

**DEĞİŞİK GEOMETRİK MODEL YÜZEYLERİNİN SOĞUTULMASINDA
ÇOKLU ÇARPAN JET AKIŞ ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**EVALUATION OF MULTI-IMPINGING JET FLOW EFFECT
IN COOLING OF VARIOUS GEOMETRIC MODEL SURFACES**

Yeliz ALNAK

Dr. Öğr. Üyesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

ORCID NO: 0000-0003-4383-3806

Koray KARABULUT

Doç. Dr., Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

ORCID NO: 0000-0001-5680-0988

ÖZET

Küresel düzeyde iklim değişikliğinin ortaya çıkardığı sonuçlar neticesinde enerjiyle ilgili çalışma yapan mühendisler, enerji tüketimi daha az ve verimliliği yüksek cihazların geliştirilmesi üzerine daha fazla araştırma ve geliştirme yapma gayreti içerisinde. Böylece, yüksek teknoloji ürünlerde karşılaşılan en büyük problemlerden biri olan ısınma ve bunun sonucunda güvenilir sıcaklık sınırlarının aşılması problemiyle karşılaşma olasılığı da azalmaktadır. Isıtılmış yüzeylerin çarpan jet akışı kullanılarak soğutulması, aşırı ısı üretimi olan elektronik sistemlerde faydalanılan ve ısı transferi potansiyeli yüksek olan iyileştirilmiş bir soğutma yöntemidir. Bu çalışmada, D_h jet giriş genişlikli kanallardaki yarım kare ve yarım daire modellenmiş yüzeylerinin soğutulması ve modeller etrafındaki akış yapısı üçlü hava jeti akışı kullanılarak araştırılmıştır. Araştırmalar, sayısal olarak sürekli ve üç boyutlu k- ϵ türbülans modeli kullanılarak Ansys-Fluent bilgisayar programıyla gerçekleştirilmiştir. Kanal yüzeylerinde herhangi bir ısı etkileşimi olmayıp yalnızca model yüzeylerinde sabit ısı akışı bulunmaktadır. Çalışmanın çıktıları literatürde bulunan çalışmanın sayısal ve deneysel çıktılarıyla kıyaslanmış ve birbirleriyle uyumlu oldukları belirlenmiştir. Sonuçlar, her bir model yüzeyi için ortalama Nu sayısı ve yüzey sıcaklık değişimleri şeklinde verilmiştir. Farklı Re sayıları ve H/D_h oranlarında model yüzeyleri için kanal boyunca üçlü jet akışın hız-akım çizgisi ve sıcaklık konturu dağılımları incelenmiştir. $Re=10000$ ve $H/D_h=10$ için kanaldaki tüm yarım daire modellenmiş yüzeylerin ortalama Nu sayısının, yarım kare modellenmiş olanlardan %15.31 daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Üçlü Hava Jeti, Çarpan Jet, Soğutma, Desenli Model

ABSTRACT

As a result of the consequences of climate change at the global level, engineers working on energy are trying to do more research and development on the development of devices with lower energy consumption and higher efficiency. Thus, the possibility of encountering the problem of heating and, as a result, exceeding reliable temperature limits, which is one of the biggest problems encountered in high-tech products, is reduced. Cooling heated surfaces using impinging jet flow is an improved cooling method that is used in electronic systems with excessive heat generation and has a high heat transfer potential. In this study, the cooling of semi-square and semi-circular model surfaces in channels with D_h jet inlet width and the flow structure around the models were investigated using triple air jet flow. The research was carried out numerically with the Ansys-Fluent computer program using a steady and three-dimensional $k-\epsilon$ turbulence model. There is no heat interaction on the channel surfaces, and there is a constant heat flux only on the model surfaces. The results of the study were compared with the numerical and experimental outputs of the study in the literature and it was determined that they were compatible with each other. Outputs were given as average Nu number and surface temperature changes for each model surface. Velocity-streamline and temperature contour distributions of the triple jet flow along the channel were examined for model surfaces with different Re numbers and H/D_h ratios. For $Re=10000$ and $H/D_h=10$, it was determined that the mean Nu number of all semi-circular model surfaces in the channel was 15.31% more than the semi-square model surfaces.

Keywords: Triple Air Jet, Impinging Jet, Cooling, Patterned Model

GİRİŞ

Küresel iklim değişikliğinin ortaya çıkardığı sonuçlara bağlı olarak 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, yüksek teknoloji ürünlerde karşılaşılan en büyük problemlerden biri olan ısınma ve bunun sonucunda güvenilir sıcaklık sınırlarını aşma problemiyle karşılaşma olasılığı da azalmaktadır. Çarpan jet tekniği ile ısı transferi, elektronik elemanlarda ısı üretimi fazla olan cihaz ve ekipmanların soğutulmasında yararlanılan ve yüksek ısı transferi karakteristiğine sahip gelişmiş bir soğutma teknolojisidir (Narumanchi vd., 2003; Kercher vd., 2003).

