

## RESEARCH OF HEAT TRANSFER FROM DIFFERENT PATTERNED SURFACES UNDER THE EFFECT OF SINGLE AIR JET

**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

**Assist. Prof. Dr. Yeliz ALNAK**

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

ORCID NO: 0000-0003-4383-3806

### ABSTRACT

Global warming and climate change are significantly affected by the acceleration of industrialization and the increase in energy consumption due to population growth. Therefore, sustainable energy development methods in engineering systems are important and necessary to obtain efficient products that will have little impact on the environment. The rapid development in technology enables consumers to have high-capacity products in small sizes. However, this causes us to face the problem of overheating and, as a result, exceeding reliable temperature limits. 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. Heat transfer with the impinging jet technique is an advanced cooling technology with high heat transfer characteristics used in the cooling of devices and equipment that generates excess heat in electronic systems. In this study, heat transfer from copper plate surfaces with trapezoidal and inverted semicircular patterns and flow structures in channels were investigated numerically using air jet flow with inlet width  $D_h$ . Numerical analysis was done by solving the energy and Navier-Stokes equations in three-dimensional and steady using Ansys-Fluent computer program with  $k-\epsilon$  turbulence model. The upper and lower surfaces of the channels are adiabatic; a constant heat flux of  $1000 \text{ W/m}^2$  was applied to the patterned surfaces. The Re number range examined in the study was determined as 5000-11000 and the distances between the jet and the plate ( $H/D_h$ ) were determined 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 they were found to be compatible with each other. The results were presented 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 flow along the channels with air jets at the inlet width  $D_h$  and  $H/D_h=3$  and 6 values are visualized for different patterned surfaces. As a result, the  $Nu_o$  value of the trapezoidal surface was found to be 12.1% higher than the reverse semi-circular surface for  $Re=11000$  at  $H/D_h=3$  channel distance.

**Keywords:** Impinging Air Jet, Patterned Surface, Cooling, Numerical Heat Transfer

**TEKLİ HAVA JETİ ETKİSİ ALTINDAKİ DEĞİŞİK DESENLİ YÜZEYLERDEN OLAN ISI TRANSFERİNİN ARAŞTIRILMASI**

## ÖZET

Küresel ısınma ve iklim değişikliği, sanayileşmenin hızlanması ve nüfus artışına bağlı enerji tüketimindeki artıştan önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu nedenle, mühendislik sistemlerinde sürdürülebilir enerji geliştirme yöntemleri çevre üzerinde çok az etkisi olacak verimli ürünler elde etmek için önemli ve gereklidir. Teknolojideki hızlı gelişim, tüketicilerin küçük boyutlarda yüksek kapasiteli ürünlere sahip olmalarını sağlamaktadır. Ancak, bu durum ısınma ve bunun sonucunda güvenilir sıcaklık sınırlarını aşma problemiyle karşılaşmamıza sebep olmaktadır. Bu sorunun giderilmesi, hem cihazdan yüksek performans almamız hem de cihazın uzun ömürlü olarak kullanılması açısından önemlidir. Bunun için enerji sistemlerinde yenilikçi ve özgün nitelikteki tekniklere ihtiyaç duyulmaktadır. 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. Bu çalışmada, yamuk ve ters yarım daire desenlere sahip bakır plakalı yüzeylerden olan ısı transferi ve kanallardaki akış yapıları giriş genişliği  $D_h$  olan hava jeti akışı kullanılarak sayısal olarak araştırılmıştır. Sayısal inceleme, zamandan bağımsız ve üç boyutlu olarak enerji ve Navier-Stokes denklemlerinin  $k-\epsilon$  türbülans modeli Ansys-Fluent bilgisayar programı kullanılarak çözülmesiyle yapılmıştır. Kanalların üst ve alt yüzeyleri adyabatik olup; desenli yüzeylere  $1000 \text{ W/m}^2$  lik sabit ısı akısı uygulanmıştır. Çalışmada incelenen Re sayısı aralığı 5000-11000 ve jet-plaka arası uzaklıklar ( $H/D_h$ ) 3 ve 6 olarak belirlenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, literatürde bulunan çalışmanın sayısal ve deneysel sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve birbirleriyle uyumlu oldukları görülmüştür. Sonuçlar, kanallardaki her bir desenli yüzey için ortalama Nu sayısı ve yüzey sıcaklığının değişimleri olarak sunulmuştur. 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 hava jetli ve  $H/D_h=3$  ve 6 değerlerinde kanallar boyunca jet akışın hız-akım çizgisi ve sıcaklık konturu dağılımları farklı desenli yüzeyler için görselleştirilmiştir. Sonuç olarak,  $Re=11000$  için  $H/D_h=3$  kanal mesafesinde yamuk desenli yüzeyin  $Nu_o$  değerinin ters yarım daire desenli yüzeyden %12,1 daha fazla olduğu bulunmuştur.

