

EXAMINATION OF COOLING OF SURFACES WITH DIFFERENT PATTERN GEOMETRIES BY MULTIPLE AIR JET

Assist. Prof. Dr. Yeliz ALNAK

Sivas Cumhuriyet University, Technology Faculty,
Manufacturing Engineering Department, Sivas, Turkey

ORCID NO: 0000-0003-4383-3806

Assoc. Prof. Dr. Koray KARABULUT

Sivas Cumhuriyet University, Sivas Technical Sciences Vocational School,
Electric and Energy Department Sivas, Turkey

ORCID NO: 0000-0001-5680-0988

ABSTRACT

The creation of a sustainable and energy-efficient environment depends on the efficient and economical use of resources. The increase in energy use due to industrialization and population growth is one of the issues that need to be controlled in today's world, where the negative effects of global climate change are increasingly felt. For this purpose, it is important and essential to develop sustainable energy production methods in engineering systems and products that will use energy efficiently, economically and with less impact on the environment. However, small-scale and high-capacity products produced in parallel with the rapid development in technology also cause some problems. At the beginning of these problems is the overheating of the devices; as a result, reliable temperature limits can be exceeded. Elimination of this problem is important both in terms of getting high performance from the device and using the device for a long time. For this, innovative and original techniques are needed in energy systems. 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 copper plate surfaces with triangular and flat semi-circular patterns under the effect of D_h jet inlet and triple air jet and the flow structures around the patterns in the channels were numerically researched. Numerical research was performed out by solving the energy and Navier-Stokes equations in three-dimensional and steady using the Ansys-Fluent computer program with $k-\epsilon$ turbulence model. The upper and lower surfaces of the channels are adiabatic; a constant heat flux of 1000 W/m^2 was applied to the patterned surfaces. The Re number range examined in the study was taken as 4000-10000 and the distances between the jet and the plate (H/D_h) were taken as 3 and 6. The results obtained from the study were compared with the numerical and experimental results of the study in the literature and it was determined that they were compatible with each other. The results were given as the variations of mean Nu number and surface temperature for each patterned surface in the channels. The mean Nu number (Nu_m) and exit temperatures of the jet stream (T_o) for all patterned surfaces in both channels were also evaluated. The velocity-streamline and temperature contour distributions of the jet stream were visualized for different patterned surfaces along channels with D_h inlet width and $H/D_h=3$ and 6 heights with triple air jets. The results showed that for $Re=6000$, the Nu_o value of the triangular-patterned surfaces at $H/D_h=3$ is 422.17% higher than the flat semi-circular-patterned surfaces.

Keywords: Multiple Impinging Air Jet, Patterned Surface, Numerical Heat Transfer

FARKLI DESEN GEOMETRİLİ YÜZEYLERİN ÇOKLU HAVA JETİ İLE SOĞUTULMALARININ İNCELENMESİ

ÖZET

Sürdürülebilir ve enerji açısından etkin bir çevrenin oluşturulması, kaynakların verimli ve tasarruflu olarak kullanılmasına bağlıdır. Sanayileşme ve nüfus artışına bağlı olarak enerji kullanımındaki artış, küresel iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin giderek daha fazla hissedildiği günümüz dünyasında kontrol altına alınması gereken konuların başında gelmektedir. Bu amaçla, mühendislik sistemlerinde sürdürülebilir enerji üretim yöntemleri ve enerjiyi verimli, tasarruflu ve çevre üzerinde daha az etkisi olacak şekilde kullanacak ürünlerin geliştirilmesi önemli ve şarttır. Bununla birlikte, teknolojiye hızlı gelişime paralel olarak üretilen küçük boyutlarda ve yüksek kapasiteli ürünler birtakım problemleri de ortaya çıkarmaktadır. Bu problemlerin başında cihazların fazla ısınması gelmekte olup; bunun sonucunda güvenilir sıcaklık sınırları aşılabilmektedir. Bu sorunun giderilmesi, hem cihazdan yüksek performans almamız hem de cihazın uzun ömürlü olarak kullanılması açısından önemlidir. Bunun için enerji sistemlerinde yenilikçi ve özgün tekniklere ihtiyaç duyulmaktadır. Çarpan jet tekniği, elektronik sistemlerde fazla ısı üreten cihazların soğutulmasında kullanılan yüksek ısı transferi performanslı gelişmiş bir soğutma teknolojisidir. Bu çalışmada, D_h jet giriş genişliğinde ve üçlü hava jeti etkisindeki üçgen ve düz yarım daire desenlere sahip bakır plakalı yüzeylerin soğutulmaları ve kanallarda bulunan desenler etrafındaki akış yapıları sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal araştırma, zamandan bağımsız ve üç boyutlu olarak enerji ve Navier-Stokes denklemlerinin $k-\epsilon$ türbülans modeli Ansys-Fluent bilgisayar programı kullanılarak çözülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Kanalların üst ve alt yüzeyleri adyabatik olup; desenli yüzeylere 1000 W/m^2 lik sabit ısı akısı uygulanmıştır. Çalışmada incelenen Re sayısı aralığı 4000-10000 ve jet-plaka arası uzaklıklar (H/D_h) 3 ve 6 olarak alınmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, literatürde bulunan çalışmanın sayısal ve deneysel sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve birbirleriyle uyumlu oldukları belirlenmiştir. Sonuçlar, kanallardaki her bir desenli yüzey için ortalama Nu sayısı ve yüzey sıcaklığının değişimleri olarak verilmiştir. Her iki kanaldaki tüm desenli yüzeyler için ortalama Nu sayısı (Nu_o) ve jet akışın kanaldan çıkış sıcaklıkları (T_c) ayrıca değerlendirilmiştir. D_h giriş genişliğindeki ve üçlü hava jeti bulunan $H/D_h=3$ ve 6 yüksekliğindeki kanallar boyunca jet akışın hız-akım ve sıcaklık konturu dağılımları farklı desenli yüzeyler için görselleştirilmiştir. Sonuçlar, $Re=6000$ için $H/D_h=3$ değerinde üçgen desenli yüzeylerin Nu_o değerinin düz yarım daire desenli yüzeylerden %422,17 daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Çoklu Çarpan Hava Jeti, Desenli Yüzey, Sayısal Isı Transferi