Çarpan jet ile ilgili olarak literatürde ısı transferi hakkında farklı çalışmalar olmakla birlikte; gerçekleştirilen çalışmaların birinde Arguis ve diğ., (2007) laminer hava jetli bir kanalda bulunan ısıtılmış blokların soğutulmasını incelemişler ve bu amaçla jet Re sayısı, jet-plaka yüksekliği, ve jet giriş genişliğinin etkisini araştırmışlardır. Sonuçta, genel olarak kanal yüksekliğinin azalması ve Re sayısının artmasıyla blokların soğutulmasının olanaklı olduğunu saptamışlardır. Karabulut ve Alnak (2020) sabit ısı akıllı bakır plakalı yüzeylerin hava jeti akışı ile ısı transferini araştırmışlardır. Desenli model yüzeylerinin soğutma performanslarının desen geometrisi ve jet-plaka arası uzaklığın Re sayısı ile kıyaslandığında daha fazla etkiye sahip olduğu bulmuşlardır. Zou ve diğ., (2022) deneysel ve sayısal olarak yaptıkları çalışmalarında soğutma amacıyla yüksek hızlı sıkıştırılmış hava çarpmasını kullanmışlardır. Numune çapı ve jet-plaka arası mesafenin akış modeli ve sıcaklık alanları üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Barbosa ve diğ., (2023) çoklu hava jeti çarpma sistemlerindeki jetin akış dinamikleri ve ısı

transferi özelliklerinin bir incelemesini sunmuşlardır. Bunun yanı sıra, tekli ve çoklu jet çarpmasının ısı transferi özelliklerini belirlemek amacıyla ortalama Nu sayısı ile ilgili bağıntıları özetlemişlerdir. Radmard ve diğ., (2021) su jetine maruz çipe bağlı bir mikro iğne kanatlı soğutma cihazının ısı transferini araştırmışlardır. Bunun için tasarım parametrelerinden, iğne kanat kesiti, kanatçık aralığı ve kanat yükseklik profilinin etkilerini hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) ve tam faktöriyel deney tasarımı (FFD) kullanarak değerlendirmişlerdir. Rathore ve Verma (2022) türbülanslı akış ve eğik kaydırılmış jetlerin ısı özellikleri üzerinde Re sayısındaki ve kaydırma oranındaki (OR) değişimin etkileri üzerine sayısal bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Jet eğiklik açısı ve Re sayısının artırılmasıyla ısıtılmış duvardan çarpan akışkana olan ısı transferinin arttığını saptamışlardır. Karabulut (2019) içerisinde sabit ısı akışı altında ısıtılmış beşer adet ters ve düz daire olmak üzere bulunan farklı desenli model yüzeylerinden ısı transferini hava jeti akışıyla sayısal olarak araştırmıştır. Model yüzeylerinin soğuma performansları üzerinde model deseninin ve jet-plaka arası uzaklığın Re sayısı ile kıyaslandığında daha fazla öneme sahip olduğunu bulmuştur. Modellerin ısı kaynağı üzerine yerleştirilen dairesel, kare ve üçgen kanatların ısı transfer performansları $500 \leq Re \leq 10000$ aralığında Koca ve Güder (2022) 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 ulaşmışlardır.

Bu çalışmada, $a=D_h$ jet giriş genişlikli kanallar içerisindeki yarım-kare ve yarım-daire modelli bakır plakalı yüzeylerin üç adet hava jeti akışıyla soğutulmasının sayısal araştırması yapılmıştır. İncelenen jet Re sayısı aralığı 4000-10000 iken; jet-plaka arası uzaklığı 3, 6 ve $10D_h$ 'dir. Elde edilen sonuçlar, yarım-kare ve yarım-daire olarak her bir model yüzeyi için ortalama Nu sayısının ve yüzey sıcaklığının değişimleri olarak incelenmiştir. Ayrıca, farklı H/D_h oranları ve modeller için kanal boyunca üçlü jet akışının sıcaklık ve hız-akım çizgisi konturu dağılımları model yüzeyleri için değerlendirilmiştir.

SAYISAL MODELLEME

Çalışmada, zorlanmış taşınım ısı transferinin 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 (Wang ve Mujumdar, 2005).

Reynolds sayısı (Re) denklem (1) ile hesaplanmaktadır

$$Re_k = \frac{V_\infty D_h}{\nu} \quad (1)$$

Burada D_h , jet girişinin hidrolik çapıdır.

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

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

Ortalama ısı taşınım katsayısı

$$h_o = \frac{1}{L} \int_0^L h dx \quad (3)$$

Ortalama Nu sayısı

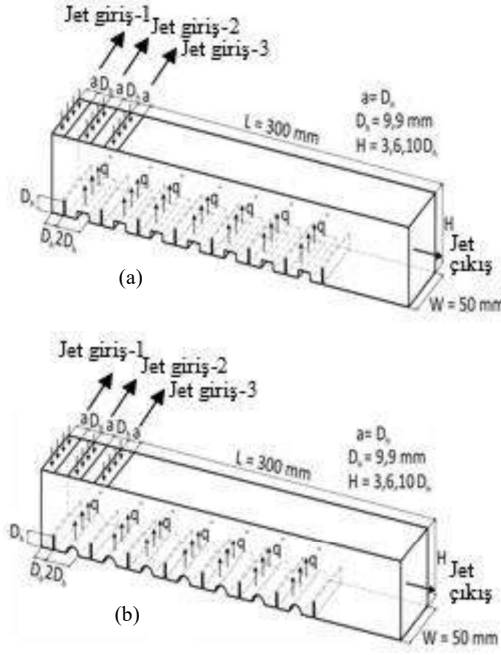
$$Nu_o = \frac{h_o D_h}{k} \quad (4)$$

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

MODELLERİN TASARIMI

Şekil 1'de incelenen model yüzeylerinin olduğu kanalların görünüşleri verilmektedir. Şekil 1 (a) ve (b)' de gösterilen yarım-kare ve yarım-daire 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 4.95×50 mm ve 9.9×50 mm ölçülerindedir. Bununla birlikte, modellerin genişlik ve yükseklikleri $2D_h$ ve D_h ' dir.

