



KANALDAKİ ÜÇLÜ JET AKIŞININ FARKLI MODEL ŞEKİLLERİNE SAHİP YÜZEYLERDEKİ ISI TRANSFERİNE OLAN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

EXAMINATION OF THE EFFECT OF TRIPLE JET FLOW IN THE DUCT ON HEAT TRANSFER ON FACETS WITH DISTINCT MODEL SHAPES

Koray KARABULUT

Doç. Dr., Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

ORCID NO: 0000-0001-5680-0988

Yeliz ALNAK

Dr. Öğr. Üyesi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

ORCID NO: 0000-0003-4383-3806

ÖZET

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. Soğutma işleminin çarpan jet tekniği kullanılarak gerçekleştirilmesiyle yüksek ısı üretim kapasiteli cihazlardan daha fazla ısının transferi olanaklı hale gelmektedir. Çalışmada, $1,25D_h$ jet giriş genişlikli kanallardaki yarım kare ve yarım daire modellenmiş yüzeylerden olan ısı transferi ve akış yapısı üçlü hava jeti akışı kullanılarak araştırılmıştır. Araştırmalar, sayısal olarak zamandan bağımsız ve üç boyutlu $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanılarak Ansys-Fluent bilgisayar programıyla gerçekleştirilmiştir. Kanal yüzeyleri adyabatik olup yalnızca model yüzeylerinde sabit 1000 W/m^2 lik ısı akısı bulunmaktadır. İncelenen jet Re sayısı aralığı 4000-10000 iken; jet-plaka arası uzaklığı 3, 6 ve $10D_h$ 'dir. Kanal boyutlarına uygun olarak her iki kanalda yedi adet farklı model yüzeyleri bulunmaktadır. Çalışmanın sonuçları literatürde bulunan çalışmanın sayısal ve deneysel çıktılarıyla kıyaslanmış ve uyumlu oldukları belirlenmiştir. Sonuçlar, her bir model yüzeyi için ortalama Nu sayısı ve yüzey sıcaklığının değişimi şeklinde verilmiştir. Farklı Re sayıları ve H/D_h oranlarında model yüzeyleri için kanal boyunca jet akışın hız-akım ve sıcaklık konturu dağılımları değerlendirilmiştir. $Re=10000$ ve $H/D_h=3$ için yarım daire modellenmiş yüzeyin Nu_o sayısının yarım kare modellenmiş yüzeyden %33,66 daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, $Re=8000$ için $H/D_h=3$ ' den 6' ya çıkarıldığında yedinci sıradaki model yüzeyinde sırasıyla yarım kare ve yarım daire modeller için ortalama Nu sayılarında %41,89 ve %45,18' lik azalışlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Üçlü hava jeti, Model yüzeyi, Soğutma

ABSTRACT

Heat transfer with the impinging jet technique is an advanced cooling technology with high heat transfer characteristics used in cooling devices and equipment that produce excess heat in electronic systems. By performing the cooling process using the impinging jet technique, it becomes possible to transfer more heat from devices with high heat production capacity. In the study, heat transfer and flow structure from semi-square and semi-circular model surfaces in channels with $1.25D_h$ jet inlet width were investigated using triple air jet flow. The research was performed numerically with the Ansys-Fluent computer program using a steady, three-dimensional, and $k-\epsilon$ turbulence model. The channel surfaces are adiabatic and there is a constant heat flux of 1000 W/m^2 only on the model surfaces. While the jet Re number range examined was 4000-10000, the distance between the jet and the plate is 3, 6, and $10D_h$. There are seven different model surfaces in both channels, by the channel dimensions. The results of the study were compared with the numerical and experimental outputs of the study in the literature and were determined to be compatible. The results were given as the mean Nu number and variation of surface temperature for each model surface. Velocity-flow and temperature contour distributions of the jet flow



along the channel were evaluated for model surfaces with different Re numbers and H/D_h ratios. For Re=10000 and H/D_h=3, it was determined that the mean Nu number of the surface with the semi-circular model was 33.66% higher than that of the semi-square model. In addition, when H/D_h = 3 to 6 is increased for Re = 8000, decreases of 41.89% and 45.18% in the mean Nu numbers were obtained for the semi-square and semi-circular models, respectively, on the seventh-row model surface.