GİRİŞ

Sürdürülebilir bir dünya için çevreye duyarlı teknolojilerin geliştirilmesi gereklidir. Nüfus artışına bağlı olarak enerji kullanımının giderek daha fazla arttığı günümüzde bu durumun ilk etkilerini küresel iklim değişikliği olarak yaşamaktayız. Bunun için mühendislik sistemlerinde sürdürülebilir enerji üretim yöntemleri ve enerjiyi verimli, tasarruflu ve çevre üzerinde daha az etkisi olacak şekilde kullanacak ürünlerin geliştirilmesinin önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Bu konuda karşılaşılan problemlerin başında cihazların fazla ısınması gelmekte olup; bunun sonucunda güvenilir sıcaklık sınırları aşılabilmektedir. Bu sorunun giderilmesi, hem cihazdan yüksek performans almamız hem de cihazın uzun ömürlü olarak kullanılması açısından önemlidir. Çarpan jet tekniği, elektronik sistemlerde fazla ısı üreten cihazların soğutulmasında kullanılan yüksek ısı transferi performanslı gelişmiş bir soğutma teknolojisidir (Narumanchi ve ark., 2003; Kercher 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 sayısal olarak araştırmışlar ve ısı transferi üzerinde jet Re sayısı, kanal yüksekliği, jet deliği genişliği, soğutma plakaları arasındaki mesafe, plakaların yüksekliği ve ısı transfer katsayılarının etkisini değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak, genel itibarıyla azalan kanal yüksekliği ve artan Re sayısı ile blokların etkili bir şekilde soğutulmasının mümkün olduğunu belirlemişlerdir. Karabulut ve Alnak (2020) sabit ısı akısına sahip bakır plaka yüzeylerinin hava jeti akışı ile soğumasını sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada, desenli yüzeylerin soğutma performansları üzerinde desen şekli ve jet ile plaka arasındaki mesafenin Re sayısına göre daha büyük bir önemli etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. Diop ve ark. (2021) ısıtılmış plaka yüzeyinin, birkaç hız modeline sahip hava çarpan jet ile soğutulmasını araştırdı. Deneysel sonuçlar, $X/D=4, 7$ ve 9 çarpışma mesafelerinin 15 m/s hızında diğer değerlere göre en yüksek ısı transfer katsayı oranına sahip olduğunu 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. 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 etkisi incelenmiştir. 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. 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.

Bu çalışmada, D_h jet giriş genişliğinde ve üçlü hava jeti etkisindeki üçgen ve düz yarım daire desenlere sahip bakır plakalı yüzeylerin soğutulmaları ve kanallarda bulunan desenler etrafındaki akış yapıları sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal araştırma, zamandan bağımsız ve üç boyutlu olarak enerji ve Navier-Stokes denklemlerinin $k-\epsilon$ türbülans modeli Ansys-Fluent bilgisayar programı kullanılarak çözülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Kanalların üst ve alt yüzeyleri adyabatik olup; desenli yüzeylere 1000 W/m² lik sabit ısı akısı uygulanmıştır. Çalışmada incelenen Re sayısı aralığı $4000-10000$ ve jet-plaka arası uzaklıklar (H/D_h) 3 ve 6 olarak alınmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, literatürde bulunan çalışmanın sayısal ve deneysel sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve birbirleriyle uyumlu oldukları belirlenmiştir. Sonuçlar, kanallardaki her bir desenli yüzey için ortalama Nu sayısı ve yüzey sıcaklığının değişimleri olarak verilmiştir. Her iki kanaldaki tüm desenli yüzeyler için ortalama Nu sayısı (Nu_o) ve jet akışın kanaldan çıkış sıcaklıkları (T_c) ayrıca değerlendirilmiştir. D_h giriş genişliğindeki ve üçlü hava jeti bulunan $H/D_h=3$ ve 6 yüksekliğindeki kanallar boyunca jet akışın hız-akım ve sıcaklık konturu dağılımları farklı desenli yüzeyler ve $Re=4000$ için görselleştirilmiştir.

SAYISAL YÖNTEM

Sayısal çalışmada, farklı geometrik desenli yüzeyler üzerindeki üçlü hava jeti için D_h jet giriş genişliğindeki kanalda jet akışının zorlanmış taşınım ile ısı transferi Ansys-Fluent paket programı kullanılarak zamandan bağımsız ve üç boyutlu olarak çözülmüştür.

Isı transferi simülasyonlarında türbülansın doğru modellenmesi esastır. Türbülanslı akışların doğrudan sayısal simülasyonları çok zor ve zaman alıcıdır. Sayısal modellemede kullanılan çeşitli türbülans modelleri bulunmaktadır. Bununla birlikte, türbülans modelleri arasında yarı ampirik bir model olan k-ε modeli, ekonomik olması ve birçok akış olayında kabul edilebilir doğruluğu nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada sayısal hesaplamalarda desenli yüzeyler için standart k-ε türbülans modeli kullanılmıştır.

Desenli yüzeylere sahip kanal boyunca akış ve ısı transferinin çözümü, zamandan bağımsız türbülanslı akış için zaman ortalamalı süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinden türetilen kısmi diferansiyel denklemlerin (Wang ve Mujumdar, 2005; Karabulut, 2019) çözülmesiyle 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 V_{jet} kanal girişindeki jet akışının hızıdır (m/s).