Bu çalışma için uygulanan kabuller ise şunlardır: a) üç boyutlu, sürekli ve türbülanslı akış mevcuttur, b) sıkıştırılamaz hava, jet akışkanı olarak kullanılmıştır, c) model yüzeylerine uygulanan ısı akısı sabit ve 1000 W/m^2 değerindedir, d) akışkanın ısıl özellikleri, 300 K sıcaklıkta sabit alınarak çözümlere ulaşılmıştır, e) akışkan ve model yüzeylerinde ısı üretimi bulunmamaktadır.

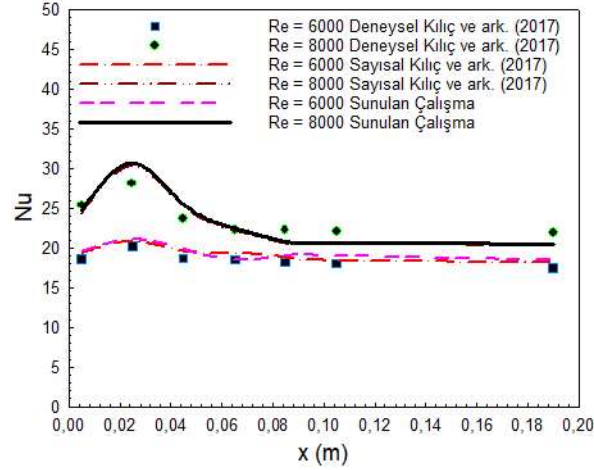


Şekil 1. Kanalların ve modellerin görüntüleri (a) yarım-kare model (b) yarım-daire model

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Kilic ve diğ., (2017)'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 Kilic ve diğ., (2017)' nin deneysel sonuçlarıyla bu çalışmanın sayısal sonuçları arasındaki fark %3.99-%9.15 arasında değişirken; Kilic ve diğ., (2017)'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 yarım-kare ve yarım-daire modelli yüzeyleri dikkate alınarak gerçekleştirilen ağ bağımsızlık testlerinin sonuçları sırasıyla Tablo 1 ve 2'de verilmektedir. Ulaşılan sonuçlar, yarım-kare ve yarım-daire modelli yüzeylerin bulunduğu kanallar için sırasıyla 2213537 ve 2160782 adet elemanın yeterli olduğunu göstermiştir.



Şekil 2. Literatürle sonuçların kıyaslanması

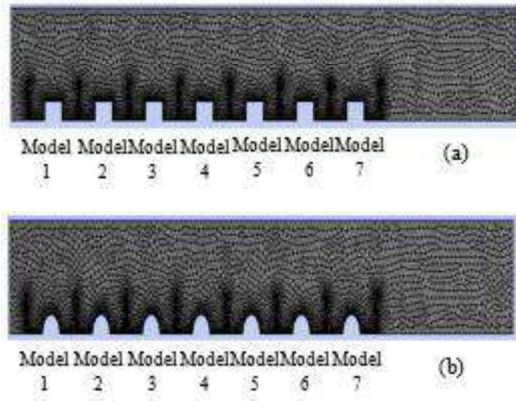
Tablo 1. Yarım-kare modelli kanalda Nu_o için ağ sayısından bağımsızlık testi

Ağ sayısı	Nu_o	Nu_o	Nu_o	Nu_o
	Re	Re	Re	Re
	4000	6000	8000	10000
845741	8.41	12.47	13.54	17.47
2213537	9.62	13.25	16.81	20.5
2547104	9.61	13.25	16.81	20.48

Tablo 2. Yarım-daire modelli kanalda Nu_o için ağ sayısından bağımsızlık testi

Ağ sayısı	Nu_o	Nu_o	Nu_o	Nu_o
	Re	Re	Re	Re
	4000	6000	8000	10000
895472	11.24	16.74	21.47	26.64
2160782	12.45	17.68	22.78	27.75
2475471	12.44	17.68	22.78	27.74