Keywords: Triple Air Jet, Model Surface, Cooling

1. Giriş

Günümüzde, 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 ürünlerinde 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 sistemlerde fazla ısı üreten cihaz ve ekipmanların soğutulmasında kullanılan yüksek ısı transferi karakteristiğine sahip gelişmiş bir soğutma teknolojisidir (Narumanchi ve ark., 2003; Kercher ve ark., 2003). Soğutma işleminin çarpan jet tekniği kullanılarak gerçekleştirilmesiyle yüksek ısı üretim kapasiteli cihazlardan daha fazla ısının transferi olanaklı hale gelmektedir (Babic ve ark., 2003).

Literatürde çarpan jet ile ısı transferi hakkında çeşitli çalışmalar bulunmakla birlikte; yapılan çalışmaların birinde Arguis ve ark. (2007) 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 (2021) çatı ve ters yamuk olarak iki farklı modele sahip 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 sayısının çatı desenli yüzey için ters yamuk desenli yüzeyden %25,92 daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Zou ve ark. (2022) deneylerinde ve sayısal hesaplamalarında hava soğutma sürecinde ısı transferi ve gaz akışını incelemek 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 ark. (2023) 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. Radmard ve ark. (2021) 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 (2022) 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. Oluşturulan modellerin ısı kaynağı üzerine yerleştirilen dairesel, kare ve üçgen kanatların ısı transfer performansları $500 \leq Re \leq 10.000$ 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 performansını dairesel kanatlı modelde ulaşılmıştır.



Bu çalışmada, $a=1,25D_h$ jet giriş genişlikli kanallar içerisindeki yarım-kare ve yarım-daire modelli bakır plakalı yüzeylerin üç adet hava jeti akışıyla ısı transferinin 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 akışın sıcaklık ve hız-akım çizgisi konturu dağılımları model yüzeyleri için değerlendirilmiştir.

2. Sayısal 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

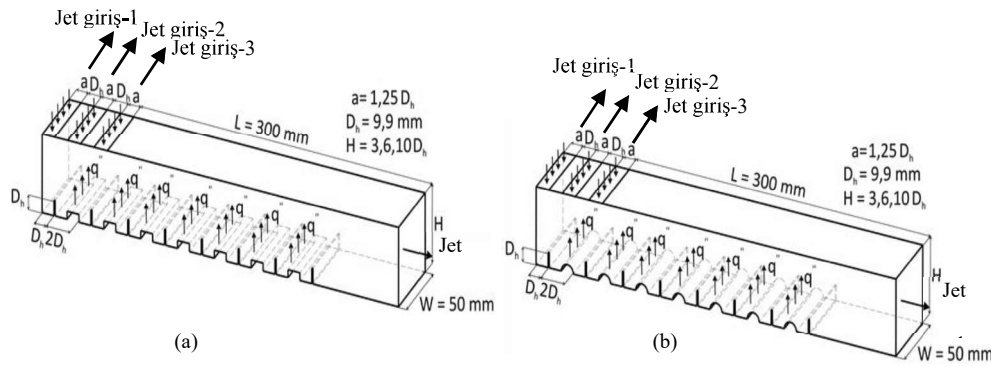
$$Nu_o = \frac{h_o D_h}{k} \quad (4)$$

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

3. Modellerin Tasarımı

Şekil 1’de incelenen model yüzelerinin 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 $4,95 \times 50 \text{ mm}$ ve $9,9 \times 50 \text{ mm}$ ölçülerindedir. Bununla birlikte, modellerin genişlik ve yükseklikleri $2D_h$ ve D_h ’dır. 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 ısı özellikleri, 300 K sıcaklıkta sabit alınarak çözümlere ulaşılmıştır, e) akışkan ve model yüzeylerinde ısı üretimi bulunmamaktadır.

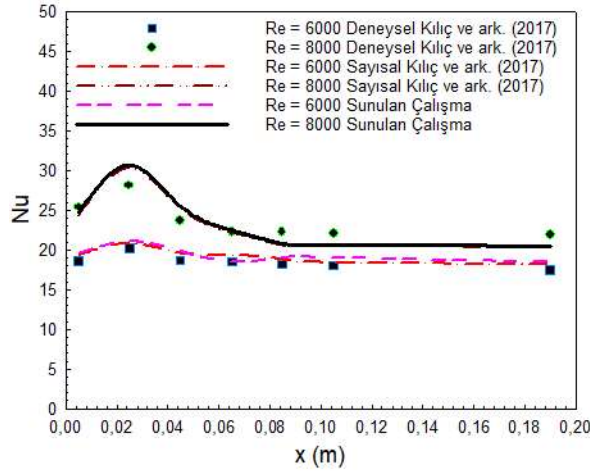


Şekil 1. Kanalların ve modellerin görünüşleri (a) yarım-kare model (b) yarım-daire model