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

## GİRİŞ

Teknolojideki hızlı gelişim, sanayileşme sürecinin hızlanması ve nüfusun artışına bağlı olarak enerji tüketimindeki artış, günümüzün önemli problemlerinden biri olan küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliğinin ortaya çıkmasına sebep olmuştur. Bu nedenle, 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. Böylece, günümüz yüksek teknolojili ürünlerinde karşılaşılan en büyük problemlerden biri olan ısınma ve bunun sonucunda güvenilir sıcaklık sınırlarını aşma problemiyle karşılaşma olasılığı azalacaktır. Çarpan jet tekniği ile ısı transferi, elektronik sistemlerde fazla ısı üreten cihaz ve ekipmanların soğutulmasında kullanılan yüksek ısı transferi karakteristiğine sahip gelişmiş bir soğutma teknolojisidir (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 bağlantılar özetlenmiştir.

Araştırması yapılan bu çalışmada, yamuk ve ters yarım daire desenlere sahip bakır plakalı yüzeylerden olan ısı transferi ve kanallardaki akış yapıları giriş genişliği  $D_h$  olan hava jeti akışı kullanılarak sayısal olarak araştırılmıştır. Sayısal inceleme, zamandan bağımsız ve üç boyutlu olarak enerji ve Navier-Stokes denklemlerinin  $k-\epsilon$  türbülans modeli Ansys-Fluent bilgisayar programı kullanılarak çözülmesiyle yapılmıştır. Kanalların üst ve alt yüzeyleri adyabatik olup; desenli yüzeylere  $1000 \text{ W/m}^2$  lik sabit ısı akısı uygulanmıştır. Çalışmada incelenen Re sayısı aralığı  $5000-11000$  ve jet-plaka arası uzaklıklar ( $H/D_h$ )  $3$  ve  $6$  olarak belirlenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, literatürde bulunan çalışmanın sayısal ve deneysel sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve birbirleriyle uyumlu oldukları görülmüştür. Sonuçlar, kanallardaki her bir desenli yüzey için ortalama Nu sayısı ve yüzey sıcaklığının değişimleri olarak sunulmuştur. 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 hava jetli ve  $H/D_h=3$  ve  $6$  değerlerinde kanallar boyunca jet akışın hız-akım çizgisi ve sıcaklık konturu dağılımları farklı desenli yüzeyler ve  $Re=5000$  için görselleştirilmiştir.

## SAYISAL YÖNTEM

Sayısal çalışmada, farklı geometrik desenli yüzeyler üzerindeki tekli 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  $k-\epsilon$  modeli, ekonomik olması ve birçok akış olayında kabul edilebilir doğruluğu nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada sayısal hesaplamalarda desenli yüzeyler için standart  $k-\epsilon$  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

