



Academic Research Journal of Technical Vocational Schools

artest@cumhuriyet.edu.tr

Founded: 2023

Available online, ISSN: 2822-5880

Publisher: Sivas Cumhuriyet Üniversitesi

Analysis of Cooling and Flow Characteristics of Models with Different Surfaces in Channels by Triple Jet Effect

Koray Karabulut^{1,a*}, Yeliz Alnak^{2,b}

¹Department of Electricity and Energy, Sivas Vocational School of Technical Sciences, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Türkiye

²Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Technology, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Türkiye

*Corresponding author

Research Article

History

Received: 12/03/2023

Accepted: 22/05/2023

ABSTRACT

The impinging jet technique is an advanced cooling technology with high heat transfer performance used in the cooling of devices that produce excess heat in electronic systems. In this study, the cooling of flat step and triangular step model copper plate surfaces in ducts with jet inlet width of $0.75D_h$ with three air jet flows was investigated numerically. The studies were conducted using the numerical time-independent and three-dimensional k- ϵ turbulence model with the Ansys-Fluent computer program. The channel facets are adiabatic and only the model facets have a constant heat flux. While the Re number range determined for the study is 4000-10000; the distance between the jet and the plate (H/D_h) is 3 and 6. The outcomes of the work were matched with the scalar and empiric outcomes of the work in the literature, 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. In addition, the mean Nu number (Nu_o) and exit temperatures (T_c) of the jet flows were investigated for all model surfaces in the channel. 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. For $Re=10000$ and $H/D_h=6$, it was determined that the Nu_o numbers of the surfaces with the flat step model were 45.43% higher than the surfaces with the triangular step model.

Keywords: Triple air jet, Model surface, Cooling

Kanallardaki Farklı Yüzeyle Modellerin Üçlü Jet Etkisi ile Soğutulmalarının ve Akış Karakteristiğinin Analizi

Süreç

Geliş: 12/03/2022

Kabul: 22/05/2023

Öz

Çarpan jet tekniği, elektronik sistemlerde fazla ısı üreten cihazların soğutulmasında kullanılan yüksek ısı transferi performanslı gelişmiş bir soğutma teknolojisidir. Bu çalışmada, $0,75D_h$ jet giriş genişlikli kanallardaki düz basamak ve üçgen basamak modelli bakır plakalı yüzeylerin üç adet hava jeti akışı ile soğutulması sayısal olarak araştırılmıştır. Araştırmalar, zamandan bağımsız ve üç boyutlu olarak enerji ve Navier-Stokes denklemlerinin k- ϵ türbülans modelli Ansys-Fluent bilgisayar programı kullanılarak çözülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Kanalların üst ve alt yüzeyleri adyabatik olup; yalnızca model yüzeyleri sabit ısı akısına sahiptir. Çalışma için belirlenen Re sayısı aralığı 4000-10000 iken; jet-plaka arası uzaklık (H/D_h) 3 ve 6'dır. Çalışmanın sonuçları literatürde bulunan çalışmanın sayısal ve deneysel sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve birbirleriyle uyumlu oldukları belirlenmiştir. Sonuçlar, her bir model yüzeyi için ortalama Nu sayısı ve yüzey sıcaklığının değişimi olarak sunulmuştur. Ayrıca, kanaldaki tüm model yüzeyleri için ortalama Nu sayısı (Nu_o) ve jet akışların kanaldan çıkış sıcaklıkları (T_c) incelenmiştir. Farklı Re sayıları ve H/D_h oranlarında kanal boyunca jet akışın hız-akım ve sıcaklık konturu dağılımları model yüzeyleri için değerlendirilmiştir. $Re=10000$ ve $H/D_h=6$ için düz basamak modelli yüzeylerin Nu_o sayılarının, üçgen basamak modelli yüzeylerden %45,43 daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Üçlü hava jeti, Model yüzeyi, Soğutma

Copyright



This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International License

^a kkarabulut@cumhuriyet.edu.tr

^b <https://orcid.org/0000-0001-5680-0988>

^a yytas@cumhuriyet.edu.tr

^b <https://orcid.org/0000-0003-4383-3806>

How to Cite: Karabulut K., Alnak Y., (2023) Analysis of Cooling and Flow Characteristics of Models with Different Surfaces in Channels by Triple Jet Effect, Academic Research Journal of Technical Vocational Schools, 2(1):11-18

Giriş

Küresel iklim değişikliği nedeniyle, enerjiyle ilgili bilim dallarında çalışan mühendisler enerji tüketimi daha az olan ve verimliliği yüksek cihazların geliştirilmesi üzerine daha fazla araştırma ve geliştirme yapma gayreti içerisinde olduklarıdır. Böylece, günümüz yüksek teknoloji ürünlerinde karşılaşılan en büyük problemlerden biri olan ısınma ve bunun sonucunda güvenilir sıcaklık sınırlarını aşma problemiyle karşılaşma olasılığı da azalacaktır. Çarpma 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 çarpma jet tekniği kullanılarak gerçekleştirilmesiyle yüksek ısı üretim kapasiteli cihazlardan daha fazla ısının transferi olanaklı hale gelmektedir (Babic ve ark., 2005).