4. Araştırma ve Bulgular

Kılıç ve ark. (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 Kılıç ve ark. (2017)’nin deneysel sonuçlarıyla bu çalışmanın sayısal sonuçları arasındaki fark %3,99-%9,15 arasında değişirken; Kılıç ve ark. (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 yüzelerinin ortalama Nu sayıları (Nu_o) üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla yarım-kare ve yarım-daire modelli yüzeyleri dikkate alınarak gerçekleştirilen ağ bağımsızlık testlerinin sonuçları sırasıyla Çizelge 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

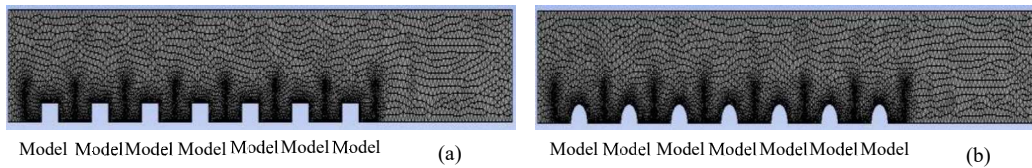
Çizelge 1. Yarım-kare modelli kanalda Nu_o için ağ sayısından bağımsızlık testi

Ağ sayısı	Nu_o	Nu_o	Nu_o	Nu_o
	Re=4000	Re=6000	Re=8000	Re=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

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

Ağ sayısı	Nu_o	Nu_o	Nu_o	Nu_o
	Re=4000	Re=6000	Re=8000	Re=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 yaklaştırılarak 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.



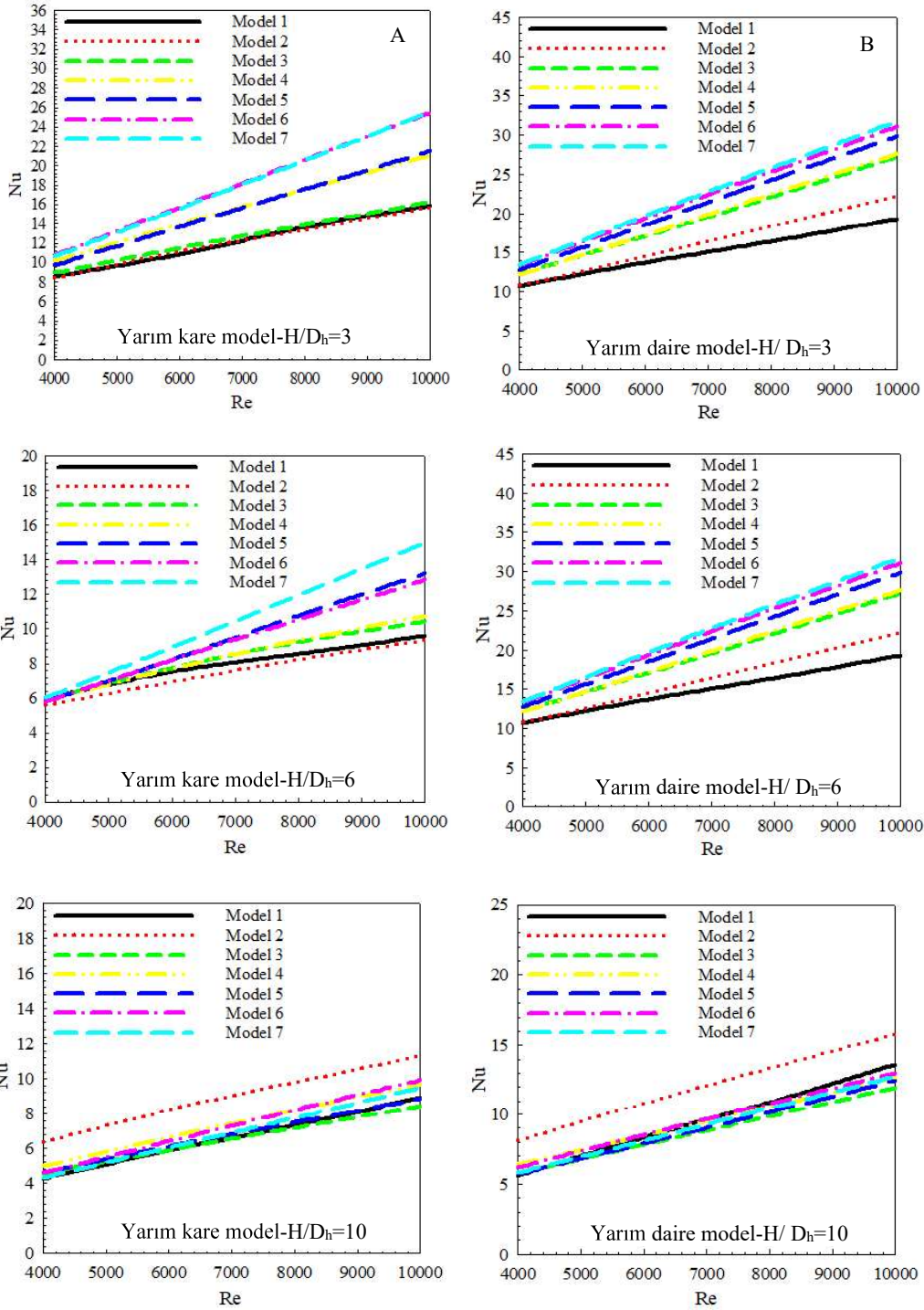
Şekil 3. (a) yarım-kare (b) yarım-daire modelli kanalların ağ yapıları