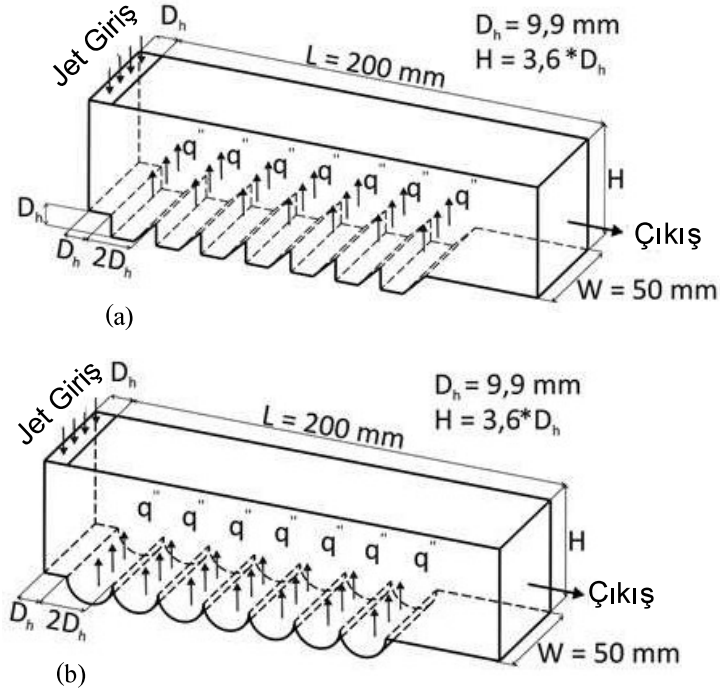
$$Nu_o = \frac{h_o D}{k} \quad (5)$$

## TASARLANAN GEOMETRİK MODELLER

Çalışmada incelenen yamuk ve ters yarım daire desenli yüzeylerin bulunduğu kanalların boyutları ve kullanılan sınır koşulları sırasıyla Şekil 1 (a) ve (b)' de verilmiştir. Jet giriş genişliği ölçüsü a iken; jetler arası mesafe  $D_h=D'$  dir. Şekil 1'de verilen dikdörtgen kanal 50 mm genişliğe (W) sahipken; L uzunluğu, 200 mm' dir. Nozuldan çıkan jet akışkanı kanal girişinde 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 yapılan kabuller ise şu şekildedir.

- Akış, üç boyutlu, zamandan bağımsız ve türbülanslıdır
- Jet akışkanı sıkıştırılmaz havadır
- Desenli yüzeylere sabit  $1000 W/m^2$  ısı akısı uygulanmıştır
- Jet akışkanının ısı özellikleri sıcaklıktan bağımsız ve sabittir
- Jet akışkanı ve desenli yüzeyler için ısı üretimi yoktur

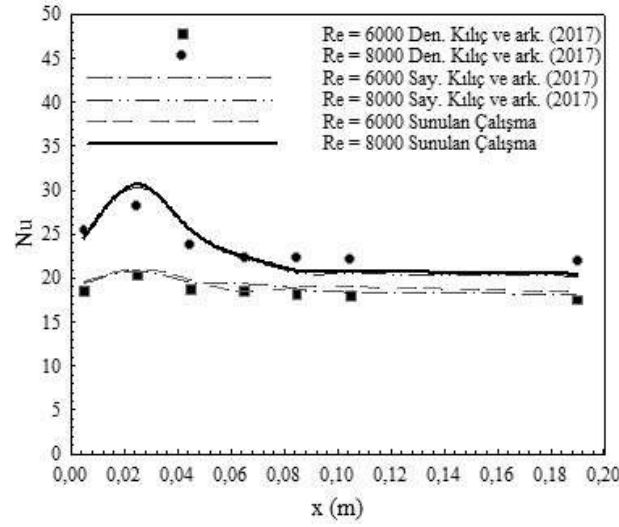


Şekil 1. (a) Yamuk (b) Ters Yarım Daire Desenli jet Akışlı Kanalların Görünüşleri

## 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.

$H/D_h=4'$  te ağ sayısının ortalama  $Nu$  sayısına ( $Nu_o$ ) etkisini bulmak amacıyla ağ sayısı bağımsızlığının incelemeleri yapılmış ve sırasıyla Tablo 1 ve 2' de yamuk ve ters yarım daire desenli yüzeyler için sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre yamuk ve ters yarım daire desenli yüzeyler için sırasıyla 1052425 ve 1325054 adet ağ elemanının yeterli olduğu belirlenmiştir.



