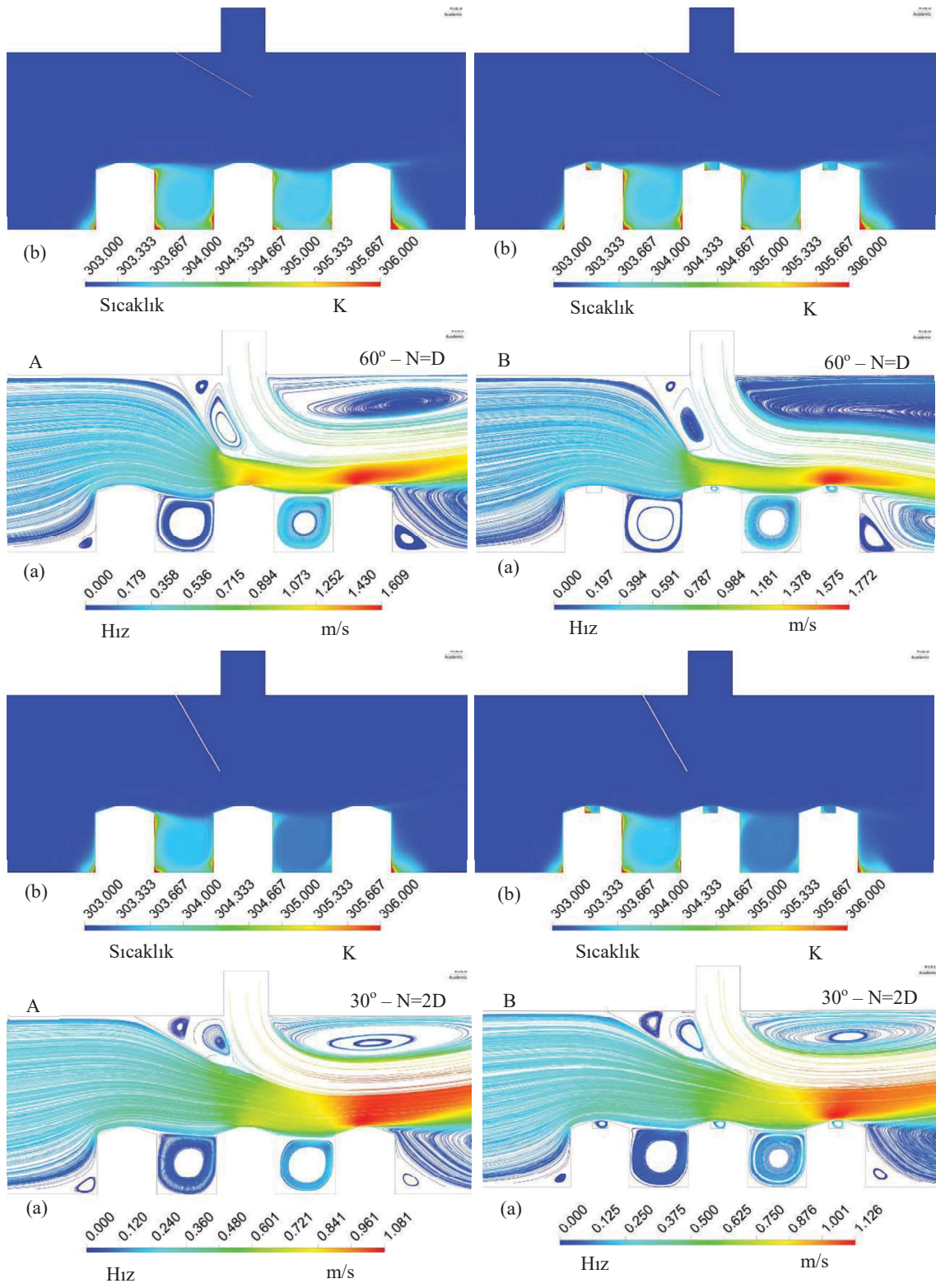
$N=D, H=4D, K=2D$			$Re=7000$		$Re=11000$	
			Yamuk Model	Oyuklu Model	Yamuk Model	Oyuklu Model
Kanatçiksız	Su	Nu_{ort}	85,866	80,066	115,895	109,913
30°	Su	Nu_{ort}	83,162	78,318	112,307	107,544
60°	Su	Nu_{ort}	113,279	107,389	147,975	145,049
Kanatçiksız	SiO_2 -Su	Nu_{ort}	98,6745	92,517	131,516	125,424
30°	SiO_2 -Su	Nu_{ort}	95,621	90,385	127,472	122,540
60°	SiO_2 -Su	Nu_{ort}	128,647	122,566	165,419	161,21
Kanatçiksız	Su	T_{ort} (K)	306,680	307,074	305,328	305,591
30°	Su	T_{ort} (K)	306,861	307,095	305,450	305,606
60°	Su	T_{ort} (K)	305,554	305,843	304,626	304,749
Kanatçiksız	SiO_2 -Su	T_{ort} (K)	306,088	306,422	304,930	305,149
30°	SiO_2 -Su	T_{ort} (K)	306,249	306,440	305,036	305,162
60°	SiO_2 -Su	T_{ort} (K)	305,131	162,76	304,343	304,444