Literatürde çarpma jet ile ısı transferi hakkında çeşitli çalışmalar bulunmakla birlikte; yapılan çalışmaların birinde Arguis ve ark., (2007) laminar 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, (2020) 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, (2021) çatı ve ters yamuk şeklindeki 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. 0,5Dh jet giriş genişliğinde, H/Dh=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 ark., (2022) 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 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. Belarbi ve ark., (2018) ise bilgisayar

işlemcisinin soğuma 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 ark., (2021) su jeti çarpmasına maruz kalan çipe bağlı bir mikro iğne kanatlı soğutma cihazından ısı transferini araştırmıştır. Bu amaçla, iğne kanat kesiti, kanatlık 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. Karabulut, (2019) içerisinde sabit ısı akışı 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, (2007) çarpma 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 $500 \leq Re \leq 10000$ 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. Karabulut ve Alnak, (2023) kare tünel ve daire tünel olmak üzere farklı geometrik şekillere sahip bakır plakalı yüzeylerde 0,75Dh jet giriş genişliği için yüzeylerden olan ısı transferi etkisini üçlü hava jeti etkisi ile incelemiştir. Sonuçlarında, H/Dh= 3 ve $Re = 10000$ için daire tünel modeli yüzeyin ortalama Nu sayısı (Nuo) değerinin kare tünel modeli yüzeyden %45,31 daha yüksek olduğunu belirlenmişlerdir. Madhwesh ve ark. (2023) jetler olarak yakınsak şekilli nozulların ön kenarının çarpma soğutmasının akış ve ısı transferi özelliklerini araştırmak için ayrıntılı bir sayısal çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında, en yüksek Nu sayısı değerindeki artışın, jet-hedef mesafeleri için daha fazla olduğu ve jet çapının daha düşük bir değerinde daha yüksek yakınsama oranı olduğunu belirlemişlerdir. Bir diğer çalışmada, Yalçınkaya ve ark. (2022), sıralı bir genişletilmiş jet çarpma soğutma modelleri dizisi kullanarak, yarık şeklindeki pimlerle pürüzlendirilmiş hedef yüzey üzerindeki ısı transferi performansının

etkilerini sayısal olarak araştırmıştır. Pim pürüzlü yüzeylerin, genişletilmiş jet çarpmalı soğutma sisteminde ortalama taşınım ısı transferini ve yerel ısı transferinin homojenliğini güçlü bir şekilde etkilediğini belirlemişlerdir.

Bu çalışmada, $a=0,75D_h$ jet giriş genişlikli kanallar içerisindeki düz basamak ve üçgen basamak modelli bakır plakalı yüzeylerin üç adet hava jeti akışı ile soğutulmasının sayısal incelemesi yapılmıştır. İncelenen jet Re sayısı aralığı 4000-10000 iken; jet-plaka arası uzaklığı ise 3 ve $6D_h$ '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/Dh oranları ve modeller için kanal boyunca üçlü jet akışının sıcaklık ve hız-akım çizgisi konturu dağılımları Re sayısının 6000 olduğu değer için incelenmiştir.

Sayısal 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 (Wang ve Mujumdar, 2005; Karabulut, 2019) çözümüyle çalışmanın sonuçları elde edilmiştir.

Jet akış için Re sayısı aşağıda verilen eşitlik yardımıyla bulunur.

$$Re = \frac{V_{jet} D}{\nu} \quad (1)$$

Burada, D jet girişinin hidrolik çapı (m) ve Vjet kanal girişindeki jet akışının hızıdır (m/s).

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

Ac ve P sırasıyla jet giriş kesit alanı (m^2) ve jet girişinin çevre uzunluğunu gösterirken (m), a kanal giriş uzunluğu (m) ve W kanal genişliğidir (m).