Şekil 2. Deneysel ve Sayısal Sonuçların Karşılaştırılması

Tablo 1. Yamuk Desenli Yüzeyler için Ağ Bağımsızlık Araştırmasının Sonuçları

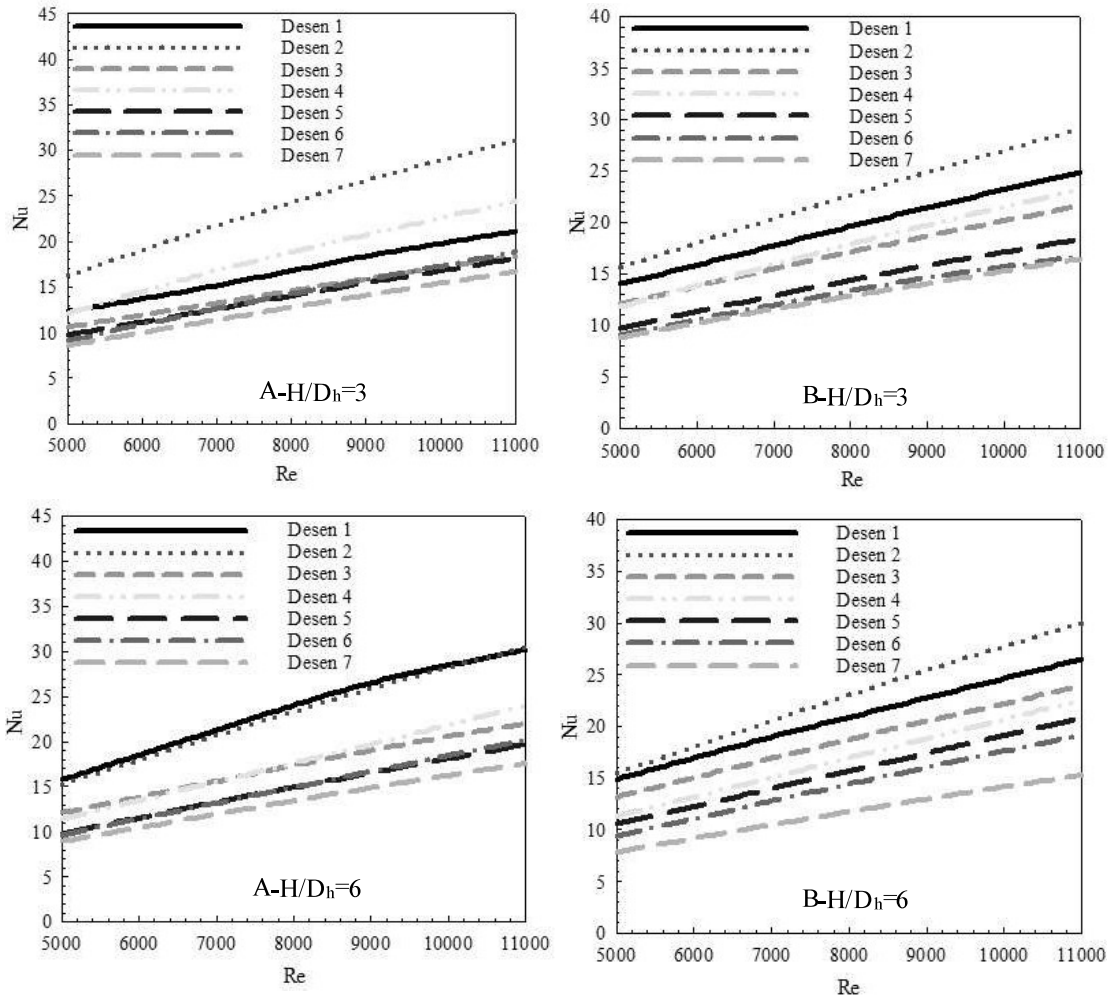
Ağ Sayısı	Re=5000- Nu <sub>o</sub>	Re=7000- Nu <sub>o</sub>	Re=9000- Nu <sub>o</sub>	Re=11000- Nu <sub>o</sub>
725401	8,57	11,94	14,78	17,84
1052425	9,02	12,35	15,21	18,2
1624875	9,02	12,34	16,20	18,19

Tablo 2. Ters Yarım Daire Desenli Yüzeyler için Ağ Bağımsızlık Araştırmasının Sonuçları

Ağ sayısı	Re=5000- Nu <sub>o</sub>	Re=7000- Nu <sub>o</sub>	Re=9000- Nu <sub>o</sub>	Re=11000- Nu <sub>o</sub>
624574	8,47	12,34	15,74	18,48
1325054	11,25	14,81	18,15	21,23
1742403	11,25	14,82	18,16	21,23