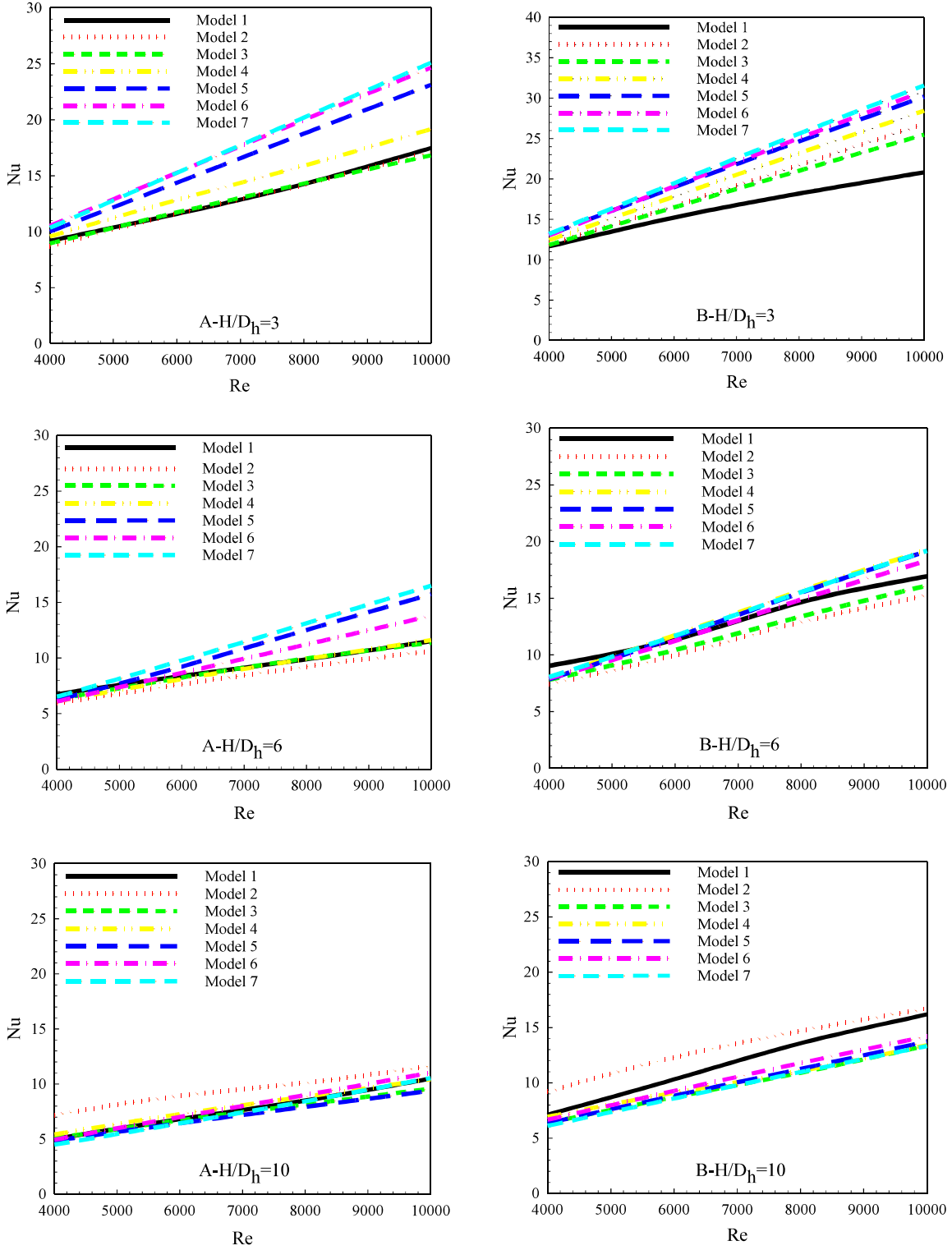
Yarım-kare ve yarım-daire modelli yüzeyler için kanallardaki ağ yapıları, görünürlük için yakınlaştırılarak Şekil 3 (a) ve (b)'de sunulmuştur. Bununla birlikte, şekillerden de görülebildiği gibi çözümün hassasiyeti açısından model yüzeyleri etrafında daha yoğun bir ağ yapısı bulunmaktadır.



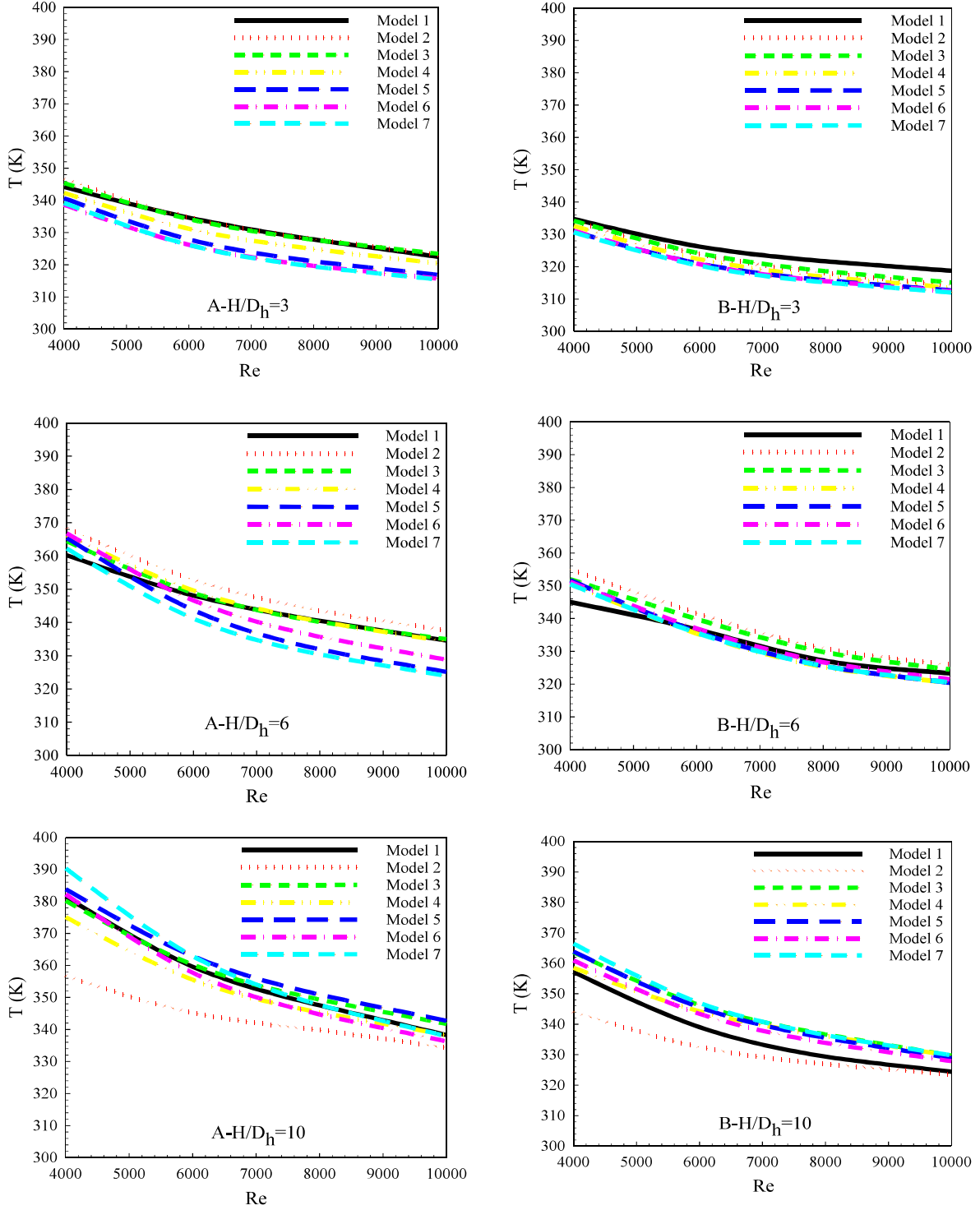
Şekil 3. (a) yarım-kare (b) yarım-daire modelli kanalların ağ yapıları

