

Kanaldaki Jet Akış Sayısına Bağlı Olarak Farklı Model Yüzeylerinden Olan Isı Transferi ve Akış Yapısının Analizi

Koray KARABULUT^{*1} ORCID 0000-0001-5680-0988
Yeliz ALNAK² ORCID 0000-0003-4383-3806

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, Doğalgaz ve Tesisatı Teknolojisi Programı, Sivas

²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Sivas

Geliş tarihi: 14.02.2023

Kabul tarihi: 28.03.2023

Atıf şekli/ How to cite: KARABULUT, K., ALNAK, Y., (2023). Kanaldaki Jet Akış Sayısına Bağlı Olarak Farklı Model Yüzeylerinden Olan Isı Transferi ve Akış Yapısının Analizi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(1), 49-60.

Öz

Çalışmada, D_h jet giriş genişlikli kanallardaki düz ve üçgen basamak modellenmiş yüzeylerden olan ısı transferi üç adet hava jeti akışı kullanılarak araştırılmıştır. Araştırmalar, sayısal olarak sürekli ve üç boyutlu k-ε türbülans modeli kullanılarak Ansys-Fluent bilgisayar programıyla gerçekleştirilmiştir. Kanal yüzeyleri adyabatik olup yalnızca model yüzeylerinde sabit ısı akısı bulunmaktadır. Çalışmanın sonuçları literatürde bulunan çalışmanın sayısal ve deneysel çıktılarıyla karşılaştırılmış ve uyumlu oldukları belirlenmiştir. Sonuçlar, her bir model yüzeyi için ortalama Nu sayısı ve yüzey sıcaklığının değişimi olarak verilmiştir. Farklı Re sayıları ve H/D_h oranlarında model yüzeyleri için kanal boyunca jet akışının hız-akım ve sıcaklık konturu dağılımları değerlendirilmiştir. $Re=10000$ için $H/D_h=3$ 'de düz basamak desenli model yüzeyinin Nu_o sayısının, üçgen basamaklı yüzeyden %45,18 daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Üçlü hava jeti, Model yüzey, Soğutma

Analysis of Heat Transfer and Flow Structure from Distinct Model Facets Depending on the Number of Jet Flows in Channel

Abstract

In study, heat transfer from flat and triangular step pattern facets in channels with D_h jet inlet width was investigated using three air jet streams. The studies were carried out with the Ansys-Fluent computer program using the numerical time-independent and three-dimensional k-ε turbulence model. The channel facets are adiabatic and only the model facets have a constant heat flux. The outcomes of the work were

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Koray KARABULUT, kkarabulut@cumhuriyet.edu.tr

matched with the scalar and empiric outcomes of the work in the litterateur, and it was achieved that they are comparable. The outcomes are performed as the mean Nu number and diversity of facet temperature for each model facet. Velocity-flow and temperature contour dispersions of the jet flow throughout the duct were commented for the model facets with distinct Re numbers and H/D_h ratios. It was interpreted that the Nu_o number of the flat step patterned model facet at $H/D_h=3$ for $Re=10000$ is 45.18% higher than the triangular step facet.

Keywords: Triple air jet, Model surface, Cooling

1. GİRİŞ

Hızlı teknolojik gelişim, sanayileşme süreci ve nüfus artışına bağlı olarak enerji tüketimindeki artış, günümüzün önemli problemlerinden biri olan küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliğinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bu sebeple, enerjiyle ilgili bilim dallarında çalışan mühendisler enerji tüketimi daha az olan ve verimliliği yüksek cihazların geliştirilmesi üzerine daha fazla araştırma ve geliştirme yapma gayreti içerisindeyler. Böylece, günümüz yüksek teknolojili ürünlerinde karşılaşılan en büyük problemlerden biri olan ısınma ve bunun sonucunda güvenilir sıcaklık sınırlarını aşma problemiyle karşılaşma olasılığı da azalacaktır. Çarpan jet tekniği ile ısı transferi, elektronik sistemlerde fazla ısı üreten cihaz ve ekipmanların soğutulmasında kullanılan yüksek ısı transferi karakteristiğine sahip gelişmiş bir soğutma teknolojisidir [1-2]. Soğutma işleminin çarpan jet tekniği kullanılarak gerçekleştirilmesiyle yüksek ısı üretim kapasiteli cihazlardan daha fazla ısının transferi olanaklı hale gelmektedir [3].

Literatürde çarpan jet ile ısı transferi hakkında çeşitli çalışmalar bulunmakla birlikte; yapılan çalışmaların birinde Arguis ve arkadaşları [4] laminer hava jeti akışına sahip bir kanalda ısıtılmış bloklardan olan ısı transferini incelemişler ve bunun için jet Re sayısı, kanal yüksekliği, jet giriş genişliği, soğutma plakaları arasındaki mesafe, plakaların yüksekliği ve ısı transfer katsayılarının etkisini değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak, genel itibarıyla kanal yüksekliğinin azalması ve Re sayısının artmasıyla blokların etkili bir şekilde soğutulmasının mümkün olduğunu belirlemişlerdir. Karabulut ve Alnak [5] sabit ısı