Şekil 3' de tek hava jetli ve jet giriş genişliği  $a=D_h$  olan kanallarda bulunan A-yamuk ve B-ters yarım daire desenli yüzeylerin kanalın sol tarafından başlamak üzere desen sıralarına göre ortalama Nu sayılarının Re sayılarına göre değişimleri  $H/D_h=3$  ve  $H/D_h=6$  kanal yükseklikleri için gösterilmektedir. Her iki kanalda, kanal boyutlarına uygun olarak eşit ölçülerde yedişer adet desenli yüzey bulunmaktadır. Her iki kanal yüksekliği için de kanallardaki desenlerin girişlerinde sol üst taraflarına çarpan jet akışları, ikinci sıralardaki desenlere doğru yönlendiklerinden en yüksek Nu sayısı değerlerine Desen 2' de ulaşılmaktadır. Daha sonra desenli yüzey şekillerine bağlı olarak kanaldaki jet akışın desenli yüzeylerle temasına göre Nu sayısı değerleri azalarak devam etmektedir. En düşük Nu sayısı değerleri ise her iki desenli yüzey şekli ve kanal mesafeleri için ( $H/D_h$ ) yedinci sıradaki Desen 7 için elde edilmektedir.

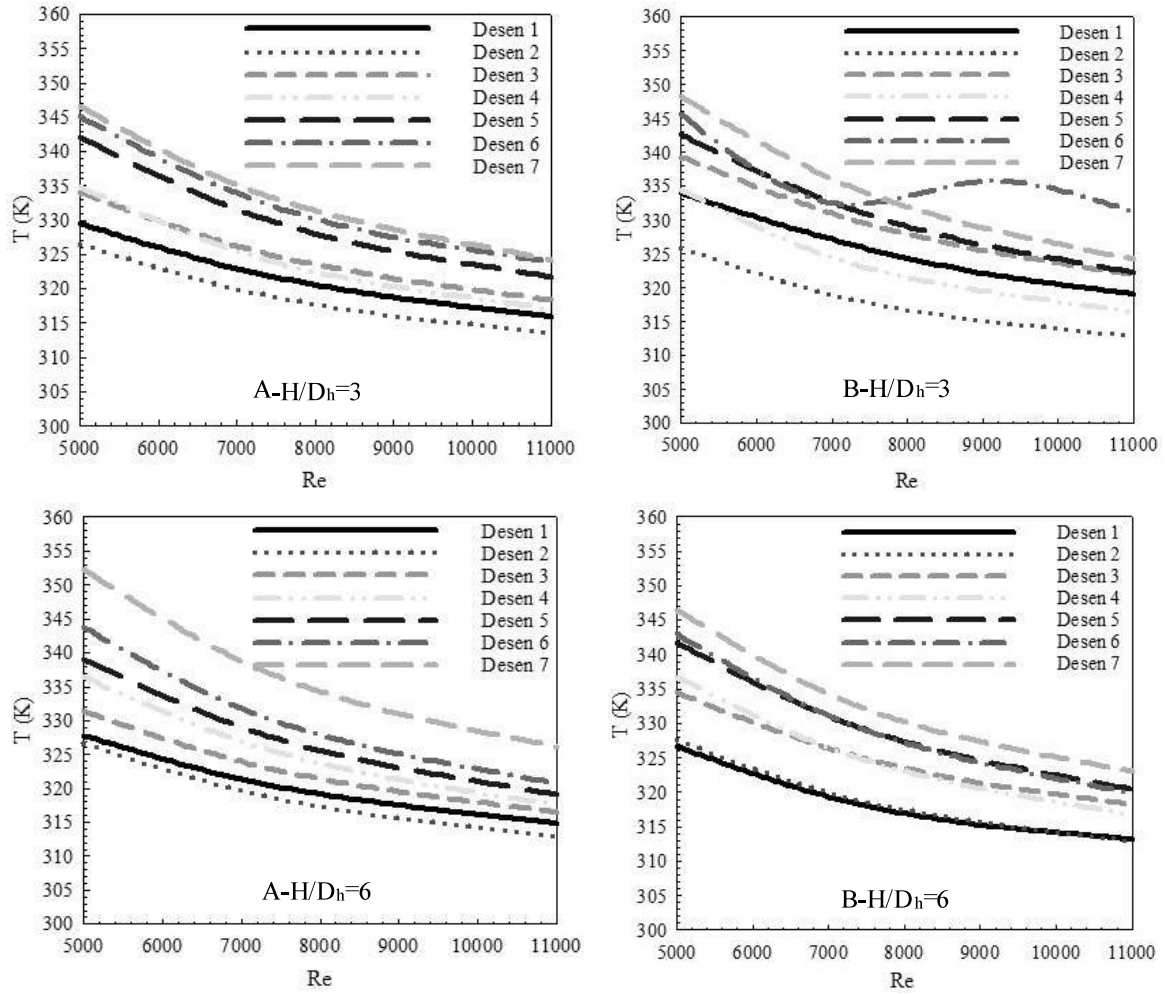
Re=11000' de  $H/D_h=3$  için Desen 1' den Desen 7' ye doğru ortalama Nu sayısı sırasıyla yamuk ve ters yarım daire desenli yüzeyler için %51,12 ve %26,07 azalmaktadır. Bununla birlikte, genel olarak yamuk desenli yüzeyler için elde edilen ortalama Nu sayıları ters yarım daire desenli yüzeyler için daha fazladır. Ayrıca,  $H/D_h$  mesafesi 6 değerine çıkarıldığında özellikle Re=11000 için jet akışkanın kanaldaki hareketine bağlı olarak Nu sayılarında  $H/D_h=3$ ' e göre artış bulunmaktadır. Diğer Re sayısı değerlerinde ise salınımlı Nu sayısı değerlerine ulaşılmaktadır. Ancak, genel itibariyle  $H/D_h=3$  değerine göre desenli yüzey dizimlerinde Nu sayılarında artışlar elde edilmektedir.