Nu sayısı, taşınım ısı transfer hızının iletim ısı transfer hızına oranıdır.

$$-k \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_y = h(T_\infty - T_y) \quad \text{ve} \quad Nu = \frac{hD}{k} \quad (3)$$

Burada, h noktasal yüzey üzerindeki ısı taşınım katsayısı (W/m^2K), n yüzeye dik yön olup; noktasal Nu sayısı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

Ortalama ısı transfer katsayısı

$$h_o = \frac{1}{L} \int_0^L h dx \quad (4)$$

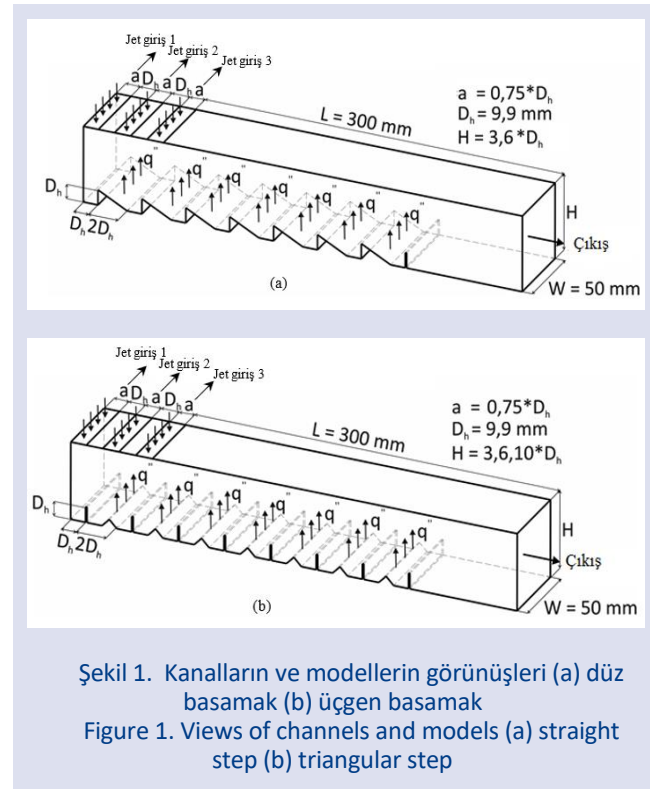
Ortalama Nu sayısı

$$Nu_o = \frac{h_o D}{k} \quad (5)$$

Modellerin Tasarımı

Şekil 1'de çalışmada kullanılan model yüzeylerinin olduğu kanalların görünüşleri 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 bir dikdörtgen jet püskürtücüsünün boyutları $7,425 (0,75D_h) \times 50mm$ ölçülerinde olup; jetler arasında Dh kadar mesafe bulunmaktadır. 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) sıkıştırılmaz 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 olarak alınmıştır, e) akışkan ve model yüzeylerinde ısı üretimi bulunmamaktadır.



Şekil 1. Kanalların ve modellerin görünüşleri (a) düz basamak (b) üçgen basamak
Figure 1. Views of channels and models (a) straight step (b) triangular step

Sonuçlar 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.

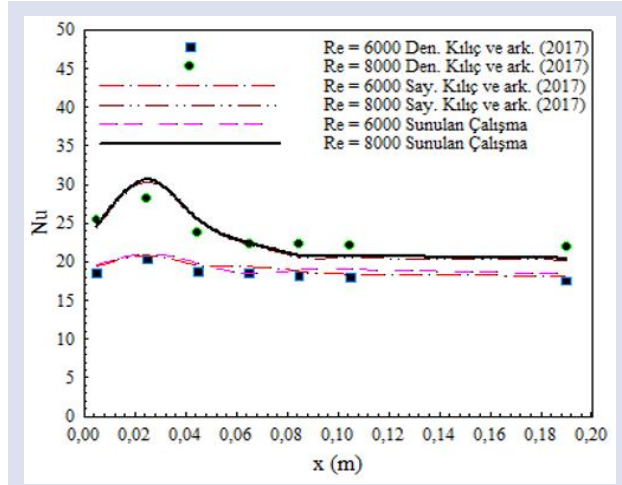
H/Dh=4 için kanaldaki ağ sayısının model yüzeylerinin ortalama Nu sayıları (Nuo) üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla düz basamak ve üçgen basamak modelleri yüzeyleri dikkate alınarak gerçekleştirilen ağ bağımsızlık testlerinin sonuçları sırasıyla Çizelge 1 ve 2'de verilmektedir. Ulaşılan sonuçlar,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