akışına sahip bakır plaka yüzeylerinin hava jeti akışı ile soğumasını incelemişlerdir. Çalışmada, desenli model yüzeylerin soğutma performanslarının desen şekli ve jet ile plaka arasındaki uzaklığın Re sayısı ile kıyaslandığında daha önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Bir diğer çalışmada, Karabulut ve Alnak [6] çatı ve ters yamuk şeklinde iki farklı modele sahip bakır plakalı yüzeylerden olan ısı transferini farklı jet giriş genişliklerinde bir tek hava jeti akışı kullanarak incelemişlerdir. Çalışma, Re sayısının 5000-11000 değerlerinde ve jet-plaka arası uzaklığın 3 ve 6 oranlarında yapılmıştır. $0,5D_h$ jet giriş genişliğinde, $H/D_h=6$ iken $Re=5000$ için ortalama Nu sayısı değerinin çatı desenli yüzey için ters yamuk desenli yüzeyden %25,92 daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Zou ve arkadaşları [7] deneylerinde ve sayısal simülasyonlarında hava soğutma sürecinde ara yüzey ısı transferini ve gaz akışını araştırmak için yüksek hızlı sıkıştırılmış hava çarpmasını kullanmışlardır. Numune çapının ve jet mesafesinin (jetten soğutma yüzeyine olan mesafe) akış modeli ve sıcaklık alanları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Barbosa ve arkadaşları [8] sınırlandırılmış ve çevrelendirilmiş çoklu hava jeti çarpmasının ayrıntılı bir analizini gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla, çoklu hava jeti çarpma sistemlerindeki jetin akış dinamikleri ve ısı transfer karakteristiklerinin bir incelemesi sunmuşlardır. Ayrıca, bu çalışmada taşınım ısı transfer sürecini etkileyen yüzey tasarımı ve hareketi, jet eğimi ve yüksek jet sıcaklığı gibi parametreler incelenmiştir. Sonuç olarak, tekli ve çoklu jet çarpmasının ısı transferini karakterize etmek için ortalama Nu sayısı ile ilgili bağıntılar özetlenmiştir. Belarbi ve arkadaşları [9] ise bilgisayar işlemcisinin soğutma performansını artırmak için hava jeti çarpmalı bir kanalda bloğun

ısı ve aerodinamik özelliklerinin deneysel araştırmasını gerçekleştirmişlerdir. Hız profili ve sıcaklık üzerinde jet çarpma mesafesinin etkisini incelemişlerdir. Radmard ve arkadaşları [10] su jeti çarpmasına maruz kalan çipe bağlı bir mikro iğne kanatlı soğutma cihazından ısı transferini araştırmıştır. Bu amaçla, iğne kanat kesiti, kanatçık aralığı ve kanat yükseklik profili gibi tasarım parametrelerinin davranış parametreleri üzerindeki etkisi, hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ve tam faktöriyel deney tasarımı (FFD) kullanılarak incelenmiştir. Genel analiz, optimize edilmiş soğutma cihazının termal ve hidrolik performansta ilk çalışma tasarımını geçebileceğini göstermiştir. Rathore ve Verma [11] Re sayısındaki ve kaydırma oranındaki (OR) değişimin türbülanslı akış ve eğik kaydırılmış jetlerin termal özellikleri üzerindeki etkileri hakkında sayısal çalışma yapmışlardır. Jet eğiklik açısı ve Reynolds sayısının daha yüksek olması durumunda, ısıtılmış çarpma duvarından akışkana ısı transferinin daha yoğun olduğunu elde etmişlerdir. Karabulut [12] içerisinde sabit ısı akısı altında ısıtılmış beşer adet ters ve düz daire olmak üzere bulunan farklı desenli model yüzeylerinden olan ısı transferini tek bir hava jeti akışı kullanarak sayısal olarak araştırmıştır. Model yüzeylerinin soğuma performansları üzerinde model deseninin ve jet-plaka arası uzaklığın Re sayısı ile kıyaslandığında daha büyük bir öneme sahip olduğunu bulmuştur. Mushatat [13] çarpan jet akışlarının ısı transferi ve akış özelliklerini sayısal olarak araştırmıştır. Nu sayısı ve türbülans kinetik enerji değerlerinin, jetin Re sayısı ve jetler arası mesafeden önemli derecede etkilendiğini saptamıştır. Oluşturulan modellerin ısı kaynağı üzerine yerleştirilen dairesel, kare ve üçgen kanatların ısı transfer performansları $500 \leq Re \leq 10.000$ aralığında Koca ve Güder [14] tarafından incelenmiştir. İncelenen modellerde ısı transferi açısından en iyi çalışma sonucunu $Re = 5000$ ile $Re = 6500$ arasında elde etmişlerdir. Bununla birlikte, en iyi ısı performansına dairesel kanatlı modelde ulaşılmıştır.

Bu çalışmada, $a=D_h$ jet giriş genişlikli kanallar içerisindeki düz basamak ve üçgen basamak

modelli bakır plakalı yüzeylerin üç adet hava jeti akışı ile ısı transferinin sayısal incelemesi yapılmıştır. İncelenen jet Re sayısı aralığı 4000-10000 iken jet-plaka arası uzaklığı ise 3, 6 ve $10D_h$ 'dir. Elde edilen sonuçlar, düz basamak ve üçgen basamak olarak her bir model yüzeyi için ortalama Nu sayısı ve yüzey sıcaklık değişimleri olarak incelenmiştir. Farklı H/D_h oranları ve modeller için kanal boyunca üçlü jet akışın sıcaklık ve hız-akım çizgisi konturu dağılımları model yüzeyleri için değerlendirilmiştir.

2. SAYISAL MODELLEME

Çalışmada, zorlanmış taşınım ısı transferinin sayısal olarak hesaplamalı çözümünde Ansys-Fluent programından yararlanılmıştır.

Gövde kuvvetinin bulunmadığı, zamandan bağımsız türbülanslı akış için zaman ortalamalı kütle, momentum ve enerjinin korunumu denklemlerinden türetilen kısmi türevli diferansiyel denklemlerin çözümüyle çalışmanın sonuçları elde edilmiştir [15].

Süreklilik denklemi

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

Momentum denklemi

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{u}_i \bar{u}_j) = \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u'_i u'_j} \right] \quad (2)$$

Enerji denklemi

$$\rho c_p \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{u}_i \bar{T}) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[k \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} - \rho c_p \overline{T' u'_i} \right] \quad (3)$$

Türbülans kinetik enerji denklemi

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k' u_i) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho k') = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k'}{\partial x_j} \right] + \quad (4)$$

$$G_k - \rho \varepsilon$$

Türbülans kinetik enerji yutulma terimi

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \quad (5)$$

$$C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k'} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k'}$$

Bu denklemlerde, ρ akışkanın yoğunluğunu, k' türbülanslı akışın kinetik enerjisini, u_i , x, y ve z eksenleri doğrultusundaki hız bileşenlerini, μ akışkanın viskozitesini, σ_k türbülanslı kinetik enerji Prandtl sayısını ($\sigma_k = 1$) göstermektedir. Türbülanslı kinetik enerji üretimi (G_k) ve türbülanslı akışın viskozitesini (μ_t) veren eşitlikler aşağıda verilmiştir [16].

$$G_k = -\rho u_i' u_j' \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (6)$$

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k'^2}{\varepsilon} \quad (7)$$

$C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$ ve C_μ katsayıları, σ_ε ise türbülans yutulma Prandtl sayısını temsil etmektedir ve sırasıyla $C_{1\varepsilon} = 1,44$, $C_{2\varepsilon} = 1,92$, $C_\mu = 0,09$ ve $\sigma_\varepsilon = 1,3$ olarak alınmıştır [15].