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

A_c 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 ile ısı transfer hızının iletimle 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

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

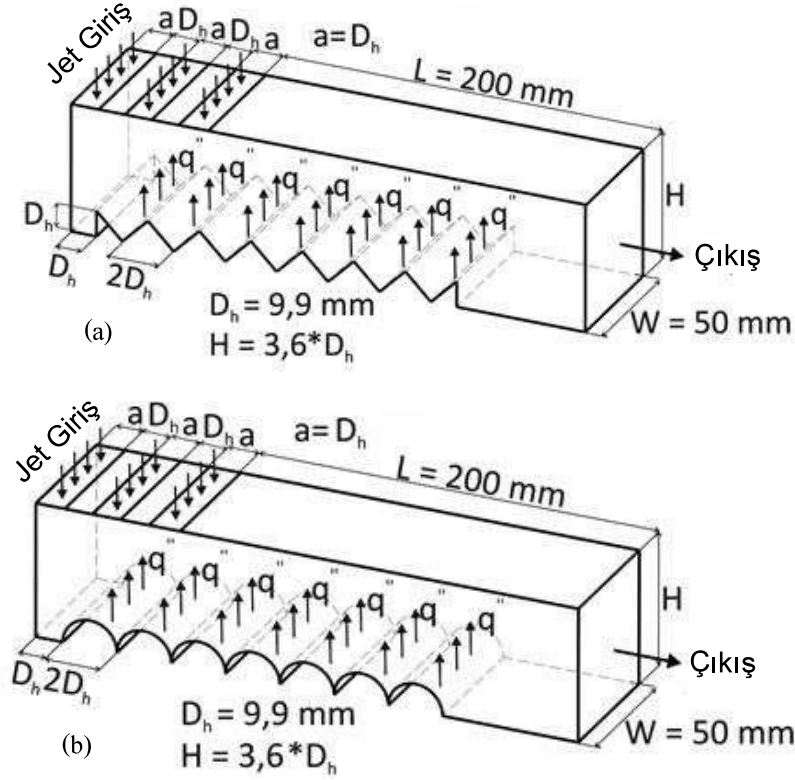
TASARLANAN GEOMETRİK MODELLER

Çalışmada incelenen üçgen ve düz yarım daire desenli yüzeylerin bulunduğu kanalların boyutları ve kullanılan sınır koşulları sırasıyla Şekil 1 (a) ve (b)' de verilmiştir. Üçlü jetlerin jet giriş genişliği ölçüsü ve jetler arası mesafe $D_h=D$ ' dir. Şekil 1'de verilen dikdörtgen kanalın girişinde jet akışkanı düzgün hız profiline sahip olup; dikdörtgen şekilli nozul boyutları 9,9 mm x 50 mm'dir. Bununla birlikte, kanallarda yedişer adet desenli yüzey bulunmaktadır. Her bir desenin yüksekliği D_h ve genişliği ise $2D_h$ ' dir.

Bu çalışma için varsayılan kabuller ise şu şekildedir.

- Akış, üç boyutlu, zamandan bağımsız ve türbülanslıdır
- Jet akışkanı sıkıştırılmaz havadır

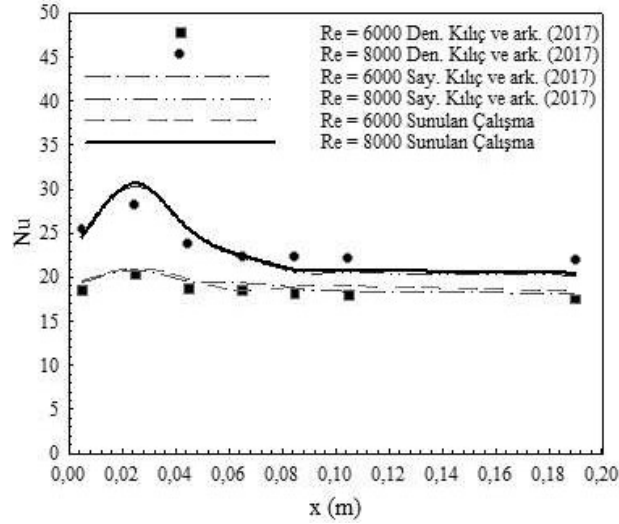
- c) Desenli yüzeylere sabit 1000 W/m^2 ısı akısı uygulanmıştır
- d) Jet akışkanının ısı özellikleri sıcaklıktan bağımsız ve sabittir
- e) Jet akışkanı ve desenli yüzeyler için ısı üretimi yoktur



Şekil 1. Üçlü Jet Girişli (a) Üçgen (b) Düz Yarım Daire Desen Yüzeyle Kanalların Görünüşleri

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Şekil 2' de ısıtılmış düz bir levhada $Re=6000$ ve 8000 ve $H/D_h=6'$ da Kılıç ve ark. (2017)' nin çalışmasının sayısal ve deneysel Nu sayısı sonuçlarının, bu çalışmanın sayısal sonuçlarıyla karşılaştırması verilmektedir. Jetin çarpma bölgesinde $Re=6000'$ deki Nu sayısı incelendiğinde Kılıç ve ark. (2017)' nin deneysel sonucuyla arasında %3,99'luk bir fark bulunmakta olduğu ve bu çalışmanın sayısal sonucu ile arasında ise %1' lik bir fark olduğu tespit edilmiştir. Ancak, $Re=8000$ için bu çalışmanın sayısal sonucuyla Kılıç ve ark. (2017)' nin yaptıkları çalışmanın sonuçları arasında çarpma bölgesindeki türbülans şiddetinin artmasından dolayı fark artarak %9,15 olmuştur. Aynı kısımda sayısal sonuçlardaki sapma ise yalnızca %1,02' dir. Elde edilen sonuçlara göre, bu çalışmanın sonuçlarının Kılıç ve ark. (2017)' nin deneysel ve sayısal sonuçları ile karşılaştırılabilir ve sayısal çalışmanın kabul edilebilir doğrulukta olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 2. Deneysel ve Sayısal Sonuçların Karşılaştırılması

$H/D_h=4'$ te ağ sayısının ortalama Nu sayısına (Nu_o) etkisini bulmak amacıyla ağ sayısı bağımsızlığının incelemeleri yapılmış ve sırasıyla Tablo 1 ve 2' de üçgen ve düz yarım daire desenli kanallar için sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre üçgen ve düz yarım daire desenli yüzeyler için sırasıyla 1287249 ve 1100186 adet ağ elemanının yeterli olduğu belirlenmiştir.