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

Şekil 4' de A-yamuk ve B-ters yarım daire desenli yüzeyler için  $a=D_h$  jet giriş genişliğinde tek jet hava akışlı kanallar için desen sıralarına göre yüzeylerin ortalama sıcaklıklarının Re sayısına göre değişimleri  $H/D_h=3$  ve  $H/D_h=6$  kanal yükseklikleri için verilmektedir. Re sayısının artmasına bağlı olarak yüzeylerden olan taşınım ısı transferi artışıyla yüzey sıcaklıkları azalmaktadır. Genel itibariyle en düşük sıcaklık değerlerine Desen 2 için ulaşılırken; en yüksek değerlere ise Desen 7' de ulaşılmaktadır. Buna göre son sıradaki desen için (Desen 7) jet akış etkisi en az olduğundan desen yüzeyi ile jet akışkanı arasındaki ısı transferi de en az düzeydedir. Yüzeyler üzerinde jet akışın ısı transferini artırıcı etkisi azaldıkça yüzey sıcaklıkları artış sergilemektedir. Bununla birlikte,  $H/D_h=3$  yükseklikli kanalda ters yarım daire desenli yüzey için Re sayısının 8000 ile 11000 olduğu değer aralığında jet akışkanının kanal içerisindeki hareketine bağlı olarak Desen 6 için sıcaklıkta salınım görülmektedir. Buna bağlı olarak kanal yüksekliği mesafesi ( $H/D_h$ ) 6

değerine çıkarıldığında yüzeyle akışkan arasındaki temas düzeyine göre yüzey sıcaklığında azalmalar görülmektedir. Bu durum da  $H/D_h=6$  için daha optimum değerler elde edilmesini sağlamaktadır.



**Şekil 4.** A-Yamuk B-Ters Daire Desenli Tek Jet Akışlı Kanallarda Farklı  $H/D_h$  Oranları için Desen Sıralarına Göre Ortalama Yüzey Sıcaklığının Re Sayısı ile Değişimi