Şekil 4’ de 3, 6 ve 10 olarak değişik jet-plaka uzaklığı (H/D_h) üçlü jet akışlı ve D_h jet giriş genişlikli kanallarda bulunan yarım kare model ve yarım daire model desenli yüzeylerin kanaldaki birinci jet girişinden itibaren sıralanışlarına göre ortalama Nu sayılarının Re sayıları ile değişimleri gösterilmektedir. Kanal yüksekliği, kanaldaki jet akış sayısı ve Re sayısı; jet akışın kanaldaki ve model yüzeyleri üzerindeki akış yapısını etkileyerek farklı model sıraları üzerinde farklı Nu sayıları elde edilmesini sağlamaktadır. $H/D_h=3$ değerinde her iki model yüzeyi için de Model 7’ de en yüksek ortalama Nu sayısı değerleri elde edilirken; en düşük Nu sayısı değerlerine ise Model 1’ de ulaşılmaktadır. Bununla birlikte, yarım daire model yüzeyleri için elde edilen Nu sayısı değerleri, yarım kare modelli yüzeylerden daha yüksektir. $H/D_h=3$ ve $Re=8000$ için yarım daire yüzeyli Model 7’ de ulaşılan ortalama Nu sayısı değerleri, yarım kare yüzeyli olandan %26.77 daha fazla olmaktadır. Re sayısı artırıldığında ise ısı transferi artışına bağlı olarak Nu sayısı değerlerinde de artış sağlanmaktadır. Kanal yüksekliği (H/D_h) 6 değerine çıkarıldığında ise jet akışın model yüzeyleri için ısı transferini iyileştirici etkisinin azalmasıyla her iki model yüzeyi için de Nu sayısı değerlerinde düşüşler görülmektedir. $Re=6000$ için $H/D_h=3$ ’ den 6’ ya çıkarıldığında yedinci sıradaki model yüzeyinde (Model 7) sırasıyla yarım kare ve yarım daire modeller için ortalama Nu sayılarında %55.97 ve %66.58’ lik azalışlar elde edilmektedir. H/D_h , 10 değerine çıkarıldığında ise Nu sayıları, diğer H/D_h oranlarına göre en düşük değerlerine ulaşmakla birlikte; kanaldaki akış yapısına bağlı olarak en yüksek Nu sayıları her iki model yüzeyli kanalda da Model 2 için elde edilmektedir.

$a=D_h$ jet giriş genişliği ve üç adet hava jeti akışına sahip farklı yükseklikli ve Re sayılı kanallarda bulunan yarım kare ve yarım daire modelli yüzeylerin kanallardaki diziliş sıralarına göre ortalama yüzey sıcaklıklarının (T) değişimleri Şekil 5’ de sunulmaktadır. Her iki model yüzeyli kanalda da Re sayısının artışıyla soğuma etkisi artmakta ve böylece model yüzeylerinin sıcaklıkları azalmaktadır. Tüm kanal yükseklik (H/D_h) değerlerinde yarım kare modelli yüzeyler için elde edilen yüzey sıcaklık değerlerinin daha fazla olduğu Şekil 5’ den görülebilmektedir. Bu durum, üçlü jet akışı etkisinin yarım daire modelli yüzeylerde ısı transferini daha fazla artırmasına bağlı olarak; soğutma performansının daha iyi olduğunu kanıtlamaktadır. Ayrıca, kanal yüksekliğinin artışıyla ($H/D_h=6$ ve 10) üçlü jet akışlarının yüzeyler üzerindeki çarpma etkisinin azalması nedeniyle ısı transferi azaldığından; yüzey sıcaklıklarında $H/D_h=3$ ’ e göre artışlar görülmektedir.