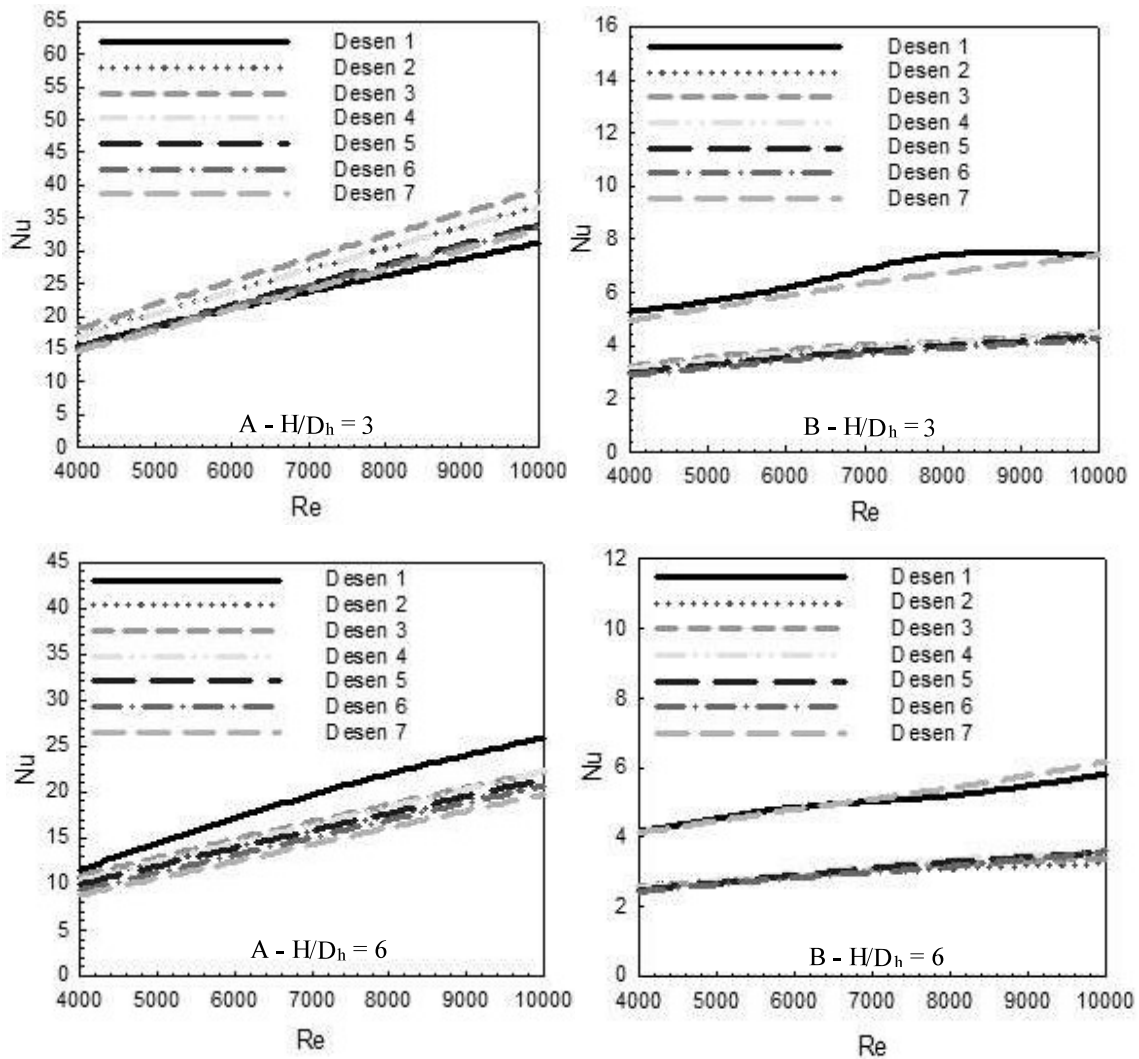
Ağ Sayısı	Re=4000- Nu_o	Re=6000- Nu_o	Re=8000- Nu_o	Re=10000- Nu_o
578142	11,65	17,84	21,35	26,85
1287249	16,12	22,61	28,85	34,93
1684571	16,11	22,61	28,85	34,93

Tablo 1. Üçgen Desenli Yüzeyler için Ağ Bağımsızlık Testinin Sonuçları

Ağ Sayısı	Re=4000- Nu_o	Re=6000- Nu_o	Re=8000- Nu_o	Re=10000- Nu_o
624574	3,42	4,24	4,84	5,21
1100186	3,66	4,33	4,92	5,24
1742403	3,67	4,33	4,92	5,24

Şekil 3' de $a=D_h$ jet giriş genişliğinde üçlü hava jeti etkisindeki $H/D_h=3$ ve 6 yükseklikli kanallarda bulunan A-üçgen ve B-düz yarım daire desenli yüzeylerdeki ortalama Nu sayılarının kanaldaki desen sıralarına göre Re sayılarına bağlı değişimleri sunulmaktadır. $H/D_h=3$