Şekil 4' de 0,75Dh jet giriş genişlikli ve üçlü jet akışlı kanallardaki A-düz basamak ve B-üçgen basamak modelleri yüzeylerin model sıralarına göre ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimleri H/Dh=3 ve 6 kanal yükseklikleri için gösterilmektedir. Kanallar içerisinde model yüzeyleri üzerindeki Nu sayı değerlerine; model şekilleri, model yüzeylerine etki eden jet sayıları, jet akış Re sayıları ve kanal yükseklikleri etki etmektedir. Bu faktörler göz önüne alındığında; H/Dh=3 için düz basamak modelleri yüzeyde en yüksek Nu sayısına Model 2' de ulaşılırken, üçgen basamak modelleri yüzeyde Model 6 için elde edilmektedir. H/Dh=3 ve Re=6000 için düz basamak modelleri Model 2 yüzeyinde ortalama Nu sayısı, üçgen basamak modelleri yüzeyden %67 daha fazladır. Kanal yüksekliği artırıldığında ise kanaldaki üçlü jet akışların model yüzeyleri üzerindeki etkisinin azalmasına bağlı olarak Nu sayıları azalmakla birlikte; model sıraları içinde en yüksek Nu sayısı değerine sahip olan model sırası değişmektedir. Kanaldaki jet akışların modeller üzerindeki değişimine bağlı olarak her iki model yüzeyi için de Model 3' de en yüksek Nu sayısı değerlerine ulaşılmaktadır. Ayrıca, Re=8000 ve Model 3 için kanal yükseklik oranının (H/Dh) 3' den 6' ya çıkarılmasıyla; düz basamak ve üçgen basamak modelleri yüzeylerin ortalama Nu sayıları sırasıyla %38 ve %38,47' lik azalışlar sergilemektedir.

H/Dh=3 ve 6 yükseklikli ve 0,75Dh jet giriş genişliklerine sahip üçlü jet akışlı kanallardaki düz basamak ve üçgen basamak modelleri yüzeylerin ortalama yüzey sıcaklık değişimlerinin Re sayısına bağlı değişimleri Şekil 5' de verilmektedir. Re sayısının artışına bağlı olarak model yüzeylerinden olan ısı transferi artışıyla, yüzey sıcaklık değerleri her iki model yüzeyi için de düşmektedir. Şekil 5' den de görülebildiği gibi üçgen basamak modelleri yüzeylerde düz basamak modelleri yüzeylere göre ulaşılan yüzey sıcaklık değerleri daha fazladır. Bununla birlikte, kanal yüksekliği (H/Dh) artırıldığında üçlü jet akışının model yüzeyleri üzerindeki ısı transferini artırıcı etkisi azaldığından model yüzey sıcaklık değerleri artmaktadır. Bu durum da yüzeyler üzerinden azalan ısı transferini kanıtlamaktadır.

Çizelge 3' de 0,75Dh jet giriş genişlikli ve üçlü jet akışlı kanallarda bulunan yedi adet düz basamak ve üçgen basamak modelleri yüzeylerin tümü için ortalama Nu sayısı (Nuo) ve jet akışların kanallardan ortalama çıkış sıcaklıkları (Tç) sunulmaktadır. Kanallardaki üçlü jetlerin Re sayılarının artışıyla her iki model yüzeyi için de Nuo değerleri artmaktadır.

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



Şekil 2. Deneysel ve sayısal sonuçların karşılaştırılması
Figure 2. Comparison of experimental and numerical results

Çizelge 1. Düz basamak modelleri kanal için Nuo için ağ sayısından bağımsızlık testi

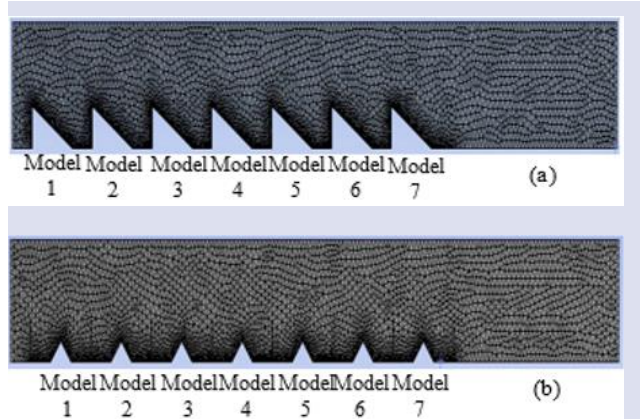
Table 1. Network count independence test for Nuo for straight cascade model channel

Ağ sayısı	Nu _o	Nu _o	Nu _o	Nu _o
	Re=4000	Re=6000	Re=8000	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