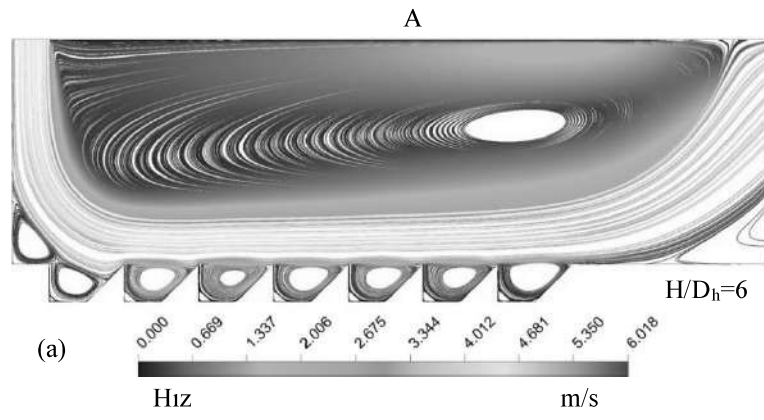
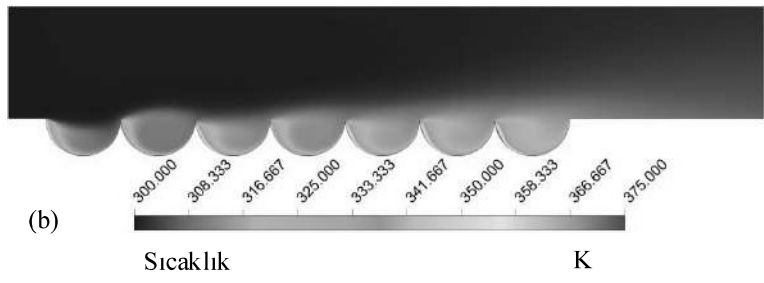
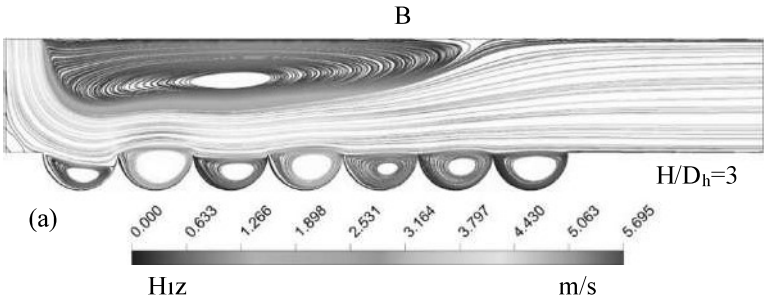
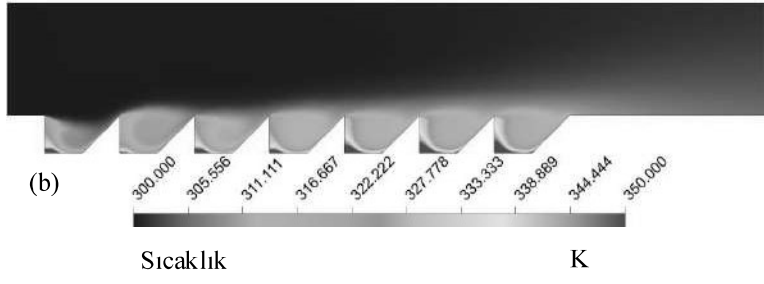
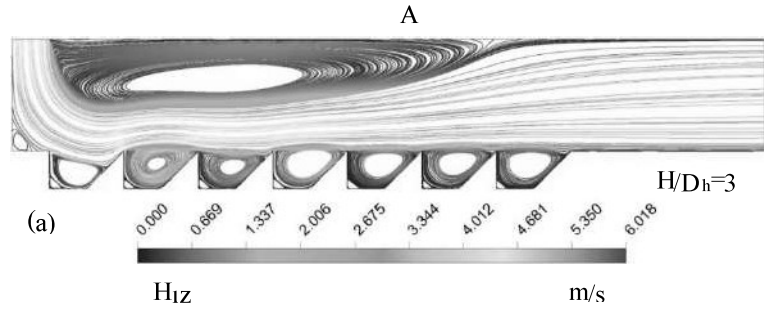
Tablo 3' de kanalda bulunan yamuk ve ters yarım daire desenli yüzeylerin tümü için farklı kanal mesafelerinde ( $H/D_h$ ) ve Re sayılarında ortalama  $Nu$  sayısı ( $Nu_o$ ) ve jet akışkanın kanaldan çıkış sıcaklıkları ( $T_c$ ) gösterilmektedir. Kanallardaki tüm desenli yüzeyler incelendiğinde yamuk desenlerin sahip olduğu  $Nu_o$  değerlerinin ters yarım daire desenli yüzeylerden daha fazla oldukları görülmektedir.  $Re=11000$  için  $H/D_h=3$  kanal mesafesinde yamuk desenli yüzeyin  $Nu_o$  değeri, ters yarım daire desenli yüzeyden %12,1 daha fazladır. Buna bağlı olarak, yamuk desenli kanaldan çıkan jet akışın sıcaklığı da ters yarım daire desenli yüzeyden daha yüksek olmaktadır. Kanal mesafesi arttığında ise desenli yüzeylerin tümü göz önüne alındığında jet akışkanın kanaldaki hareketine bağlı olarak yamuk desenli yüzeyler için  $Nu_o$  sayısında azalma görülürken; ters yarım daire desenli yüzeyler için ise artış elde edilmektedir.