Şekil 4' de farklı kanal yükseklikli ($H/D_h=3, 6$ ve 10), $a=1,25D_h$ jet giriş genişlikli ve üçlü jet akışlı kanallarda bulunan yarım kare ve yarım daire modellenli yüzeylerin kanallardaki diziliş sıralarına göre ortalama Nu sayılarının Re sayılarına bağlı 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 değerlerine ulaşılrken; en düşük Nu sayısı değerleri ise Model 1 için elde edilmektedir. Bununla birlikte, yarım daire model yüzeyleri için elde edilen Nu sayısı değerleri, yarım kare modellenli yüzeylerden daha yüksektir. $H/D_h=3$ ve $Re=6000$ için yarım daire yüzeyli Model 7' de ulaşılan ortalama Nu sayısı değerleri, yarım kare yüzeyli olandan %26,26 daha fazla olmaktadır. Re sayısı artırıldığında ısı transferi artışına bağlı olarak Nu sayısı değerleri de artmaktadır. Kanal yüksekliği (H/D_h) 6 değerine çıkarıldığında ise jet akışın model yüzeyleri için ısı transferini artırıcı etkisinin azalmasıyla her iki model yüzeyi için de Nu sayısı değerlerinde düşüşler görülmektedir. $Re=8000$ 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 %41,89 ve %45,18' lik azalışlar elde edilmektedir. $H/D_h=10$ olduğunda 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.