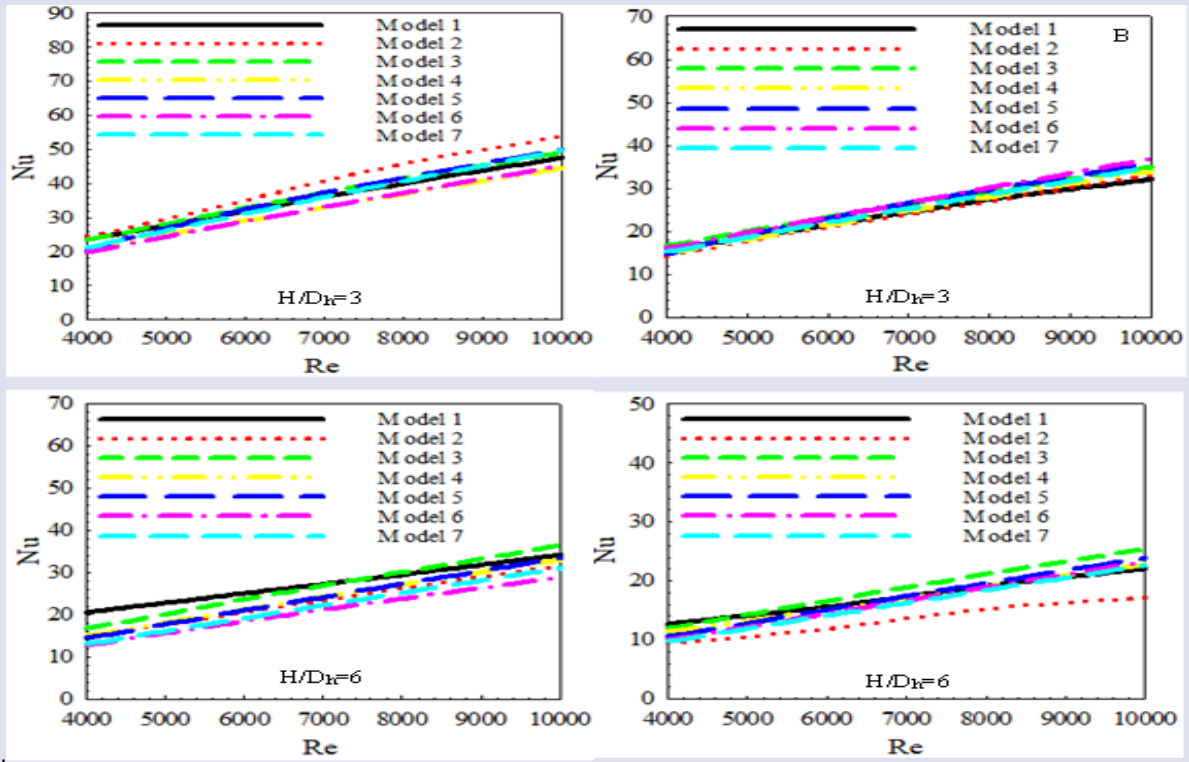
Çizelge 2. Üçgen basamak modelleri kanal için Nuo için ağ sayısından bağımsızlık testi

Table 2. Network number independence test for Nuo for triangular step model channel

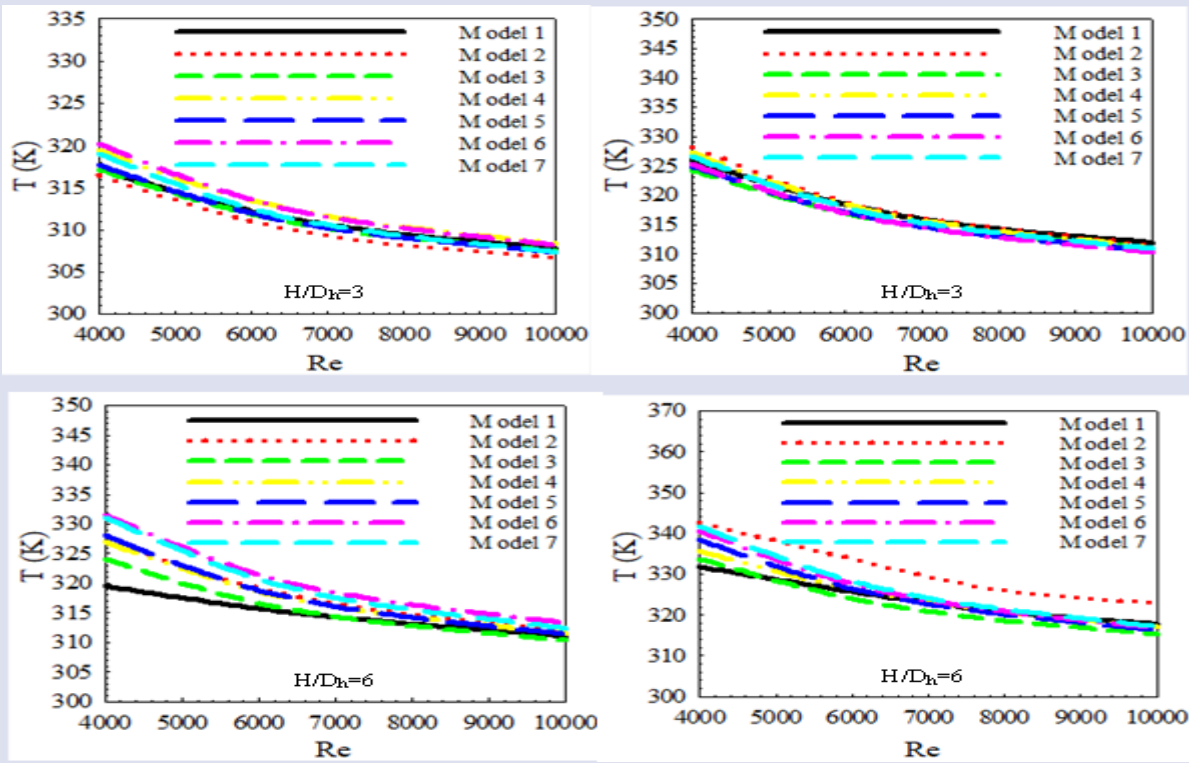
Ağ sayısı	Nu _o	Nu _o	Nu _o	Nu _o
	Re=4000	Re=6000	Re=8000	Re=10000
547821	13,47	19,84	25,47	30,58
1364330	15,11	21,17	26,91	32,64
1547812	15,11	21,17	26,89	32,63