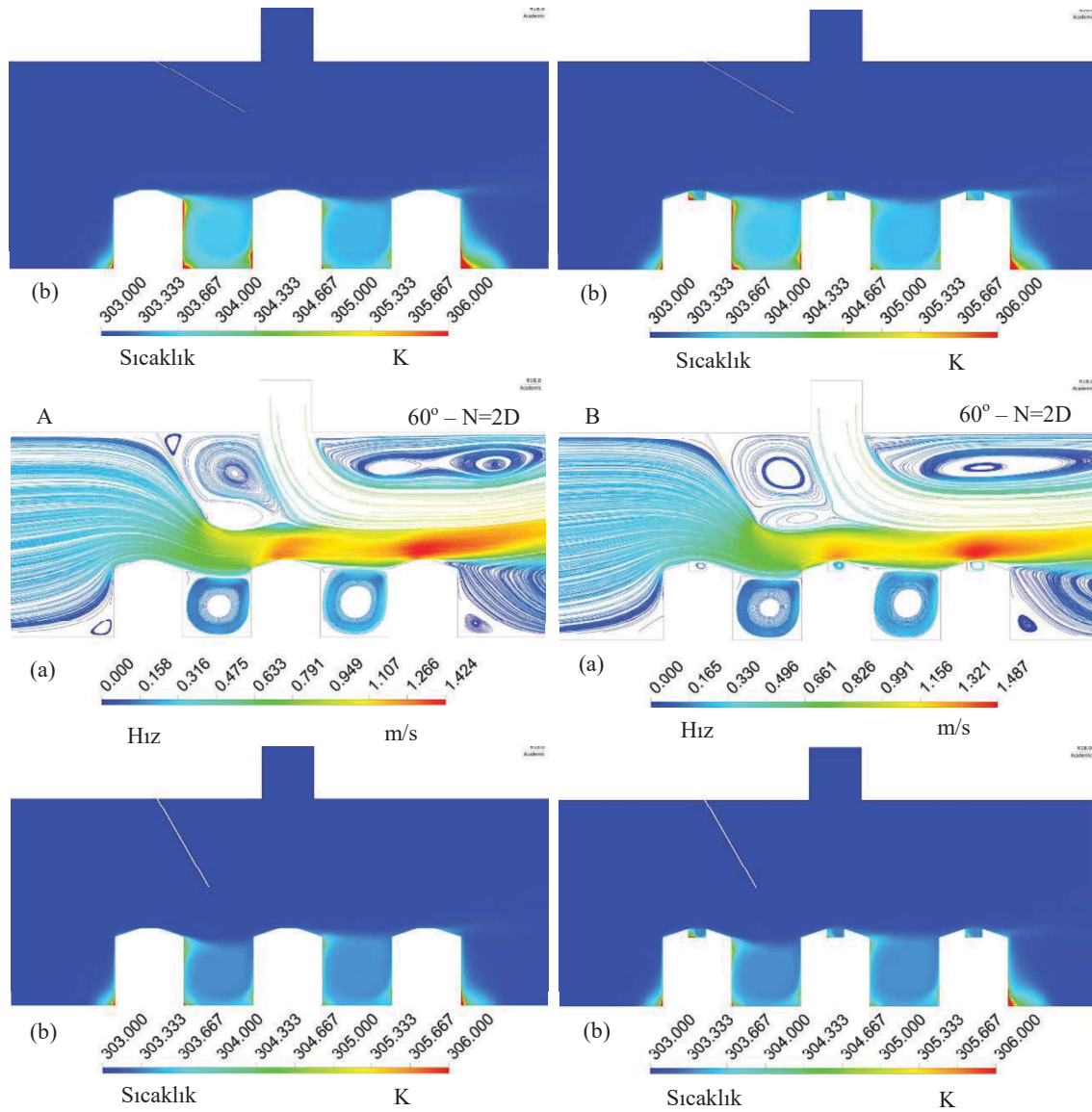
Tablo 5. Kanatçiksız ve $N=2D$ kanatçık uzaklıklı ve açılı kanallardaki tüm yamuk ve oyuklu model yüzeylerindeki Nu_{ort} ve T_{ort} değişimleri