Reynolds sayısı (Re) Eşitlik (8) ile hesaplanmaktadır

$$Re_k = \frac{V_\infty D_h}{\nu} \quad (8)$$

Burada D_h , jet girişinin hidrolik çapıdır.

$$D_h = \frac{4A_c}{P} = \frac{4(aW)}{2(a+W)} \quad (9)$$

Bu denklemde A_c ve P sırasıyla jet girişinin kesit alanı ve çevre uzunluklarıdır.

Ortalama ısı taşınım katsayısı

$$h_o = \frac{1}{L} \int_0^L h dx \quad (10)$$

Ortalama Nu sayısı

$$Nu_o = \frac{h_m D_h}{k} \quad (11)$$

Eşitlik (10) ve (11)' de h ve h_o sırasıyla yerel ve ortalama ısı taşınım katsayılarını belirtmektedir.

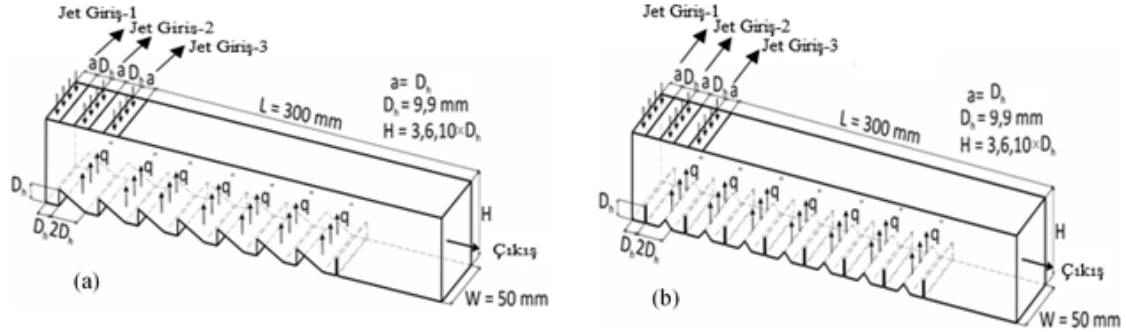
3. MODELLERİN TASARIMI

Şekil 1'de çalışmada kullanılan model yüzeylerinin olduğu kanalların perspektif görüntüleri verilmektedir. Şekil 1 (a) ve (b)' de gösterilen düz ve üçgen basamak modellerin şekilleri kanal sonuna kadar 50 mm' lik kanal genişliği boyunca devam etmektedir. Ayrıca, üçlü jet girişi Şekil 1' deki her iki kanal için de gösterilmiş olup; kanallarda yedişer adet desenli model yüzeyi bulunmaktadır. Uniform hız profilli dikdörtgen jet püskürtücüsünün boyutları 4,95×50mm ve 9,9×50 mm ölçülerindedir. Kanal ölçülerine bağlı olarak iki farklı kanal içerisinde yedi adet düz basamak ve

yedi adet üçgen basamak modelli ardışık yüzey bulunmaktadır. Bununla birlikte, modellerin genişlik ve yükseklikleri $2D_h$ ve D_h ' dir.

Bu çalışma için uygulanan kabuller ise şunlardır:

- Üç boyutlu, sürekli ve türbülanslı akış mevcuttur.
- Sıkıştırılmaz hava, jet akışkanı olarak kullanılmıştır.
- Model yüzeylerine uygulanan ısı akısı sabit ve 1000 W/m^2 değerindedir.
- Akışkanın ısıl özellikleri, 300 K sıcaklıkta sabit olarak alınmıştır.
- Akışkan ve model yüzeylerinde ısı üretimi bulunmamaktadır.



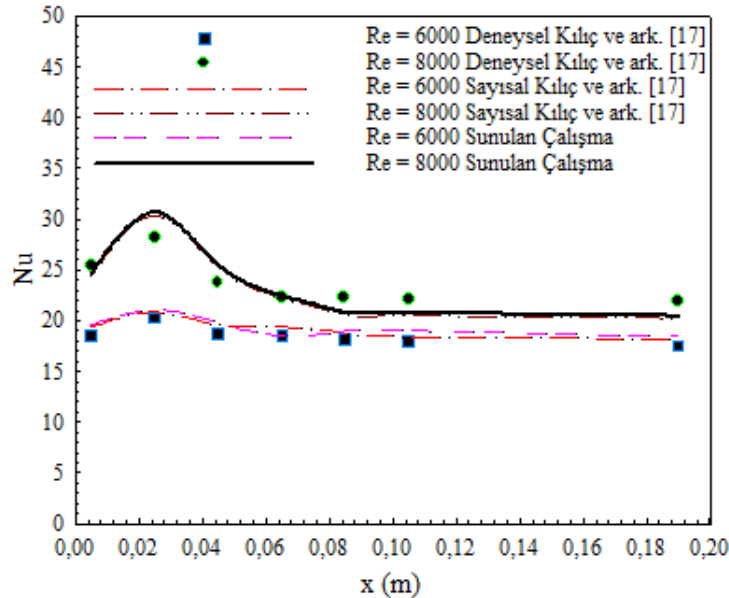
Şekil 1. Kanalların ve modellerin perspektif görüntüleri (a) düz basamak (b) üçgen basamak model yüzeyi

4. SONUÇLAR VE BULGULAR

Kılıç ve arkadaşları [17]'nin gerçekleştirdikleri çalışmanın deneysel ve sayısal Nu sayısı sonuçları, $H/D_h=6$ ve $Re=6000$ ve 8000 ' de bu çalışmanın sayısal sonuçlarıyla kıyaslanmış ve ulaşılan sonuçlar Şekil 2'de verilmiştir. Buna göre, farklı Re sayılarında Kılıç ve arkadaşları [17]'nin deneysel sonuçlarıyla bu çalışmanın sayısal sonuçları arasındaki fark %3,99-%9,15 arasında değişirken; Kılıç ve arkadaşları [17]'nin sayısal sonuçları ile bu çalışma arasındaki sapma ise %1 dolaylarındadır. Buna göre, bu çalışmanın sayısal

sonuçlarının kabul edilebilir doğrulukta olduğu sonucuna varılabilmektedir.