Şekil 3. (a) düz basamak (b) üçgen basamak modelleri kanalların ağ yapıları
Figure 3. Network structures of (a) straight step (b) triangular step model channels



Şekil 4. $a=0,75D_h$ 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
 Figure 4. Variation of the mean Nu number with Re number in triple jet flow channels of $a=0,75D_h$ inlet width according to the order on the duct of A-straight step B-triangular step model surfaces



Şekil 5. $a=0,75D_h$ 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
 Figure 5. Variation of the mean surface temperatures with Re number in triple jet flow channels of $a=0,75D_h$ inlet width according to the order on the duct of A-straight step B-triangular step model surfaces

Çizelge3. $a=0,75D_h$ giriş genişlikli ve üçlü jet akışlı kanallardaki model yüzeylerinin tümü için ortalama Nu sayısı (Nu_o) ve jet akışların kanaldan çıkış sıcaklıkları (T_ç)

Table 3. Mean Nu number (Nu_o) and exit temperatures of jet flows (T_ç) for all model surfaces in channels with $a=0.75D_h$ inlet width and triple jet flow

Düz Basamak Model		H/D _h =3		H/D _h =6	
	T _ç (K)	Nu _o	T _ç (K)	Nu _o	
Re=4000	312,06	22,26	311,95	15,35	
Re=6000	311,37	31,62	311,3	21,33	
Re=8000	311,02	40,6	310,97	27,08	
Re=10000	310,82	48,54	310,78	32,68	
Üçgen Basamak Model		H/D _h =3		H/D _h =6	
	T _ç (K)	Nu _o	T _ç (K)	Nu _o	
Re=4000	312,17	15,56	312	10,87	
Re=6000	311,45	22,26	311,33	14,74	
Re=8000	311,08	28,6	310,99	18,83	
Re=10000	310,87	34,57	310,79	22,47	