Şekil 4. $a=D_h$ giriş genişlikli üçlü jet akışlı kanallardaki A-yarım-kare B-yarım-daire modelli yüzeylerin kanaldaki sıralanış düzenlerine göre ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimi



Şekil 5. $a=D_h$ giriş genişlikli üçlü jet akışlı kanallardaki A-yarım-kare B-yarım-daire modelli yüzeylerin kanaldaki sıralanış düzenlerine göre ortalama yüzey sıcaklığıyla Re sayısının değişimi

Tablo 3' de $a=D_h$ jet giriş genişlikli ve üçlü jet akışlı kanallarda bulunan tüm yarım kare ve yarım daire modelli yüzeylerdeki ortalama Nu sayısı (Nu_o) ve üçlü jet akışların kanaldan çıkış sıcaklıkları (T_c) farklı kanal yükseklikleri (H/D_h) ve Re sayıları için verilmektedir. Kanaldaki Re sayısının artışıyla bağlı olarak Nu_o değerleri artarken; T_c değerleri azalmaktadır. Bununla birlikte, yarım daire model yüzeyleri için elde edilen Nu_o değerlerinin, yarım kare modelli olanlardan daha fazla olduğu Tablo 3' den belirlenebilmektedir. $Re=10000$ ve $H/D_h=10$ için yarım daire modelli yüzeyin Nu_o sayısı, yarım kare modelli olandan %15.31 daha fazladır. Ayrıca, kanal yüksekliğinin artışıyla her iki model yüzeyi için de Nu_o sayıları azalış sergilemektedir. Re sayısının 6000 olduğu değerde, yarım kare modelli yüzeyler için H/D_h ' in 3' den 10' a artırılması ortalama Nu sayısında (Nu_o) %86.62' lik düşüş elde edilmesine sebep olmaktadır.

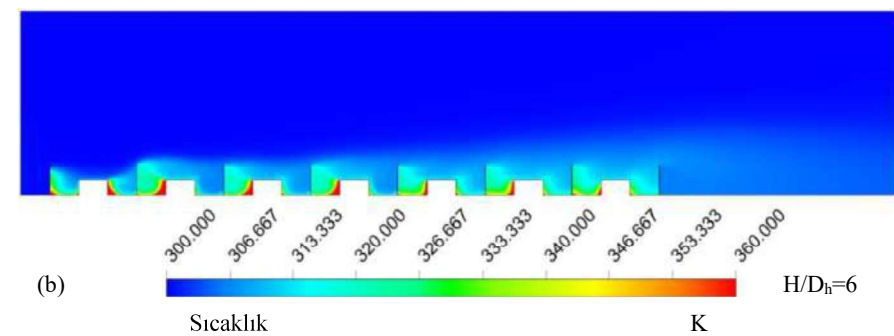
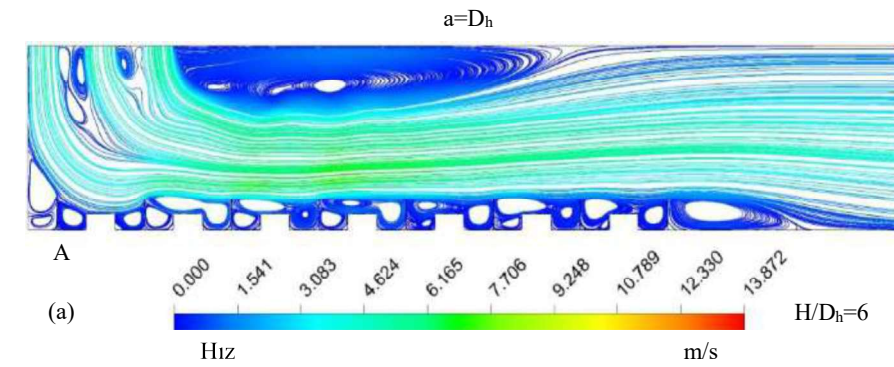
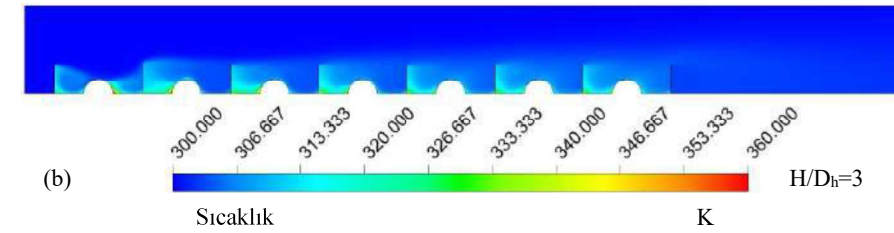
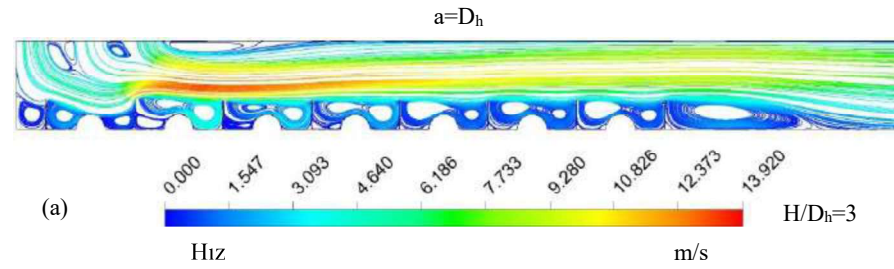
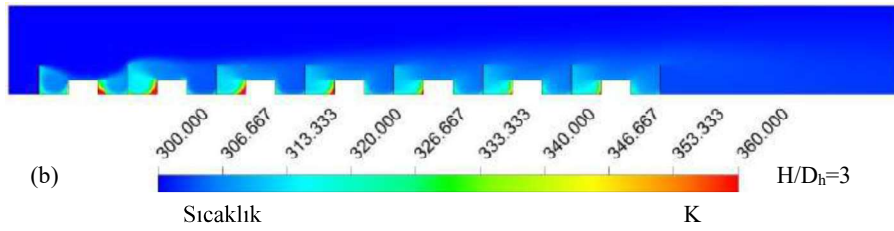
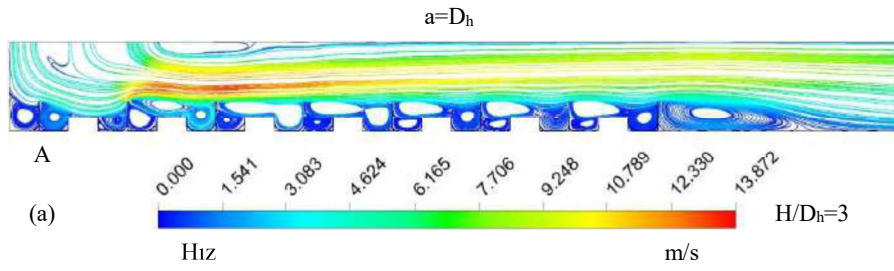
$Re=6000$ değerinde üçlü hava jeti akışlı ve $a=D_h$ jet giriş genişlikli kanallardaki A-yarım kare B-yarım daire model yüzeyleri için (a) hız-akım ve (b) sıcaklık konturu dağılımları Şekil 6' da sergilenmektedir. $H/D_h=3$ kanal yükseklikli durumlarda birinci model yüzeylerinden sonra ikinci ve üçüncü jet akışlarının birleşmesiyle model yüzeyleri üzerindeki akış hızları artmaktadır. Bu durum da model yüzeylerindeki soğuma performanslarının artmasını sağlamaktadır. Model aralarında meydana gelen yeniden dolaşım bölgeleri, akışkanın kendi içinde dolaşım halinde olduğu kısımları oluşturduğundan model yüzey şekline bağlı olarak üçlü jet akış etkisinin daha az olduğu ilk sıradaki modeller arasında sıcaklığın arttığı bölgeler görülebilmektedir. Özellikle yarım kare modelli yüzeyler için bu durum daha belirgindir. Ayrıca, yarım kare modelli yüzeylerde yarım daire modelli yüzeylere göre sıcaklığın yüksek olduğu kısımlar daha fazladır. Kanal yüksekliği artırıldığında ise hem kanal içerisindeki hem de model yüzeyleri etrafındaki yeniden dolaşım bölgelerinin yoğunlukları ve büyüklükleri arttığından $H/D_h=3$ ' e göre model yüzeylerinin sıcaklıkları da artmaktadır. Bu nedenle, özellikle model yüzeylerinin geometrilerinin ve kanal yüksekliklerinin soğutma performansının belirlenmesinde önemli değişkenler olarak göz önüne alınmasını gerekli kılmaktadır.