$H/D_h=4$ için kanaldaki ağ sayısının model yüzeylerinin ortalama Nu sayıları (Nu_o) üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla düz basamak ve üçgen basamak modellenmiş yüzeyleri dikkate alınarak gerçekleştirilen ağ bağımsızlık testlerinin sonuçları sırasıyla Çizelge 1 ve 2'de verilmektedir. Ulaşılan sonuçlar, düz ve üçgen basamak modellenmiş yüzeylerin bulunduğu kanallar için sırasıyla 1785450 ve 1364330 adet ağ elemanın yeterli olduğunu göstermiştir.



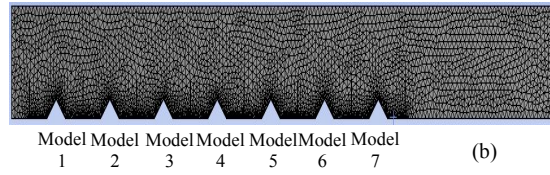
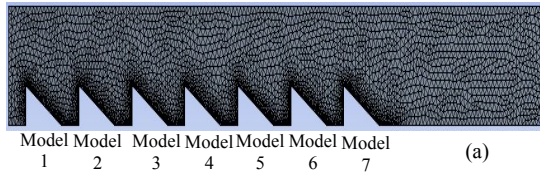
Şekil 2. Literatürle sonuçların kıyaslanması

Çizelge 1. Düz basamak modellenli kanal için Nu_o için ağ sayısından bağımsızlık testi

Ağ sayısı	Nu_o Re=4000	Nu_o Re=6000	Nu_o Re=8000	Nu_o Re=10000
478514	20,14	28,47	37,48	45,78
1683451	21,43	30,45	39,29	47,36
1785450	21,42	30,44	39,27	47,37

Çizelge 2. Üçgen basamak modellenli kanal için Nu_o için ağ sayısından bağımsızlık testi

Ağ sayısı	Nu_o Re=4000	Nu_o Re=6000	Nu_o Re=8000	Nu_o Re=10000
547821	13,47	19,84	25,47	30,58
1364330	15,11	21,17	26,91	32,64
1547812	15,11	21,17	26,89	32,63



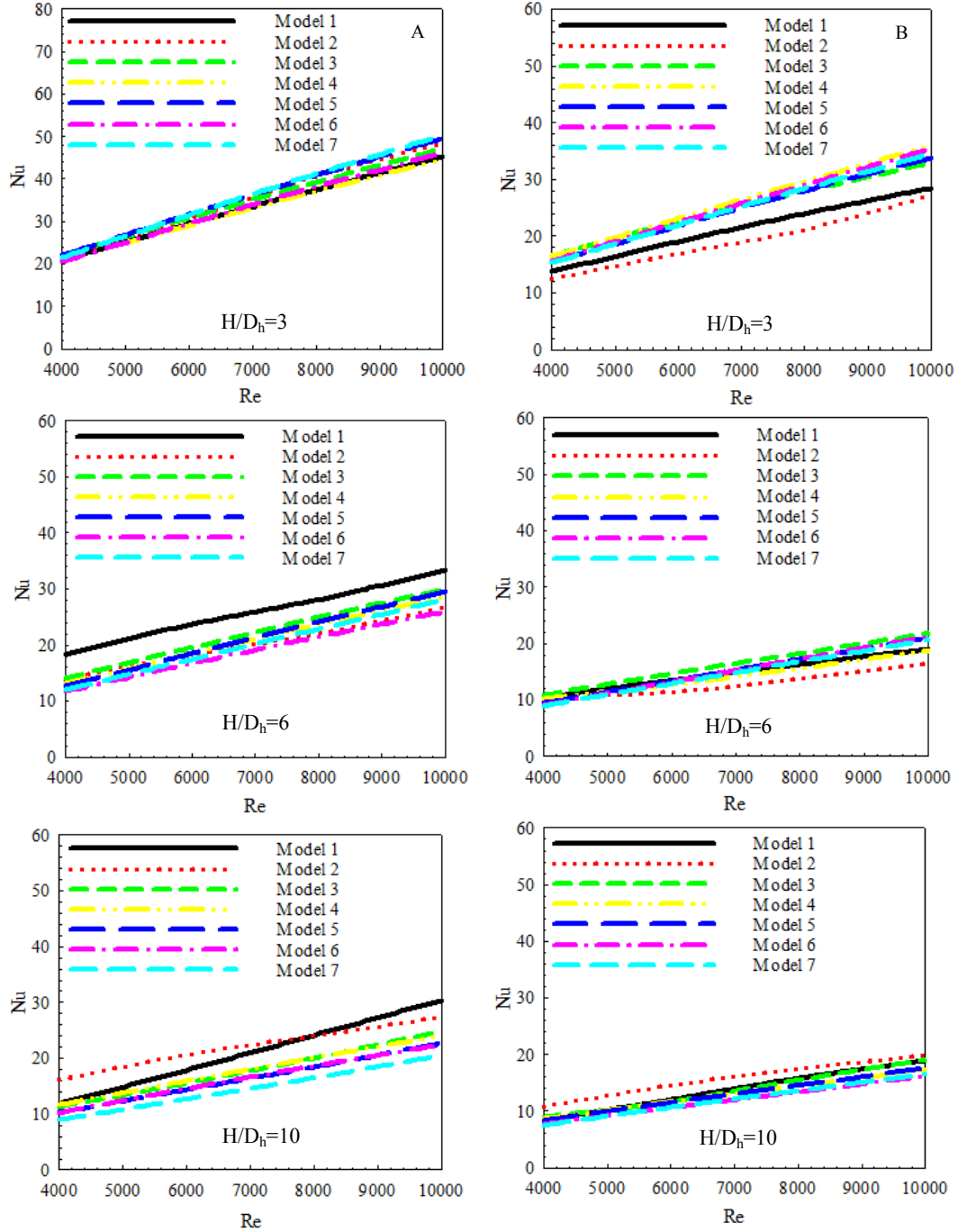
Şekil 3. Hesaplama kullanılan (a) düz basamak (b) üçgen basamak modellenli kanalların ağ yapıları