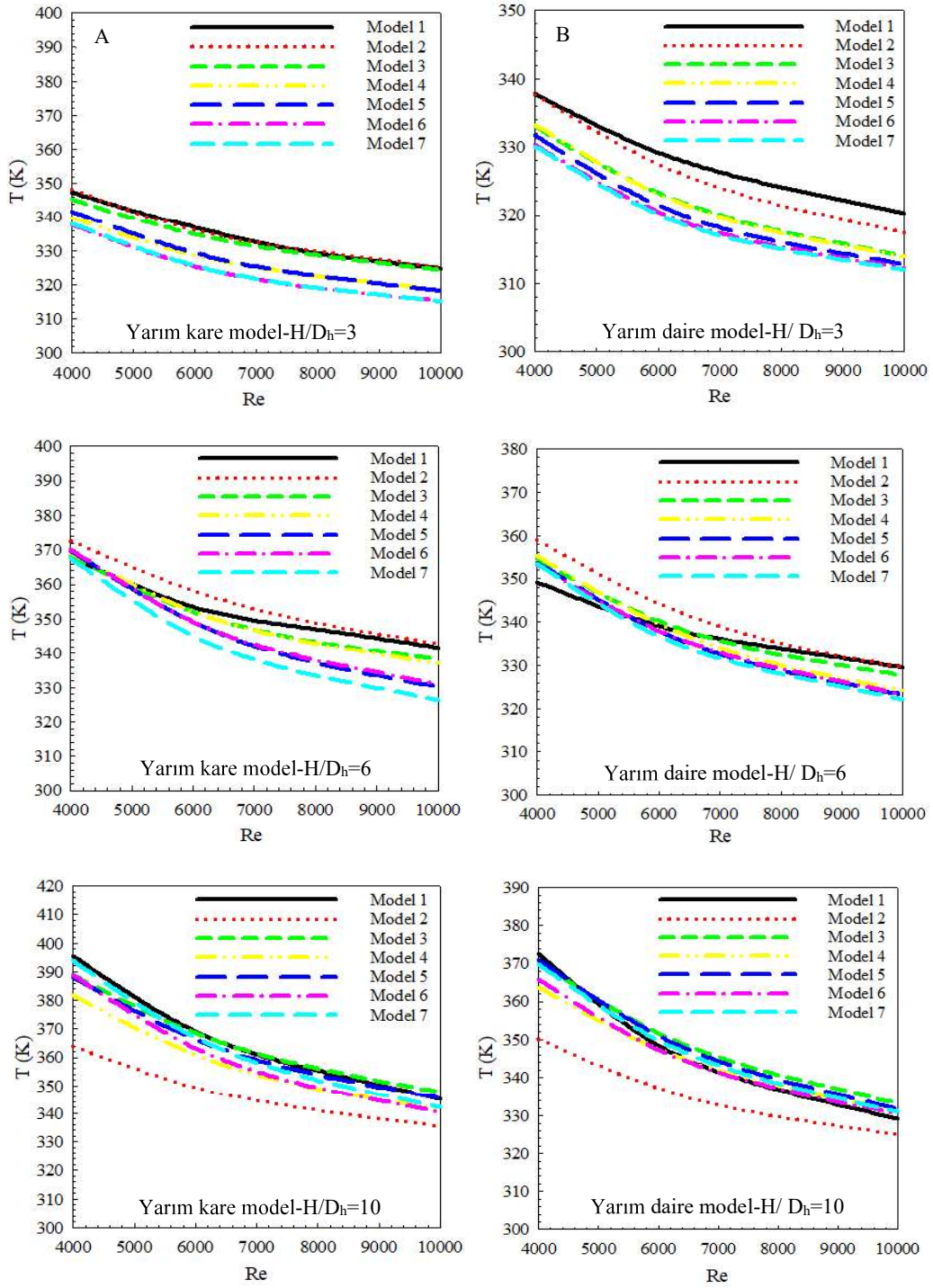
$a=1,25D_h$ jet giriş genişliği ve üç adet hava jeti akışına sahip farklı yükseklikli ve Re sayılı kanallarda bulunan yarım kare ve yarım daire modellenli yüzeylerin kanallardaki diziliş sıralarına göre ortalama yüzey sıcaklıklarının (T) değişimleri Şekil 5' de verilmektedir. Her iki model yüzeyli kanalda da Re sayısı artışına bağlı olarak artan soğuma etkisiyle; model yüzeylerinin sıcaklıkları azalmaktadır. Tüm kanal yükseklik (H/D_h) değerlerinde yarım kare modellenli yüzeyler için ulaşılan yüzey sıcaklığı değerleri daha yüksektir. Bu durum, üçlü jet akışının yarım daire modellenli yüzeylerde ısı transferini artırıcı etkisine bağlı soğutma performansının daha iyi olduğunu göstermektedir. Ayrıca, kanal yüksekliğinin artışıyla ($H/D_h=6$ ve 10) jet akışlarının yüzeyler üzerindeki çarpma etkisinin azalmasına bağlı olarak ısı transferi azaldığından; yüzey sıcaklıklarında $H/D_h=3$ ' e göre artışlar görülmektedir.

Çizelge 3' de $a=1,25D_h$ jet giriş genişlikli ve üçlü jet akışlı kanallarda bulunan tüm yarım kare ve yarım daire modellenli yüzeylerdeki ortalama Nu sayısı (Nu_o) ve jet akışların kanaldan çıkış sıcaklıkları (T_c) farklı kanal yükseklikleri (H/D_h) ve Re sayıları için gösterilmektedir. Kanaldaki Re sayısının artışına bağlı olarak Nu_o değerleri artarken; T_c değerleri azalmaktadır. Bununla birlikte, yarım daire model yüzeyleri için elde edilen Nu_o değerlerinin, yarım kare modelden daha fazla olduğu Çizelge 3' den de görülebilmektedir. $Re=10000$ ve $H/D_h=3$ için yarım daire modellenli yüzeyin Nu_o sayısı, yarım kare modelden %33,66 daha fazladır. Bunun yanı sıra, kanal yüksekliğinin artışıyla her iki model yüzeyi için de Nu_o sayıları azalmaktadır.