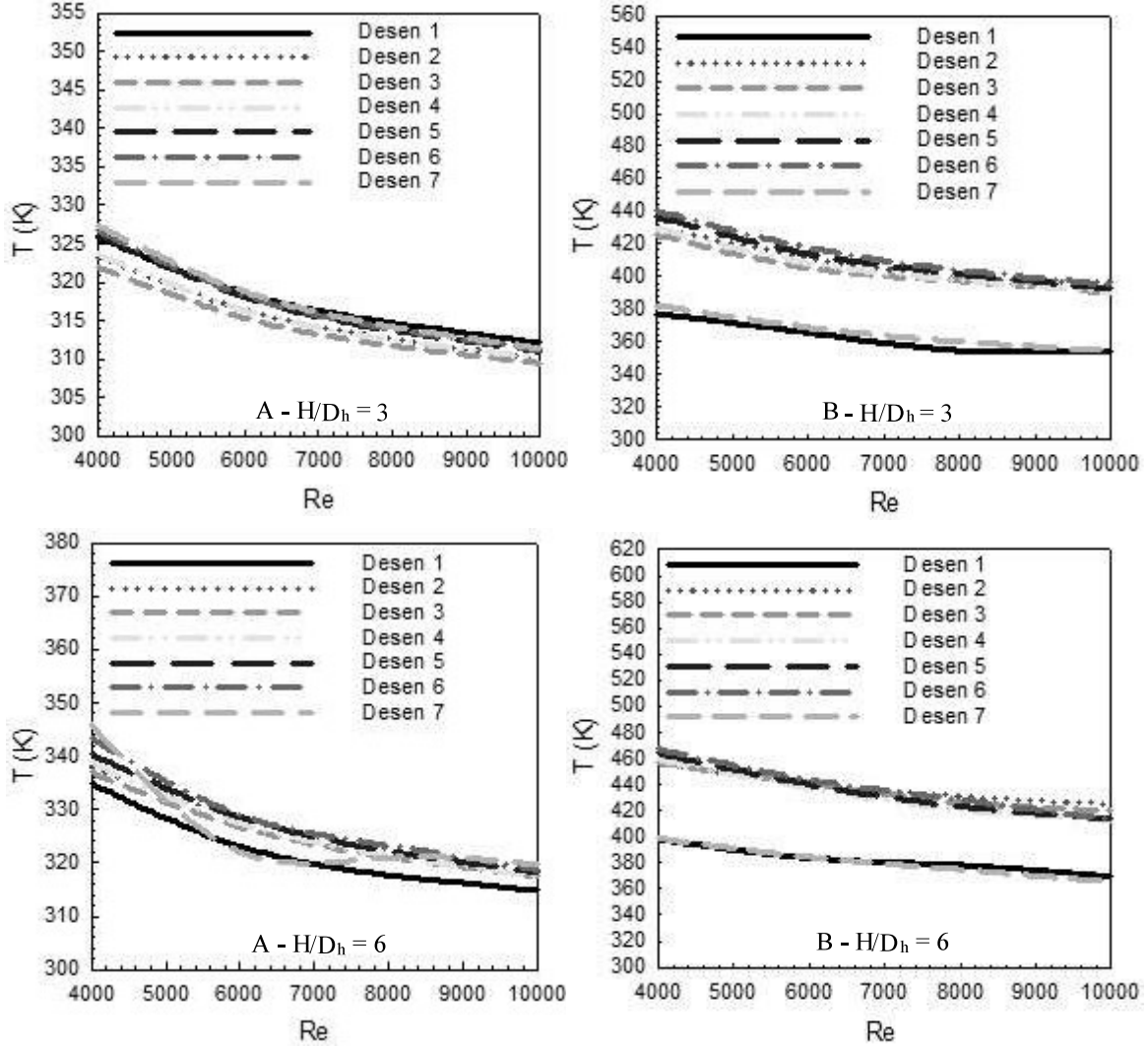
yükseklikli kanalda üçgen desenli yüzeylerde Desen 3 için diğer desen sıralarına göre Nu sayısı en yüksek seviyededir. Aynı kanal yüksekliğinde ($H/D_h=3$) düz yarım daire desenli yüzeyli kanalda ise Desen 1 için elde edilen Nu sayısı değerleri daha yüksektir. Kanallardaki desenli yüzey şekilleri başta olmak üzere jet akış sayısı, jetin desenli yüzeylerle olan mesafesine bağlı jet akışının kanallardaki hareketi bu durumun en önemli sebebidir. Kanalın yüksekliği artırıldığında ($H/D_h=6$) ise desenli yüzeylerin jet akışlarıyla olan teması değiştiğinden her iki yüzey şekilli kanallarda Desen 1 için en yüksek Nu sayısı seviyesine ulaşılmaktadır. Bununla birlikte, üçgen desenli yüzeyler için elde edilen Nu sayısı değerleri düz yarım daire desenli yüzeylerden daha fazladır. $Re=10000$ ve $H/D_h=6$ da üçgen desenli birinci sıradaki (Desen 1) yüzeyin Nu sayısı, düz yarım daire desenli yüzeyden %345,95 daha yüksektir. Ayrıca, jet akışı etkisinin azalmasına bağlı olarak kanal yüksekliği artınca Nu sayısı değerleri azalmıştır. $Re=8000$ ' de kanalların son sırasındaki Desen 7 ve $H/D_h=3$ için ulaşılan Nu sayısı değerlerinin $H/D_h=6$ ' daki değerlerinden sırasıyla üçgen ve düz yarım daire desenli yüzeyler için %67,94 ve %24,58 daha fazla oldukları belirlenmiştir.



Şekil 3. A-Üçgen B-Düz Yarım Daire Desenli Üçlü Jet Akışlı Kanallarda Farklı H/D_h Oranları için Desen Sıralarına Göre Ortalama Nu sayısının Re Sayısı ile Değişimi

Şekil 4' de ise A-üçgen ve B-düz yarım daire desenli ve $H/D_h=3$ ve $H/D_h=6$ olduğu kanallarda $a=D_h$ genişliğindeki üçlü hava jetinin yüzeyler üzerindeki ortalama sıcaklık değişimine olan etkisinin Re sayısına bağlı değişimi desen sıralarına göre gösterilmektedir. Isı transferinin artışına bağlı olarak yüzeylerin sıcaklıkları azalmaktadır. Grafiklerden de görülebildiği gibi,

düz yarım daire desenli yüzeyler için elde edilen sıcaklık değerleri; üçgen desenli yüzeylerden daha fazladır. Bu durum, üçgen desenli yüzeylere sahip kanalda jet akışın yüzeylerle olan temasının daha iyi olmasına bağlıdır. Ayrıca, kanal yüksekliği arttıkça yüzeylerden gerçekleşen ısı transferine bağlı olarak desenli yüzeylerin sahip oldukları sıcaklık değerleri değişmektedir. Üçgen desenli yüzey için $H/D_h=3$ değerinde üçüncü yüzey (Desen 3) en düşük sıcaklık değerine sahipken; $H/D_h=6$ olduğunda ise Desen 1 en düşük sıcaklıklı yüzey olmaktadır. Düz yarım daire desenli yüzey için ise $H/D_h=3$ ' de Desen 6 en düşük yüzey sıcaklık değerine sahiptir.