Düz basamak ve üçgen basamak modellenli yüzeyler için kanallardaki ağ yapıları, görünürlük için yakınlştırılarak Şekil 3 (a) ve (b)'de sunulmuştur.

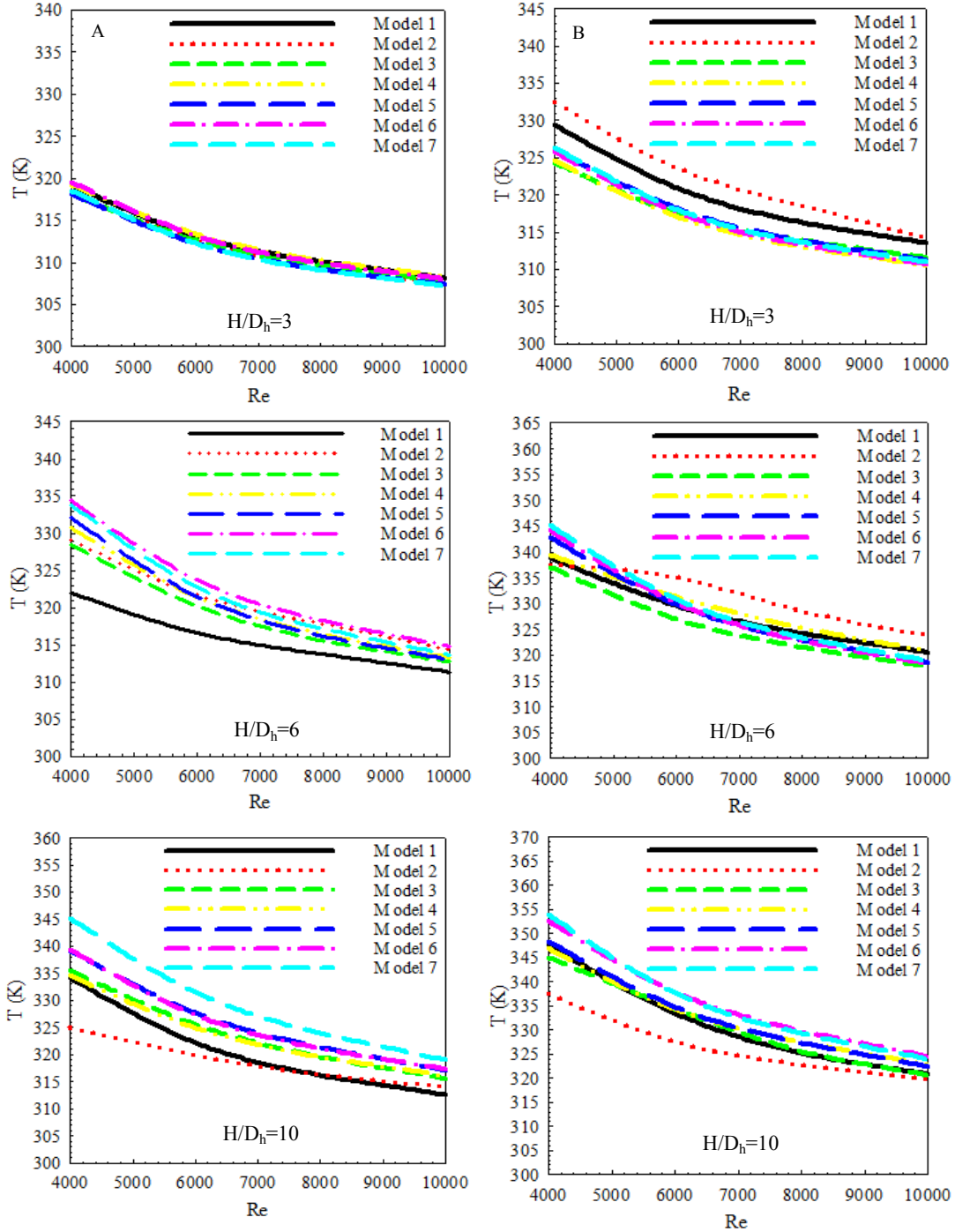
Şekil 4. A-Düz basamak ve B-Üçgen basamak desenli model yüzeyleri için $a=D_h$ jet giriş genişliklerinde üçlü hava jeti akışının olduğu kanallardaki model sıralarına göre ortalama Nu sayısının Re sayısına göre farklı H/D_h (3, 6 ve 10) oranlarında verilmektedir. Kanallarda bulunan desenli model yüzeylerine, Re sayılarına ve H/D_h kanal yükseklik oranlarına bağlı olarak jet akışların desenli yüzeyler üzerindeki etkileşimleri değişmektedir. Buna bağlı olarak, modeller için farklı desen sıralarında ortalama Nu sayılarının değerleri değişkenlik göstermektedir. $H/D_h=3$ için düz basamaklı Model 7 için en yüksek ortalama Nu sayısı değerlerine ulaşılırken; üçgen basamak için Model 4' de ulaşılan Nu sayısı değerleri diğer desen sıralarına göre daha fazladır. H/D_h ' in 6 ve 10 değerleri için de benzer durum görülmekle birlikte, Nu sayısı değerleri $H/D_h=3$ ' e göre azalış sergilemektedir. Bu duruma, kanal yüksekliği arttıkça model yüzeyleri üzerinde görülen üçlü çarpan jet akış etkisinin azalmasının neden olduğu söylenebilir. H/D_h oranı 3' den 10' a çıkarıldığında $Re=6000$ ' de birinci sıradaki Model 1 için düz basamaklı ve üçgen basamaklı model yüzeylerindeki ortalama Nu sayısı değerlerindeki azalma miktarları sırasıyla %64,74 ve %58,7 olmaktadır. Ayrıca, tüm H/D_h oranlarında düz