Şekil 4. $a=1,25D_h$ 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



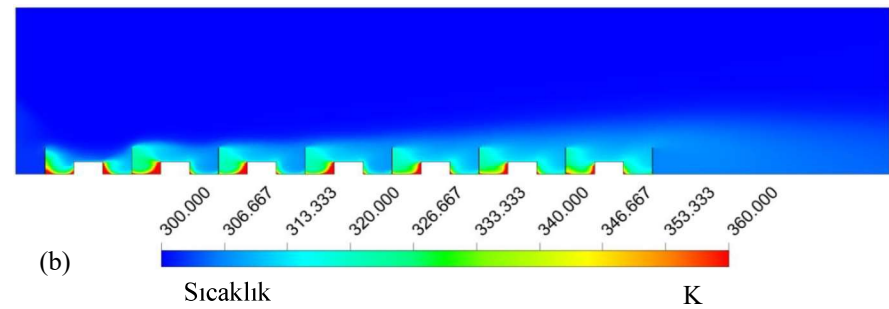
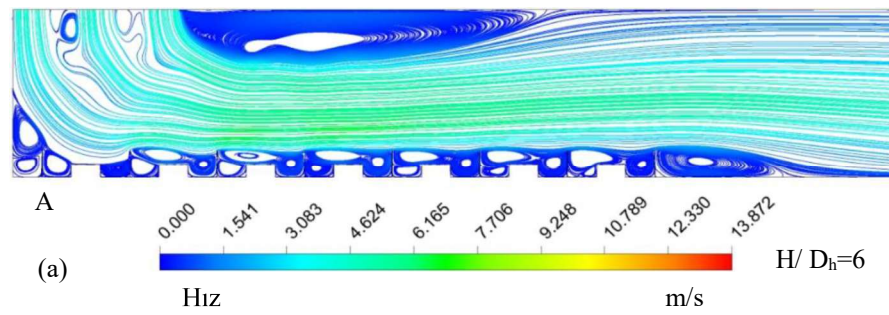
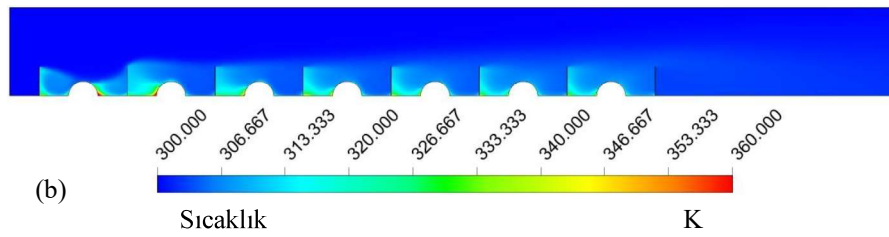
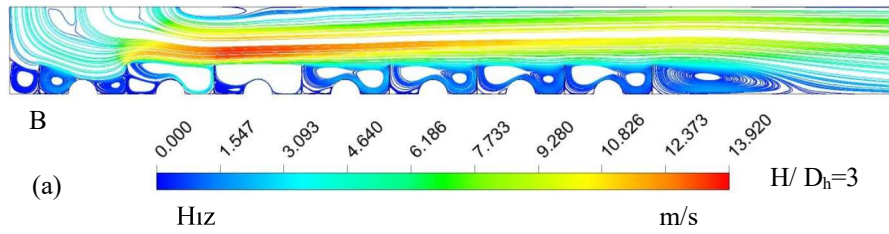
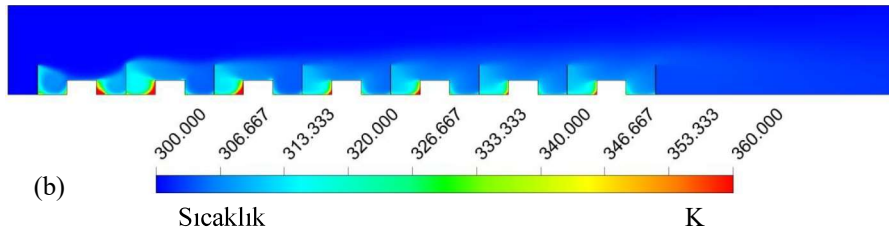
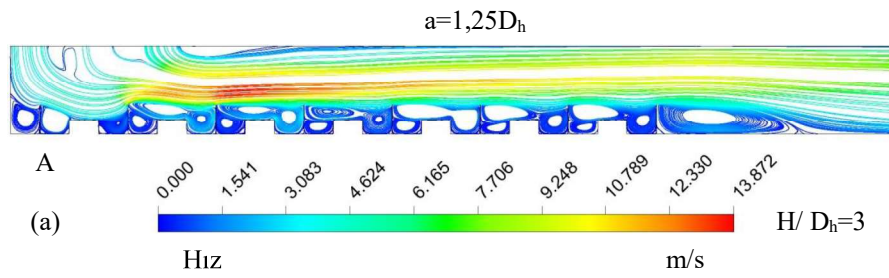
Şekil 5. $a=1,25D_h$ giriş genişlikli üçlü jet akışlı kanallardaki A-yarım-kare B-yarım-daire modelli yüzeylerin kanaldaki sıralanış düzenlerine göre ortalama yüzey sıcaklığının