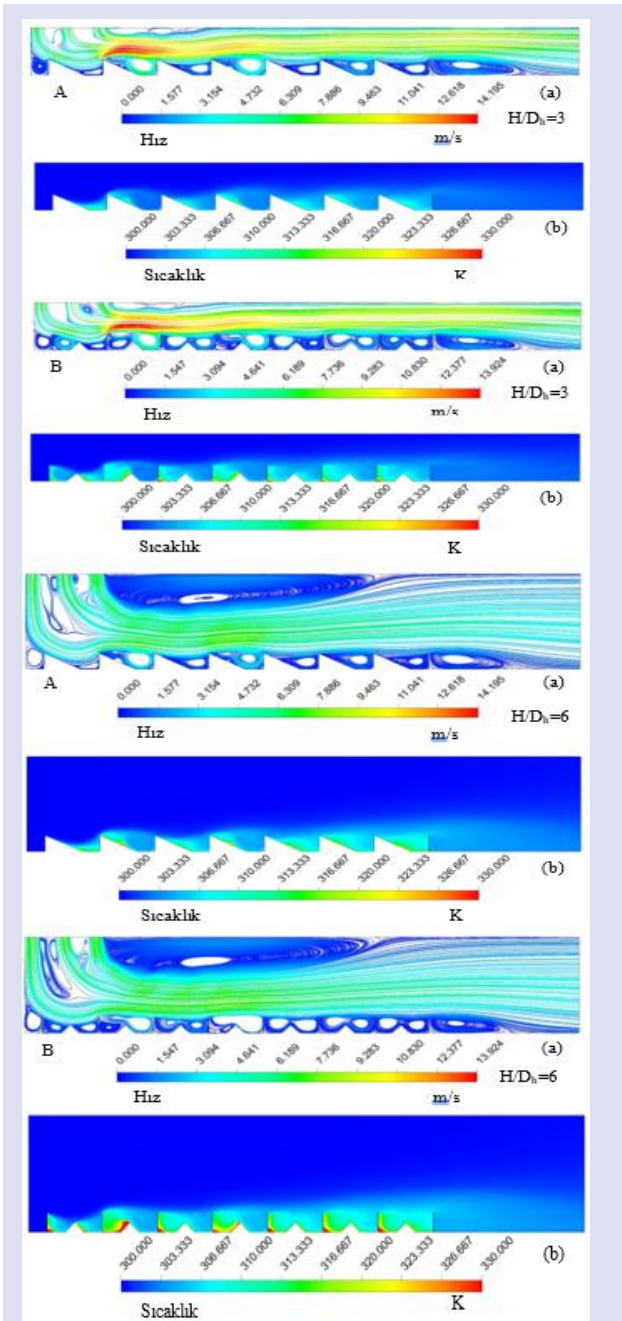
En yüksek Nu_o değerleri düz basamak modeli yüzeyler için elde edilirken; H/D_h oranının artışıyla Nu_o sayıları azalmaktadır. Re=10000 ve H/D_h=6 için düz basamak modeli yüzeylerin Nu_o sayıları üçgen basamak modeli yüzeylerden %45,43 daha fazladır. Ayrıca, Nu_o sayısının artışıyla T_ç değerleri azalmakla birlikte; üçgen basamak modeli yüzeylerde T_ç değerleri daha yüksektir. Bu duruma, üçgen basamaklı modellerde Nu sayısının daha az olmasına bağlı olarak; iletimle ısı transferi direncinin taşınımıyla ısı transferi direncinden daha az olması sonucu akışkanın ısınması sebep olmaktadır.

Şekil 6' da A-Düz basamak ve B-Üçgen basamak modeli yüzeylerin bulunduğu kanallardaki (a) Hız-akım ve (b) Sıcaklık konturu dağılımları H/D_h=3 ve 6 kanal yükseklik oranları ve Re=6000 için gösterilmektedir. H/D_h=3' de her iki modeli yüzey için de kanallarda bulunan birinci sıradaki model yüzeylerine çarpan jet akışları, model yüzeylerinin sağ üst ucundan itibaren ikinci ve üçüncü jet akışlarıyla birleşerek hızlarını artırmaktadırlar. Artan akış hızlarıyla birlikte, model yüzeylerinden olan ısı transferleri artarken; yüzeyler etrafındaki yeniden dolaşım bölgelerinin büyüklükleri ve yoğunlukları azalmaktadır. Bu durum da sıcaklık konturu dağılımlarında model yüzeyleri etrafında sıcaklıkta azalma olarak kendini göstermektedir. Ancak, üçgen modeli yüzeyler etrafındaki sıcaklık değerleri; düz basamak modeli yüzeylere göre daha fazla olmaktadır. Kanal yükseklik oranı (H/D_h), 6 değerine çıkarıldığında jet akışların model yüzeyleri üzerindeki etkisinin azalmasına bağlı olarak kanal içerisindeki yeniden dolaşım bölgelerinin büyüklükleri artmaktadır. Bu durum da model yüzeyleri etrafındaki akışkan hareketinin azalmasına sebep olarak; sıcaklık değerlerini artmaktadır. Böylece, yüzeylerin soğuma performansı azalmaktadır.

Genel Sonuçlar ve Değerlendirme

Bu çalışmada, 0,75D_h jet giriş genişliğindeki kanallarda bulunan sabit ısı akılı ve bakır plakalı düz basamak ve üçgen basamak modeli yüzeylerin üç adet jet akışı kullanılarak soğutulması ve kanallardaki akış yapıları incelenmiştir. Çalışma sonucunda ulaşılan veriler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- H/D_h=3 için düz basamak modeli yüzeyde en yüksek Nu sayısına Model 2' de ulaşılrken, üçgen basamak modeli yüzeyde Model 6 için elde edilmektedir.
 - H/D_h=3 ve Re=6000 için düz basamak modeli Model 2 yüzeyinde ortalama Nu sayısı, üçgen basamak modeli yüzeyden %67 daha fazla olmaktadır.
 - H/D_h=6 için her iki model yüzeyi için de Re sayısına bağlı olarak Model 3' de en yüksek Nu sayısı değerlerine ulaşılmaktadır.
 - Re=8000 ve Model 3 için kanal yükseklik oranının (H/D_h) 3' den 6' ya çıkarılmasıyla; düz basamak ve üçgen basamak modeli yüzeylerin ortalama Nu sayıları sırasıyla %38 ve %38,47' lik azalışlar sergilemektedir.
 - Üçgen basamak modeli yüzeylerde düz basamak modeli yüzeylere göre ulaşılan yüzey sıcaklık değerleri daha fazladır. Bununla birlikte, kanal yüksekliği (H/D_h) artırıldığında model yüzey sıcaklık değerleri artmaktadır.
 - En yüksek Nu_o değerleri düz basamak modeli yüzeyler için elde edilirken; H/D_h oranının artışıyla Nu_o sayıları azalmaktadır.
 - Re=10000 ve H/D_h=6 için düz basamak modeli yüzeylerin Nu_o sayıları üçgen basamak modeli yüzeylerden %45,43 daha fazladır.
 - Nu_o sayısının artışıyla T_ç değerleri azalmakla birlikte; üçgen basamak modeli yüzeylerde T_ç değerleri daha yüksektir.
- Sonuç olarak, üçlü çarpan jet akışının model yüzeyleriyle olan temaslarının artırılması; jet akışkana olan ısı transferini artırarak soğuma performansını iyileştirmektedir.