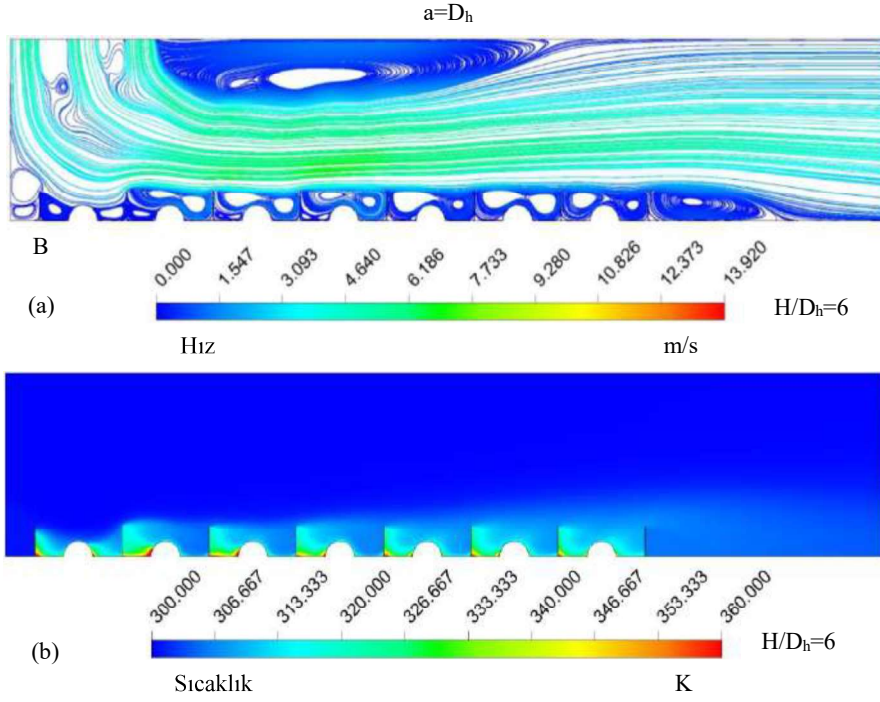
Tablo 3. $a=D_h$ giriş genişlikli ve üçlü jet akışlı kanallardaki model yüzeylerinin

tümü için ortalama Nu sayısı (Nu_o) ve jet akışların kanaldan çıkış sıcaklıkları (T_c)

Yarım Kare Model	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	312.43	9.62	312.36	6.29	311.83	5.29
Re=6000	311.62	13.25	311.57	8.59	311.21	7.1
Re=8000	311.22	16.81	311.17	10.85	310.91	8.72
Re=10000	310.96	20.5	310.93	13.03	310.73	10.45