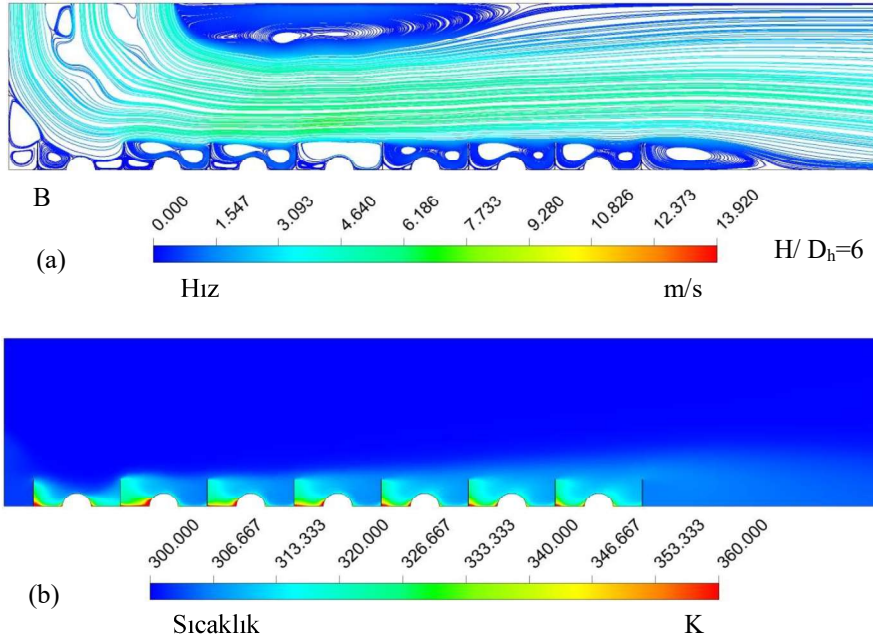


Yarım Kare Model	H/D _h =3		H/D _h =6		H/D _h =10	
	T _ç (K)	Nu _o	T _ç (K)	Nu _o	T _ç (K)	Nu _o
Re=4000	312,33	9,61	312,22	5,87	311,96	4,83
Re=6000	311,56	13,23	311,49	7,91	311,3	6,47
Re=8000	311,16	16,78	311,11	9,81	310,98	8,01
Re=10000	310,93	20,23	310,89	11,62	310,77	9,52

Yarım Daire Model	H/D _h =3		H/D _h =6		H/D _h =10	
	T _ç (K)	Nu _o	T _ç (K)	Nu _o	T _ç (K)	Nu _o
Re=4000	312,09	12,22	311,94	7,53	311,93	6,23
Re=6000	311,4	17,19	311,33	10,27	311,3	8,58
Re=8000	311,04	22,14	311,01	12,93	310,93	10,88
Re=10000	310,83	27,04	310,76	15,63	310,68	13,2