Şekil 6. $a=0,75D_h$ giriş genişlikli ve üçlü jet akışlı A-düz basamak B-üçgen basamak model yüzeyli kanallardaki (a) hız-akım (b) sıcaklık konturu dağılımları

Figure 6. Distribution of velocity-flow (a) temperature contours in channels with $a=0.75D_h$ inlet width and triple jet flow A-flat step B-triangular step model surface

References

- Arguis E, Rady MA, Nada SA. 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. doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2006.09.004
- Barbosa FV, Teixeira SFCF, Teixeira JCF. 2023. Convection from multiple air jet impingement- a review, *Applied Thermal Engineering*, 218, 119307. doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.119307
- Babic D, Murray DB, Torrance AA. 2005. Mist jet cooling of grinding processes, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 45, 1171-1177. doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2004.12.004
- Belarbi AA, 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. doi.org/10.18280/ijht.360420
- Karabulut K, Alnak Y. 2023. Üçlü jet akışlı kanallardaki değişik yüzeyli modellerin soğuma performanslarının araştırılması, *Tesisat Mühendisliği*, 194, 15-27. Erişim uzantısı: https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/yayin_dosyalar/Tesisat-194-tum-22022023.pdf
- Karabulut K, Alnak DE. 2021. Dikdörtgen bir kanaldaki farklı desenli yüzey geometrilerinin ısı transferine olan etkilerinin incelenmesi, *Tesisat Mühendisliği*, 183, 37-49. Erişim uzantısı: https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/yayin_dosyalar/Tesisat-183.pdf
- Karabulut K, Alnak DE. 2020. Değişik şekilde tasarlanan ısıtılmış yüzeylerin hava jeti çarpmalı soğutulmasının araştırılması, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26 (1), 88-98. 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.org/10.1007/s10825-019-01387-3
- Kercher DS, Lee JB, Brand O, Allen MG, Glezer A. 2003. Microjet cooling devices for thermal management of electronic, *IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies*, 26 (2), 359-366. doi.org/10.1109/TCAPT.2003.815116
- 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.org/10.1140/epjp/s13360-022-03489-7
- 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. doi.org/10.1007/s40430-016-0521-y
- Madhwesh N, Shantanu P, Vasudeva K. 2023. Computational flow and heat transfer study on impingement cooling in a turbine blade leading edge using an innovative convergent nozzles. *Journal of Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 45, 86. doi.org/10.1007/s40430-023-04020-4
- Mushatat KS. 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.
- Narumanchi SVJ, Amon CH, Murthy JY. 2003. Influence of pulsating submerged liquid jets on chip-level thermal phenomena, *Journal of Electronic Packaging*, 125 (3), 354-361. doi.org/10.1115/1.1572903
- Radmard V, Hadad Y, Rangarajan S, Hoang CH, Fallah Tafti N, Arvin CL, Sikka K, Schiffres SN, Sammakia BG. 2021. Multi-objective optimization of a chip-attached micro pin fin liquid cooling system, *Applied Thermal Engineering*, 195, 117187. doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117187
- Rathore SS, Verma SK. 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.org/10.1007/s00231-021-03156-0

Wang SJ, Mujumdar AS. 2005. A comparative study of five low reynolds number $k-\epsilon$ models for impingement heat transfer, *Applied Thermal Engineering*, 25, 31-44. doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2004.06.001

Yalçinkaya O, Durmaz U, Tepe AÜ, Uysal Ü, Özel MB. 2022. Effect of slot-shaped pins on heat transfer performance in the extended jet impingement cooling. *International*

Journal of Thermal Sciences, 179: 107698. doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2022.107698

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.org/10.1007/s00231-021-03113-x