$N=2D, H=4D, K=2D$			$Re=7000$		$Re=11000$	
			Yamuk Model	Oyuklu Model	Yamuk Model	Oyuklu Model
Kanatçiksız	Su	Nu_{ort}	85,866	80,066	115,895	109,913
30°	Su	Nu_{ort}	91,414	86,004	121,983	117,200
60°	Su	Nu_{ort}	119,830	112,215	157,287	148,171
Kanatçiksız	SiO_2 -Su	Nu_{ort}	98,6745	92,517	131,516	125,424
30°	SiO_2 -Su	Nu_{ort}	104,717	99,137	137,793	133,244
60°	SiO_2 -Su	Nu_{ort}	133,845	127,956	169,962	166,271
Kanatçiksız	Su	T_{ort} (K)	306,680	307,074	305,328	305,591
30°	Su	T_{ort} (K)	306,454	306,705	305,217	305,353
60°	Su	T_{ort} (K)	305,092	305,444	304,255	304,544
Kanatçiksız	SiO_2 -Su	T_{ort} (K)	306,088	306,422	304,930	305,149
30°	SiO_2 -Su	T_{ort} (K)	305,924	306,111	304,862	304,952
60°	SiO_2 -Su	T_{ort} (K)	304,842	305,033	304,145	304,272

Şekil 5’ de $Re=11000$ ’ de kanatçiksız ve $N=D$ ve $2D$ konumlu ve 30° ve 60° açılı kanatçıklı birleşik SiO_2 -Su nanoakışkanlı jet akışlı kanallarda A-yamuk B-oyuklu model yüzeyleri için (a) hız-akım ve (b) sıcaklık konturu dağılımları sergilenmektedir. Hız-akım konturu dağılımlarından da görülebildiği gibi kanalın ilk sırasındaki Model 1 yüzeyleri daha çok çapraz akışın etkisi altındadır. Model 2 yüzeyleri ise doğrudan çarpan jetin etkisi altındadır. Buna bağlı olarak kanatçiksız durumda Model 2 ve Model 3 yüzeyleri birleşik jet akışı etkisi altına girmektedir. Buna bağlı olarak da Model 2’ nin bir kısmı dahil olmak üzere ve Model 3 üzerinde akış hızlanmaktadır. Ayrıca, kanal yüksekliğinin fazla olmasına bağlı olarak kanal içerisinde oluşan yeniden dolaşım bölgelerinin büyüklüğü fazladır. Özellikle modeller arasında oluşan bu bölgeler sıcaklık artışına sebep olmaktadır. Bu bölgelerin hareketlendirilmesi ısı transferinin artırılması açısından önemlidir. Kanala kanatçık eklendiğinde (30°), kanatçığın konumuna (N) bağlı olarak akış kontrol altına alınabilmektedir. Böylelikle akış, model yüzeyleri üzerine daha iyi yönlendirilerek soğuma performansı artırılmaktadır. Kanatçık açısı 60° ’ ye çıkarıldığında ise akış yönlendirmesi daha da artırılarak ısı transferi iyileştirilmektedir. Bununla birlikte, kanatçık konumunun $N=2D$ olup, açısının da 60° olduğu durumda birleşik jet akışın Model 1’ e doğru çekilmesiyle kanaldaki tüm yüzeyler üzerinde daha homojen bir akış dağılımı sağlanabilmektedir. Bu da sıcaklık konturu dağılımlarında görülebildiği gibi özellikle model yüzeyleri arasında ısınmış olan yüzeylerin soğumasıyla kendini göstermektedir.







Şekil 5. Kanatçıksız ve farklı kanatçık uzaklıklı ve açılı kanallardaki
A- yamuk ve B- oyuklu modeller için
(a) hız-akım çizgisi (b) sıcaklık konturu dağılımları

6. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Kanatçıksız durumda kanalın girişinde bulunan ilk sıradaki model yüzeyleri genel itibariyle çapraz akışın etkisi altında bulunmaktadır. Bununla birlikte, ikinci sırada bulunan modeller ise doğrudan çarpan jetin etkisi altındadır. Kanalın son sırasındaki Model 3' de kanatçıksız durumda çapraz akış-çarpan jet akış birlikteliği etki etmektedir.
- Model 1 için en düşük Nu sayısı değerleri kanatçıksız ve su akışkanı kullanılan durum için elde edilirken; Model 2 ve 3 için ise 30° açılı ve $N=D$ kanatçık uzaklığı için en az Nu sayısı değerine ulaşılmaktadır.
- Kanala kanatçık eklenmesi, Nu sayısı değerlerinde artış sağlamaktadır. Bunun yanı sıra kanatçığın açısının artırılması (60°) ve kanal girişine doğru yönlendirilmesi ($N=2D$) akışkanın hem model yüzeylerine doğru daha iyi bir şekilde yönlendirilmesini hem de kanal içerisindeki

karışımın türbülans yoğunluğunu artırması dolayısıyla Nu sayısında daha fazla artışa sebep olmaktadır. Böylece ısı transferi artarak, yüzeylerin soğuması iyileştirilmektedir.