basamak model için elde edilen Nu sayısı değerleri; üçgen basamak model yüzeylerinden daha fazladır. $H/D_h=6$ ve $Re=8000$ değerinde düz basamak Model 6 için ulaşılan Nu sayısı değeri, üçgen basamaklı model yüzeyinden %24,03 daha yüksektir. Çarpan jet akışlarının düz basamak model yüzeyleriyle olan daha iyi etkileşimi sonucu artan ısı transferi etkisiyle üçgen basamaklı model yüzeylerine göre daha yüksek Nu sayıları elde edilebilmektedir.

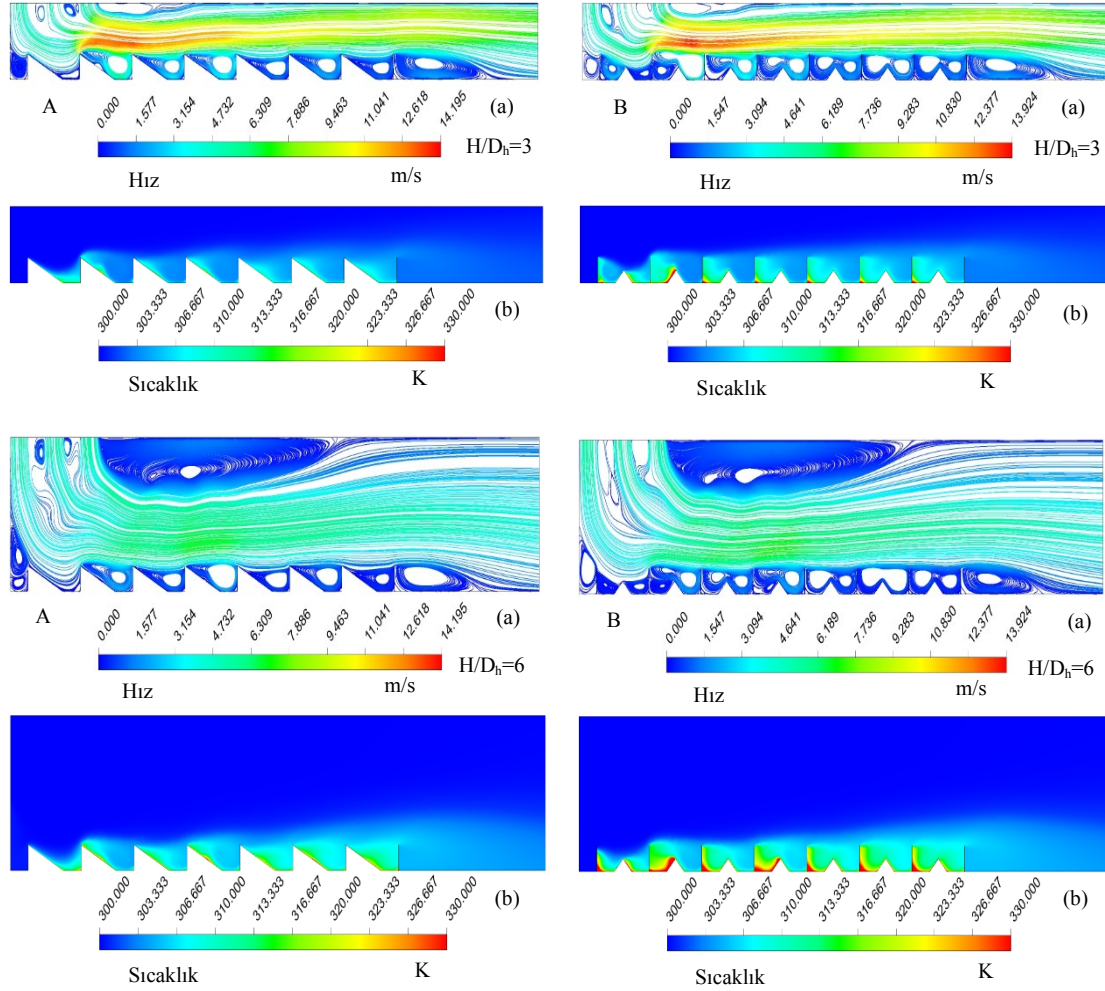
$a=D_h$ jet girişliğine sahip üçlü jet akışlı kanallarda bulunan A-Düz basamak ve B-Üçgen basamak desenli model yüzeylerinin kanal girişinden itibaren sıralanış düzenlerine göre ortalama yüzey sıcaklıklarının H/D_h oranlarına ve Re sayılarına göre değişimleri Şekil 5' de gösterilmektedir. Re sayısındaki artışla artan ısı transferiyle her iki model şekli ve tüm H/D_h oranları için yüzey sıcaklıkları azalmaktadır. Soğuma etkisinin daha yüksek olduğu model sırasında daha düşük yüzey sıcaklıkları elde edilmektedir. Bununla birlikte, H/D_h oranının artışıyla model yüzey sıcaklık değerleri artmakta olup; üçlü çarpan hava jeti akışı etkisinin daha az olduğu üçgen basamaklı modellerdeki sıcaklık değerleri; düz basamaklı modellere göre daha fazla olmaktadır. Buna göre, üçlü çarpan jet akışının model yüzeyleriyle olan temaslarının artırılması; jet akışkana olan ısı transferini artırarak soğuma performansını iyileştirmektedir.