Şekil 4. A-Üçgen B-Düz Yarım Daire Desenli Üçlü Jet Akışlı Kanallarda Farklı H/D_h Oranları için Desen Sıralarına Göre Ortalama Yüzey Sıcaklığının Re Sayısı ile Değişimi

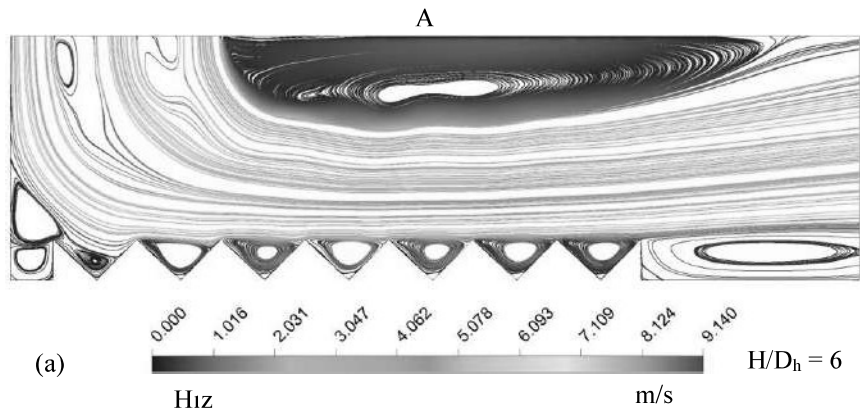
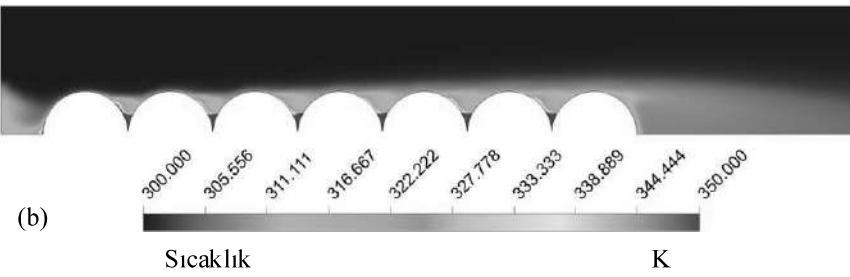
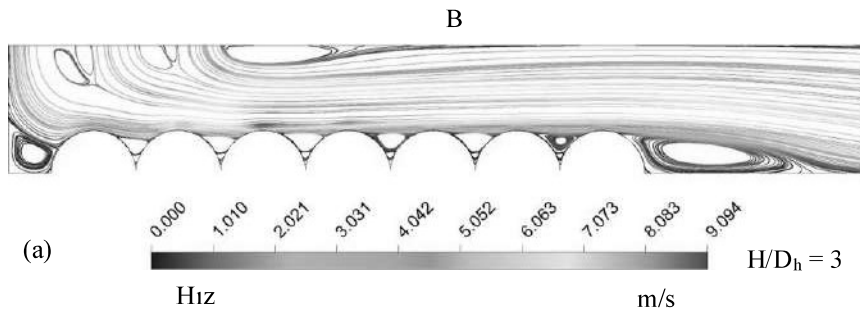
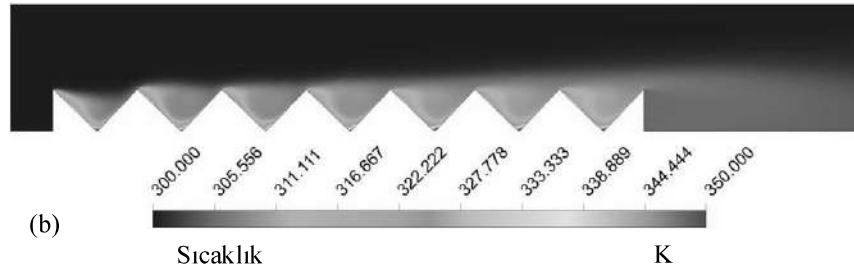
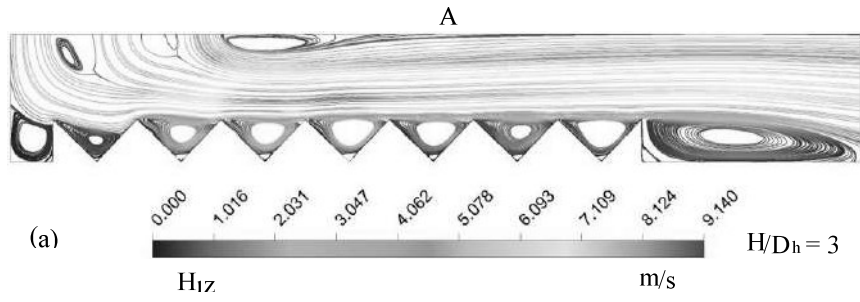
Tablo 3 'de kanallarda bulunan yedi adet desenli yüzeylerin tümü için ortalama Nu_o sayısı (Nu_o) ve üçlü jet akışkanının kanallardan ortalama çıkış sıcaklıkları (T_c) Re sayısının değişimine bağlı olarak verilmektedir. Re sayısının artışına bağlı olarak Nu_o değerleri artarken; T_c değerleri ise azalmaktadır. Bununla birlikte, üçgen desenli yüzeyler için ulaşılan Nu_o değerleri düz yarım daire desenli yüzeylerden daha fazla olmaktadır. $Re=6000$ için $H/D_h=3$ değerinde üçgen desenli yüzeylerin Nu_o değeri, düz yarım daire desenli yüzeyden %422,17 daha fazladır. Ayrıca, jet akışkanının kanaldan çıkış sıcaklığı olan T_c değeri de üçgen desenli yüzeylerden olan yüksek ısı transferi nedeniyle yarım daire desenli yüzeye göre daha fazladır.