Şekil 6' da Re=6000 değerinde üçlü hava jeti akışlı ve $a=1,25D_h$ jet giriş genişlikli kanallardaki A-yarım kare B-yarım daire model yüzeyleri için (a) hız-akım ve (b) sıcaklık konturu dağılımları 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 yüzeylerinin soğuma performansını artırmaktadır. Model aralarında meydana gelen yeniden dolaşım bölgeleri, akışkanın kendi içinde sirkülasyon halindeki bölgeler olduğundan model yüzey şekline bağlı olarak üçlü jet akış etkisinin daha az olduğu ilk sıradaki modeller arasında sıcaklığın arttığı bölgeler görülebilmektedir. Özellikle yarım kare modellenli yüzeylerde; yarım daire modellenli yüzeye göre sıcaklığın artış sergilediği model yüzeyleri daha fazla olmaktadır. 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 yüzeylerin sıcaklıkları da artmaktadır. Bu durum kanal yüksekliği artırılınca; ısı transferi performansının azalmasının bir göstergesidir. Bu nedenle, özellikle model yüzeylerinin geometrisi ve kanal yüksekliği soğutma performansının belirlenmesinde önemli değişkenler olarak göz önüne alınmalıdır.





Şekil 6. $a=1,25D_h$ giriş genişlikli ve üçlü jet akışlı A-yarım-kare B-yarım-daire model yüzeyli kanallardaki (a) hız-akım (b) sıcaklık konturu dağılımları

5. Genel Sonuçlar ve Değerlendirme

Bu çalışmada, $1,25D_h$ jet giriş genişliğindeki üç adet jet akışı kullanılarak kanallarda bulunan sabit ısı akıllı ve bakır plakalı yarım-kare ve yarım-daire modellenli yüzeylerden olan ısı transferi ve kanallardaki akış yapıları değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda ulaşılan veriler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- $H/D_h=3$ değerinde her iki model yüzeyi için de Model 7' de en yüksek ortalama Nu sayısı değerlerine ulaşılrken; en düşük Nu sayısı değerleri ise Model 1 için elde edilmektedir.
- Yarım daire model yüzeyleri için elde edilen Nu sayısı değerleri, yarım kare modellenli yüzeylerden daha yüksektir.
- $H/D_h=3$ ve $Re=6000$ için yarım daire yüzeyli Model 7' de ulaşılan ortalama Nu sayısı değerleri, yarım kare yüzeyli olandan %26,26 daha fazladır.
- Re sayısı artırıldığında ısı transferi artışına göre Nu sayısı değerleri de artış göstermektedir.
- Kanal yüksekliği (H/D_h) 6 değerine çıkarıldığında jet akışın model yüzeyleri üzerindeki ısı transferini artırıcı etkisinin azalması sonucu her iki model yüzeyi için de Nu sayısı değerlerinde düşüşler görülmektedir.
- $Re=8000$ 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 %41,89 ve %45,18' lik azalışlar elde edilmektedir.
- $H/D_h=10$ olduğunda ise Nu sayıları, diğer H/D_h oranlarına göre en düşük değerlerine ulaşmakla birlikte; en yüksek Nu sayıları her iki model yüzeyli kanalda da Model 2 için elde edilmektedir.
- Her iki model yüzeyli kanalda da Re sayısı artışına bağlı olarak artan soğuma etkisiyle; model yüzeylerinin sıcaklıkları azalmaktadır.
- Tüm kanal yükseklik (H/D_h) değerlerinde yarım kare modellenli yüzeyler için ulaşılan yüzey sıcaklığı değerleri daha yüksektir.



- Kanal yüksekliğinin artışıyla ($H/D_h=6$ ve 10) model yüzey sıcaklıkları $H/D_h=3'$ e göre artmıştır.
- Kanallardaki modellerin tümü değerlendirildiğinde; $Re=10000$ ve $H/D_h=3$ için yarım daire modelli yüzeyin Nu_o sayısının yarım kare modelliden %33,66 daha fazla olduğu belirlenmiştir.
- Sonuç olarak, üçlü çarpan hava jeti akışının model yüzeyleriyle olan temaslarının artırılması; jet akışkana olan ısı transferini artırarak soğuma performansını iyileştirmektedir. Isı 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>

Babic, D., Murray, D. B., Torrance, A. A. (2005). Mist jet cooling of grinding processes. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45(10), 1171-1177. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2004.12.004>

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. (2021). Dikdörtgen bir kanaldaki farklı desenli yüzey geometrilerinin ısı transferine olan etkilerinin incelenmesi, *Tesisat Mühendisliği*, 2021(183), 37-49. Erişim adresi: <https://search.trdizin.gov.tr/tr/yayin/detay/440785/>

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., 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. doi: <http://dx.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>