Şekil 4. $a=D_h$ giriş genişlikli üçlü jet akışlı kanallardaki A-düz basamak B-üçgen basamak modelli yüzeylerin kanaldaki sıralanış düzenlerine göre ortalama Nu sayısının Re sayısı ile değişimi



Şekil 5. $a=D_h$ giriş genişlikli üçlü jet akışlı kanallardaki A-düz basamak B-üçgen basamak modelli yüzeylerin kanaldaki sıralanış düzenlerine göre ortalama yüzey sıcaklıklarının Re sayısı ile değişimi



Şekil 6. $a=D_h$ giriş genişlikli ve üçlü jet akışlı A-düz basamak B-üçgen basamak model yüzeyli kanallardaki (a) hız-akım (b) sıcaklık konturu dağılımları

$a=D_h$ jet giriş genişliğine sahip üçlü jet akışı girişli ve $H/D_h=3$ ve 6 olan kanallarda bulunan A-Düz basamak ve B-Üçgen basamak desenli model yüzeyleri için (a) Hız-akım, (b) Sıcaklık konturu dağılımları $Re=6000$ değerinde Şekil 6'da sunulmaktadır. $H/D_h=3$ kanal yüksekliği oranında kanala giriş yapan ilk jet akışları birinci desenli yüzeylere çarptıktan sonra model desenine bağlı olarak diğer jet akışıyla birleşerek üçlü olarak model yüzeyleri üzerinden kanalları terk etmektedir. Hız-akım konturu dağılımlarından da görülebildiği gibi özellikle üçgen basamak model yüzeyli kanalda düz basamak modele göre

model aralarında oluşan yeniden dolaşım bölgelerinin yoğunluğu daha fazladır. Yeniden dolaşım bölgeleri, akışkanın kendi içinde sirkülasyon halinde olduğu bölgeler olduğundan bu bölgelerin varlığı ısı transferinin azalmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle, üçgen basamak modellenmiş kanalda model yüzeyi etrafındaki sıcaklık daha yüksek olmaktadır. Kanal yükseklik oranı (H/D_h) 6 değerine çıkarıldığında ise oluşan yeniden dolaşım bölgeleri kendi aralarında birleşerek kanal içerisindeki büyüklükleri artmaktadır. Bu durum da jet akışının desenli model yüzeyleri üzerindeki etkisini azalttığından her iki

desenli model yüzeyi için de yüzeylerden olan ısı transferi azalarak model yüzey sıcaklıklarının artmasına neden olmaktadır.

Çizelge 3’de kanallarda bulunan yedişer adet desenli düz basamak ve üçgen basamak model yüzeylerinin hepsi için ortalama Nu sayısı (Nu_o) ve üçlü hava jeti akışlarının kanallardan çıkış sıcaklıklarının (T_c) farklı kanal yükseklikleri oranlarında Re sayısına bağlı değişimleri gösterilmektedir. Tablodan da görüldüğü gibi Re sayısının artışıyla Nu_o değerleri artarken; H/D_h oranındaki artışla azalmaktadır. Bununla birlikte, düz basamak desenli model yüzeylerinde üçlü jet akışı etkisinin kanal içerisindeki akışkan

hareketinde ve özellikle model yüzeyleri arasında ısı transferini daha iyi artırmasıyla üçgen basamaklı modele göre Nu_o değerleri daha fazla olmaktadır. $Re=10000$ için $H/D_h=3$ ’ de düz basamak desenli model yüzeyinin Nu_o sayısı, üçgen basamak desenli yüzeyden %45,18 daha yüksektir. Ayrıca, jet akışların kanaldan çıkış sıcaklığı değerleri (T_c) artan Nu_o sayısı ile akışkanın ısı transferinin gerçekleşmesi için yeterli zaman bulamaması nedeniyle daha düşük değerlerdedir. Bu durumun sebebi, iletimle olan ısı transferinin daha fazla olmasıyla birlikte; taşınım ısı transferi direncinin düşük olması genel ısı transferini artırıcı etki sağlamaktadır.

Çizelge 3. $a=D_h$ giriş genişlikli ve üçlü jet akışlı kanallardaki model yüzeylerinin tümü için ortalama Nu sayısı (Nu_o) ve jet akışların kanaldan çıkış sıcaklıkları (T_c)

Düz Basamak Desen	$H/D_h=3$		$H/D_h=6$		$H/D_h=10$	
	T_c (K)	Nu_o	T_c (K)	Nu_o	T_c (K)	Nu_o
Re=4000	311,97	21,43	311,9	13,69	311,47	11,53
Re=6000	311,32	30,45	311,26	18,99	310,96	15,98
Re=8000	310,98	39,29	310,95	23,91	310,71	20,29
Re=10000	310,79	47,39	310,75	28,94	310,57	24,64
Üçgen Basamak Desen	$H/D_h=3$		$H/D_h=6$		$H/D_h=10$	
	T_c (K)	Nu_o	T_c (K)	Nu_o	T_c (K)	Nu_o
Re=4000	312,08	15,11	311,91	10,01	311,67	8,68
Re=6000	311,39	21,17	311,27	13,16	310,75	11,83
Re=8000	311,04	26,91	310,94	16,52	310,55	14,98
Re=10000	310,84	32,64	310,75	19,87	310,44	17,91

5. GENEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, D_h jet giriş genişliğindeki kanallarda bulunan sabit ısı akılı ve bakır plakalı düz basamak ve üçgen basamak modellenmiş yüzeylerin üç adet jet akışı kullanılarak soğutulması ve kanallardaki akış yapıları incelenmiştir. Çalışma sonucunda ulaşılan veriler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Kanallarda bulunan desenli model yüzeylerine, Re sayılarına ve H/D_h kanal yükseklik oranlarına bağlı olarak jet akışların desenli yüzeyler üzerindeki etkileşimleri değişmektedir.