- Özellikle $N=2D$ kanatçık uzaklıklı ve 60° açılı kanallarda Model 1 ve 2 için en yüksek Nu sayısı SiO_2 -Su nanoakışkanı kullanılması durumlarında elde edilmektedir.

- Model 1 için $N=2D$ ve 60° açılı SiO_2 -Su nanoakışkanı kullanılması durumlarında kanatçıksız duruma göre sırasıyla yamuk ve oyuklu model yüzeyleri için $Re=9000$ ' de Nu sayısında %47 ve %48' lik artışlar elde edilmektedir.

- Model 2 ve $Re=9000$ için $N=2D$ uzaklıklı ve 30° açılı nanoakışkanlı kanallarda, Model 1' e göre Nu sayısında sırasıyla yamuk ve oyuklu modeller için %2,7 ve %6,07' lik artış olmaktadır. Bununla birlikte, kanaldaki akış yapısına bağlı olarak en düşük Nu sayısı değerine $N=D$ uzaklıklı ve 30° açılı kanalda ulaşılmaktadır.

- Model 3 kanal sonunda bulunmasına rağmen özellikle Re sayısının artmasıyla Model 1 ve 2' ye göre birleşik jet akış etkisinin arttığı görülmektedir. Kanatçık konumunun $N=D$ ve 60° açılı olması durumunda her iki model yüzeyi için de en yüksek Nu sayısına ulaşılmaktadır. En düşük Nu sayısı değerleri ise $N=D$ ve 30° açılı durumda su akışkanı kullanılan kanallarda olmaktadır.

- Kanatçıksız ve su akışkanı kullanılan kanallara göre kanatçıklı ve nanoakışkan kullanılan kanallarda daha yüksek Nu_{ort} değerleri elde edilirken; T_{ort} sıcaklık değerleri de daha düşüktür.

- $N=2D$ kanatçık konumunda $N=D$ ' ye göre elde edilen Nu_{ort} değerleri daha yüksektir.

- $Re=11000$ için $N=2D$ kanatçık konumu ve 60° kanatçık açısında SiO_2 -Su nanoakışkanı kullanılması durumunda su akışkanına göre Nu_{ort} değerinde sırasıyla yamuk ve oyuklu model yüzeyleri için %46,65 ve %51,27'lik artışlar elde edilmektedir.

TEŞEKKÜR

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

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, (2019), no. 176.
- Alnak, D. E., Thermohydraulic performance study of different square baffle angles in cross-corrugated channel, *Journal of Energy Storage*, 28, (2020), no. 101295.
- 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, (2018), no. 012098.
- Demircan, T., Numerical Analysis of Cooling An Electronic Circuit Component with Cross Flow and Jet Combination, *Journal of Mechanics*, 35 (2019), pp. 395-404.
- Genc, 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, (2009), pp. 217-231.
- 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, (2010), pp. 2155-2164.
- 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, (2011), pp. 218-235.
- 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 (2022), 1, pp. 57-74.
- 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 (2020), pp. 2169-2191.
- Karabulut, K., Heat transfer improvement study of electronic component surfaces using air jet impingement, *Journal of Computational Electronics*, 18, (2019), pp. 1259-1271.
- 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 (2020), pp. 88-98.
- 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, (2021) 2, pp. 300-316.
- 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 (2018), pp. 121-132.
- Kumar, D., Zunaid, M., Gautam, S., Heat Sink Analysis in Jet Impingement with Air Foil Pillars and Nanoparticles, *Materials Today: Proceedings*, 46 (2021), pp. 10752-10756.
- Ma, C. F., Bergles, A. E., Boiling jet impingement cooling of simulated microelectronic chips, *Heat Transfer in Electronic Equipment HTD*, 28, (1983), pp. 5-12.
- 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, (2011), pp. 767-773.
- 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 (2015), pp. 235-246.
- Wang, S. J., Mujumdar, A. S. A comparative study of five low Reynolds number k- ϵ models for impingement heat transfer, *Applied Thermal Engineering*, 25, (2005), pp. 31-44.
- 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 (2022), pp. 337-354.