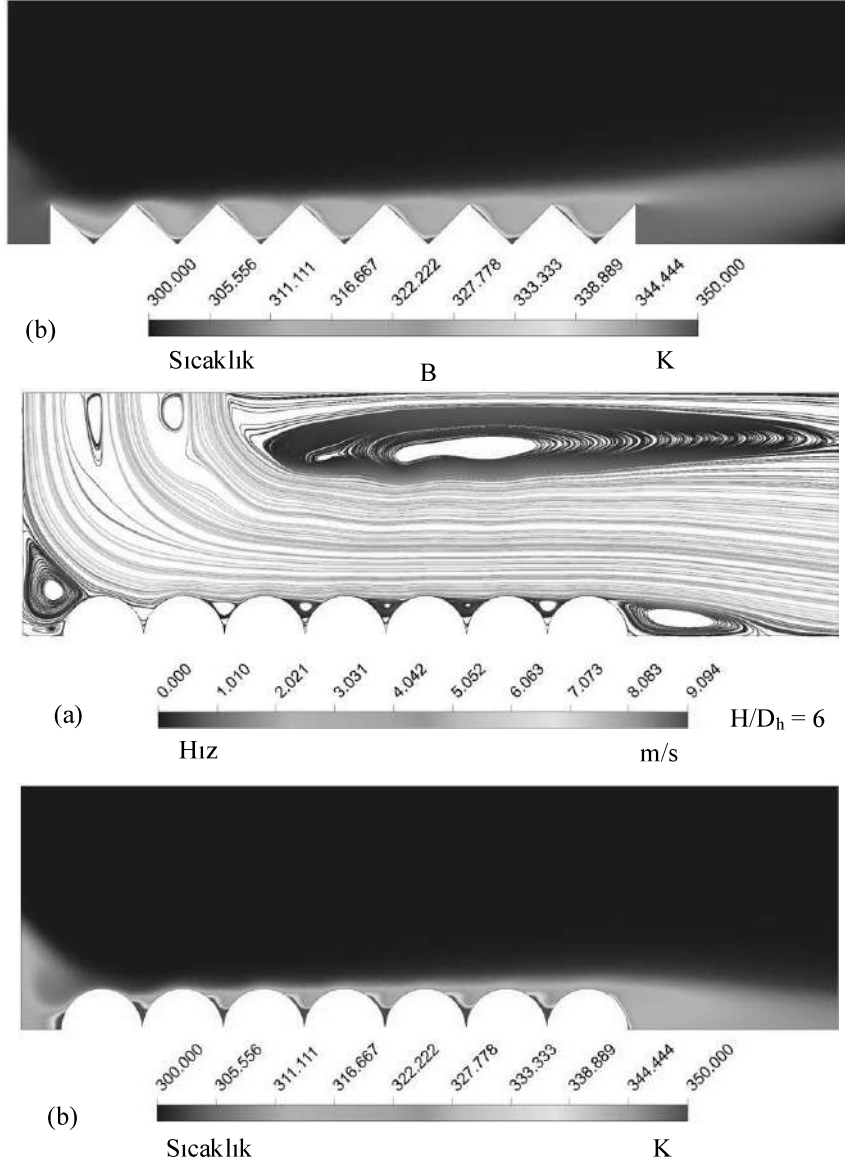
Tablo 3. $a=D_h$ Jet Giriş Genişliğinde Farklı Desenli Yüzeyler için Jetin Kanaldan Çıkış Sıcaklığı (T_c) Tüm Desenli Nu sayısının Sayısı ile Sonuçları ve Kanaldaki Yüzeyler için (Nu_o) Re Değişiminin

Üçgen Desen	H/D _h =3		H/D _h =6	
	T _c (K)	Nu _o	T _c (K)	Nu _o
Re=4000	312,16	16,12	311,39	10,25
Re=6000	311,46	22,61	310,91	14,29
Re=8000	311,1	28,85	310,66	18,19
Re=10000	310,87	34,93	310,5	21,87

Düz Yarım Daire Desen	H/D _h =3		H/D _h =6	
	T _c (K)	Nu _o	T _c (K)	Nu _o
Re=4000	311,8	3,66	311,19	2,99
Re=6000	311,13	4,33	310,76	3,44
Re=8000	310,8	4,92	310,55	3,82
Re=10000	310,62	5,24	310,43	4,19

A-üçgen ve B-düz yarım daire desenli yüzeylere ait (a)-hız-akım ve (b) sıcaklık konturu dağılımları H/D_h=3 ve 6 ve Re=4000 için Şekil 5’ de gösterilmektedir. H/D_h=3 kanal yüksekliğinde üçlü jet akışı etkisinin üçgen desenli yüzey için Desen 3’ den itibaren akışkan hızının artmasıyla arttığı hız-akım konturu dağılımlarından görülebilmektedir. Bununla birlikte, düz yarım daire desenli yüzey için ise Desen 1’ den itibaren yüzeyler üzerindeki jet akışı hız kazanmaktadır. Bunun yanı sıra, desen aralarında oluşan yeniden dolaşım bölgeleri nedeniyle her iki desenli yüzeyin de uç noktalarında akışkan sıcaklıklarında artışlar görülmektedir. Kanal yüksekliği (H/D_h) 6 değerine çıkarıldığında, her iki desen yüzeyli kanalda da yeniden dolaşım bölgelerinin büyüklükleri artmaktadır. Bu artışa bağlı olarak desenli yüzeylerin çevrelerinde oluşan durgun akışkan bölgeleri nedeniyle yüzey sıcaklıkları yükselmektedir. Sıcaklık konturu dağılımlarından da görülebildiği gibi H/D_h=3 iken desenli yüzeylerin uç kısımlarında görülen sıcaklığın arttığı bölgeler, H/D_h=6 durumunda desenli yüzeylerin üst kısımlarına doğru çıkmaktadır. Karşılaşılan bu durum da kanal yüksekliğinin artışıyla yüzeylerden olan ısı transferinin kötüleştiğini göstermektedir.