- $H/D_h=3$ için düz basamaklı Model 7 için en yüksek ortalama Nu sayısı değerlerine ulaşılmışken; üçgen basamak için Model 4’ de ulaşılan Nu sayısı değerleri diğer desen sıralarına göre daha fazladır.
- H/D_h ’ in 6 ve 10 değerleri için de benzer durum görülmekle birlikte, Nu sayısı değerleri $H/D_h=3$ ’ e göre azalış sergilemektedir.
- H/D_h oranı 3’ den 10’ a çıkarıldığında $Re=6000$ ’ de birinci sıradaki Model 1 için düz basamaklı ve üçgen basamaklı model yüzeylerindeki ortalama Nu sayısı

değerlerindeki azalma miktarları sırasıyla %64,74 ve %58,7 olmaktadır.

- Tüm H/D_h oranlarında düz basamak model için elde edilen Nu sayısı değerleri; üçgen basamak model yüzeylerinden daha fazladır.
- $H/D_h=6$ ve $Re=8000$ değerinde düz basamak Model 6 için ulaşılan Nu sayısı değeri, üçgen basamaklı model yüzeyinden %24,03 daha yüksektir.
- Re sayısının artışıyla artan ısı transferiyle her iki desenli model şekli ve tüm H/D_h oranları için yüzey sıcaklıkları azalmaktadır.
- H/D_h oranının artışıyla model yüzey sıcaklık değerleri artmakta olup; üçlü çarpan hava jeti akışı etkisinin daha az olduğu üçgen basamaklı modellerdeki sıcaklık değerleri; düz basamaklı modellere göre daha fazla olmaktadır.
- Kanallardaki tüm model yüzeyleri düşünüldüğünde, Re sayısının artışıyla Nu_o değerleri artarken; H/D_h oranındaki artışla azalmaktadır.
- Düz basamak desenli model yüzeylerinde üçlü jet akışı etkisinin kanal içerisindeki akışkan hareketinde ve özellikle model yüzeyleri arasında ısı transferini daha iyi artırmasıyla üçgen basamaklı modele göre Nu_o değerleri daha fazla olmaktadır.
- $Re=10000$ için $H/D_h=3$ ' de düz basamak desenli model yüzeyinin Nu_o sayısı, üçgen basamak desenli yüzeyden %45,18 daha yüksektir.
- Sonuç olarak, üçlü çarpan jet akışının model yüzeyleriyle olan temaslarının artırılması; jet akışkana olan ısı transferini artırarak soğuma performansını iyileştirmektedir.

6. KAYNAKLAR

1. Narumanchi, S.V.J., Amon, C.H., Murthy, J.Y., 2003. Influence of Pulsating Submerged Liquid Jets on Chip-Level Thermal Phenomena, Journal of Electronic Packaging, 125 (3), 354-361.
2. Kercher, D.S., Lee, J.B., Brand, O., Allen, M.G., Glezer, A., 2003. Microjet Cooling Devices for Thermal Management of Electronic, IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, 26(2), 359-366.
3. Babic, D., Murray, D.B., Torrance, A.A., 2005. Mist Jet Cooling of Grinding Processes, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 45, 1171-1177.
4. Arguis, E., Rady, M.A., Nada, S.A., 2007. A Numerical Investigation and Parametric Study of Cooling An Array of Multiple Protruding Heat Sources by A Laminar Slot Air Jet, International Journal of Heat and Mass Transfer, 28, 787-805.
5. Karabulut, K., Alnak, D.E., 2020. Değişik Şekilde Tasarlanan Isıtılmış Yüzeylerin Hava Jeti Çarpmalı Soğutulmasının Araştırılması, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26 (1), 88-98.
6. Karabulut, K., Alnak, D.E., 2021. Dikdörtgen Bir Kanaldaki Farklı Desenli Yüzey Geometrilerinin Isı Transferine Olan Etkilerinin İncelenmesi, Tesisat Mühendisliği, 183, 37-49.
7. Zou, L., Ning, L., Wang, X., Li, Z., He, L., Li, H., 2022. 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.
8. Barbosa, F.V., Teixeira, S.F.C.F., Teixeira, J.C.F., 2023. Convection from Multiple Air Jet Impingement- A Review, Applied Thermal Engineering, 218, 119307.
9. Belarbi, A.A., Beriache, M., Bettahar, A., 2018. Experimental Study of Aero-Thermal Heat Sink Performances Subjected to Impinging Air Flow, International Journal of Heat and Technology, 36(4), 1310-1317.
10. Radmard, V., Hadad, Y., Rangarajan, S., Hoang, C.H., Fallahtafi, N., Arvin, C.L., Sikka, K., Schiffres, S.N., Sammakia, B.G., 2021. Multi-Objective Optimization of A Chip-Attached Micro Pin Fin Liquid Cooling System, Applied Thermal Engineering, 195, 117187.

11. Rathore, S.S., Verma, S.K., 2022. Numerical Investigation on the Efficacy of Jet Obliquity for Fluid Flow and Thermal Characteristics of Turbulent Offset Jet, *Heat and Mass Transfer*, 58, 1223-1246.
12. Karabulut, K., 2019. Heat Transfer Improvement Study of Electronic Component Surfaces Using Air Jet Impingement, *Journal of Computational Electronics*, 18, 1259-1271.
13. Mushatat, K.S., 2007. Analysis of the Turbulent Flow and Heat Transfer of the Impingement Cooling in A Channel with Cross Flow, *Engineering Science*, 18(2), 101-122.
14. Koca F., Güder T.B. 2022 Numerical Investigation of CPU Cooling with Micro-Pin-Fin Heat Sink in Different Shapes, *European Physical Journal Plus*, 137(11), 1276.
15. Wang, S.J., Mujumdar, A.S., 2005. A Comparative Study of Five Low Reynolds Number $k-\epsilon$ Models for Impingement Heat Transfer. *Applied Thermal Engineering*, 25, 31-44.
16. Saleha, N., Fadela, N., Abbas, A., 2015. Improving Cooling Effectiveness by Use Chamfers on the Top of Electronic Components, *Microelectronics Reliability*, 55, 1067-1076.
17. Kılıç, M., Çalışır, T., Başkaya, Ş., 2017. Experimental and Numerical Study of Heat transfer from A Heated Flat Plate in A Rectangular Channel with an Impinging Air Jet, *Journal of Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 39(1), 329-344.