Yarım Daire Model	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	312.17	12.45	312.06	8.02	311.57	6.98
Re=6000	311.45	17.68	311.38	11.15	311.08	9.6
Re=8000	311.09	22.78	311.01	14.66	310.83	12.05
Re=10000	310.87	27.75	310.81	17.76	310.64	14.34





Şekil 6. $a=D_h$ giriş genişlikli ve üçlü jet akışlı A-yarım-kare B-yarım-daire model yüzeyli kanallardaki kontur dağılımları (a) hız-akım (b) sıcaklık

SONUÇ

Çalışmada, $a=D_h$ jet giriş genişliğindeki üç adet jet akışı kullanılarak kanallarda bulunan sabit ısı akılı ve bakır plakalı yarım-kare ve yarım-daire modelli yüzeylerden olan ısı transferi ve kanallarda oluşan akış yapıları değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda ulaşılan veriler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- $H/D_h=3$ ' de her iki model yüzeyi için de Model 7' de ortalama Nu sayısı değerleri en yüksek değerlerindiyken; en düşük Nu sayısı değerlerine ise Model 1' de ulaşılmaktadır.
- Yarım daire model yüzeyleri için elde edilen Nu sayısı değerleri, yarım kare modelli yüzeylerden daha yüksektir.
- $H/D_h=3$ ve $Re=8000$ için yarım daire yüzeyli Model 7' de ulaşılan ortalama Nu sayısı değerleri, yarım kare yüzeyli olandan %26.77 daha fazladır.

- Kanal yüksekliği (H/D_h) 6 değerine çıkarıldığında jet akışın model yüzeyleri için ısı transferini iyileştirici etkisinin azalmasıyla her iki model yüzeyi için de Nu değerlerinde düşüşler görülmektedir.

- $Re=6000$ için $H/D_h=3'$ den $6'$ ya çıkarıldığında yedinci sıradaki model yüzeyinde (Model 7) sırasıyla yarım kare ve yarım daire modeller için ortalama Nu sayılarında %55.97 ve %66.58' lik azalışlar elde edilmektedir.

- $H/D_h,10$ değerine çıkarıldığında Nu sayıları, diğer H/D_h oranlarına göre en düşük değerlerine ulaşmakla birlikte; kanaldaki akış yapısına bağlı olarak en yüksek Nu sayıları her iki model yüzeyli kanalda da Model 2 için elde edilmektedir.

- Her iki model yüzeyli kanalda da Re sayısının artışıyla model yüzeylerinin sıcaklıkları azalmaktadır.

- Tüm kanal yükseklik (H/D_h) değerlerinde yarım kare modellenli yüzeyler için elde edilen yüzey sıcaklık değerleri daha fazladır.

- Kanal yüksekliğinin artışıyla ($H/D_h=6$ ve 10) üçlü jet akışlarının yüzeyler üzerindeki çarpma etkisinin azalması nedeniyle ısı transferi azaldığından; yüzey sıcaklıklarında $H/D_h=3'$ e göre artışlar görülmektedir.

- Kanaldaki tüm model yüzeyleri değerlendirildiğinde; $Re=10000$ ve $H/D_h=10$ için yarım daire modellenli yüzeyin Nu_o sayısının yarım kare modellenli olandan %15.31 daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durum, üçlü jet akışı etkisinin yarım daire modellenli yüzeylerde ısı transferini daha fazla artırmasına bağlı olarak soğutma performansını iyileştirmektedir.

- Re sayısının 6000 olduğu değerde, yarım kare modellenli yüzeyler için H/D_h' in $3'$ den $10'$ a artırılması ortalama Nu sayısında (Nu_o) %86.62' lik düşüş elde edilmesine sebep olmaktadır.

- Sonuç olarak, üçlü çarpan hava jeti akışının model yüzeyleriyle olan temaslarının artırılması; jet akışkana olan ısı transferini artırarak soğuma performansını iyileştirmektedir. ısı transferindeki bu iyileşme oranında ise kanal yüksekliği, kanaldaki jet akış sayısı ve jet Re sayısı ve bu etkenlere bağlı olarak jet akışın kanaldaki ve model yüzeyleri üzerindeki akış yapısı önemli unsurlardandır.

KAYNAKÇA

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(4), 787-805. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2006.09.004>

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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.119307>

Karabulut, K., Alnak, D. E. (2020). Değişik şekilde tasarlanan ısıtılmış yüzeylerin hava jeti çarpmalı soğutulmasının araştırılması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(1), 88-98. doi: [10.5505/pajes.2019.58812](https://doi.org/10.5505/pajes.2019.58812)

Karabulut, K. (2019). Heat transfer improvement study of electronic component surfaces using air jet impingement, *Journal of Computational Electronics*, 18, 1259-1271. doi: <https://doi.org/10.1007/s10825-019-01387-3>

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. doi: <https://doi.org/10.1140/epjp/s13360-022-03489-7>

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. doi: [10.1109/TCAPT.2003.815116](https://doi.org/10.1109/TCAPT.2003.815116)

Kilic, M., Calisir, T., Baskaya, S. (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. doi: <https://doi.org/10.1007/s40430-016-0521-y>

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. doi: <https://doi.org/10.1115/1.1572903>

Radmard, V., Hadad, Y., Rangarajan, S., Hoang, C. H., Fallahtafti, 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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117187>

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. doi: <https://doi.org/10.1007/s00231-021-03156-0>

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. doi: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2004.06.001>

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. doi: <https://doi.org/10.1007/s00231-021-03113-x>