Şekil 5. $a=D_h$, $H/D_h=3$ ve 6 ve $Re=4000$ için A-Üçgen B-Düz Yarım Daire Desenli Üçlü Hava Jeti Akışlı Kanallarda (a)-Hız-Akım (b)-Sıcaklık Konturu Dağılımları

GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma sonucu ulaşılan veriler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- $H/D_h=3$ yükseklikli kanalda üçgen desenli yüzeylerde Desen 3 için diğer desen sıralarına göre Nu sayısı en yüksek seviyededir.
- Aynı kanal yüksekliğinde ($H/D_h=3$) düz yarım daire desenli yüzeyli kanalda ise Desen 1 için elde edilen Nu sayısı değerleri daha yüksektir.
- Kanalın yüksekliği artırıldığında ($H/D_h=6$) ise desenli yüzeylerin jet akışlarıyla olan teması değiştiğinden her iki yüzey şekilli kanallarda Desen 1 için en yüksek Nu sayısı seviyesine ulaşılmaktadır.
- Üçgen desenli yüzeyler için elde edilen Nu sayısı değerleri düz yarım daire desenli yüzeylerden daha fazladır. $Re=10000$ ve $H/D_h=6$ da üçgen desenli birinci sıradaki (Desen 1) yüzeyin Nu sayısı, düz yarım daire desenli yüzeyden %345,95 daha yüksektir.
- Jet akışı etkisinin azalmasına bağlı olarak kanal yüksekliği artınca Nu sayısı değerleri azalmıştır.
- $Re=8000$ ' de kanalların son sırasındaki Desen 7 ve $H/D_h=3$ için ulaşılan Nu sayısı değerlerinin $H/D_h=6$ ' daki değerlerinden sırasıyla üçgen ve düz yarım daire desenli yüzeyler için %67,94 ve %24,58 daha fazla oldukları belirlenmiştir.
- Düz yarım daire desenli yüzeyler için elde edilen sıcaklık değerleri; üçgen desenli yüzeylerden daha fazladır.
- Kanal yüksekliği arttıkça yüzeylerden gerçekleşen ısı transferine bağlı olarak desenli yüzeylerin sahip oldukları sıcaklık değerleri değişmektedir.
- Üçgen desenli yüzey için $H/D_h=3$ değerinde üçüncü yüzey (Desen 3) en düşük sıcaklık değerine sahipken; $H/D_h=6$ olduğunda ise Desen 1 en düşük sıcaklıklı yüzey olmaktadır.
- Düz yarım daire desenli yüzey için ise $H/D_h=3$ ' de Desen 6 en düşük yüzey sıcaklık değerine sahiptir.
- Kanalda bulunan tüm desenli yüzeyler değerlendirildiğinde, üçgen desenli yüzeyler için ulaşılan Nu_o değerleri düz yarım daire desenli yüzeylerden daha fazla olmaktadır.
- $Re=6000$ için $H/D_h=3$ değerinde üçgen desenli yüzeylerin Nu_o değeri, düz yarım daire desenli yüzeyden %422,17 daha fazladır.
- Jet akışkanın kanaldan çıkış sıcaklığı olan T_c değeri de üçgen desenli yüzeylerden olan yüksek ısı transferi nedeniyle yarım daire desenli yüzeye göre daha fazladır.
- Sıcaklık konturu dağılımlarından da görülebildiği gibi $H/D_h=3$ iken desenli yüzeylerin uç kısımlarında görülen sıcaklığın arttığı bölgeler, $H/D_h=6$ durumunda desenli yüzeylerin üst kısımlarına doğru çıkmaktadır. Karşılaşılan bu durum da kanal yüksekliğinin artışıyla yüzeylerden olan ısı transferinin kötüleştiğini göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Arguis, E., Rady, M.A., Nada, S.A. A Numerical Investigation and Parametric Study of Cooling An Array of Multiple Protruding Heat Sources by A Laminar Slot Air Jet, *Int J Heat Mass Trans*, 28, 787-805, 2007.
- Barbosa, F.V., Teixeira, S.F.C.F., Teixeira, J.C.F. Convection from Multiple Air Jet Impingement- A Review, *App Therm Eng*, 218, 119307, 2023.
- Diop, S.N., Dieng, B., Senaha, I. A Study on Heat Transfer Characteristics by Impinging Jet with Several Velocities Distribution, *Case Studies Therm Eng*, 26, 101111, 2021.
- Karabulut, K., Alnak, D.E. Study of Cooling of the Varied Designed Warmed Surfaces with an Air Jet Impingement, *Pamukkale University J Eng Sci*, 26, 88-98, 2020.
- Karabulut, K. Heat Transfer Improvement Study of Electronic Component Surfaces Using Air Jet Impingement, *J Comp Elect*, 18, 1259-1271, 2019.
- Kercher, D.S., Lee, J.B., Brand, O., Allen, M.G., Glezer, A. Microjet Cooling Devices for Thermal Management of Electronic, *IEEE Trans Comp Pack Techn*, 26, 359-366, 2003.
- Kilic, M., Calisir, T., Baskaya, S. Experimental and Numerical Study of Heat Transfer from A Heated Flat Plate in A Rectangular Channel with an Impinging Air Jet, *J Braz Soc Mech Sci Eng*, 39, 329-344, 2017.
- Narumanchi, S.V.J., Amon, C.H., Murthy, J.Y. Influence of Pulsating Submerged Liquid Jets on Chip-Level Thermal Phenomena, *Trans. ASME*, 125, 354-361, 2003.
- Radmard, V., Hadad, Y., Rangarajan, S., Hoang, C.H., Fallahtafti, N., Arvin, C.L., Sikka, K., Schiffres, S.N., Sammakia, B.G. Multi-Objective Optimization of A Chip-Attached Micro Pin Fin Liquid Cooling System, *App Therm Eng*, 195, 117187, 2021.
- Rathore, S.S., Verma, S.K. Numerical Investigation on the Efficacy of Jet Obliquity for Fluid Flow and Thermal Characteristics of Turbulent Offset Jet, *Heat Mass Transf*, 58, 1223-1246, 2022.
- Wang, S.J., Mujumdar, A.S. A Comparative Study of Five Low Reynolds Number $k-\epsilon$ Models for Impingement Heat Transfer, *App Therm Eng*, 25, 31-44, 2005.
- Zou, L., Ning, L., Wang, X., Li, Z., He, L., Li, H. Evaluation of Interfacial Heat Transfer Coefficient Based on the Experiment and Numerical Simulation in the Air-Cooling Process, *Heat Mass Transf*; 58, 337-354, 2022.