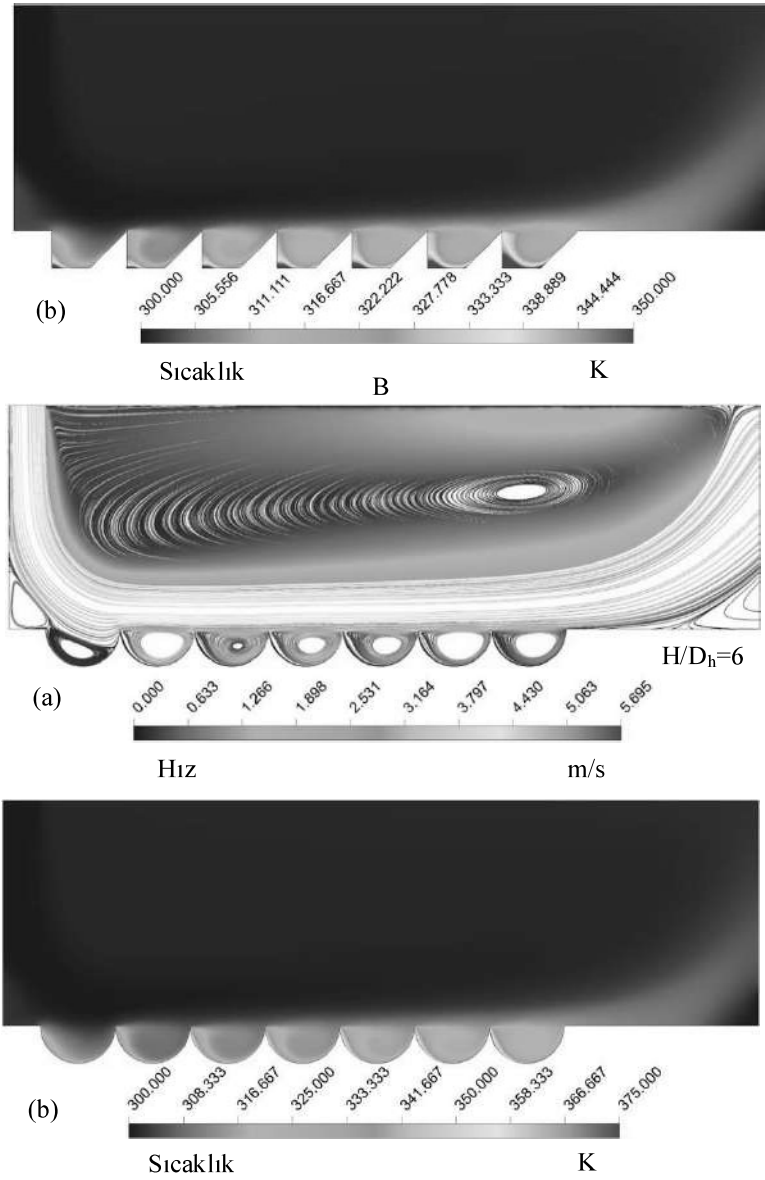


**Tablo 3.**  $a=D_h$  Jet Giriş Genişliğinde Farklı Desenli Yüzeyler için Jetin Kanaldan Çıkış Sıcaklığı ( $T_c$ ) ve Kanaldaki Tüm Desenli Yüzeyler için Nu sayısının ( $Nu_o$ ) Re Sayısı ile Değişiminin Sonuçları

Yamuk Desen	H/D <sub>h</sub> =3		H/D <sub>h</sub> =6	
	T <sub>c</sub> (K)	Nu <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> (K)	Nu <sub>o</sub>
<b>Re=5000</b>	313,81	12,37	312,68	11,81
<b>Re=7000</b>	312,72	16,39	311,78	15,54
<b>Re=9000</b>	312,11	20,07	311,37	19,14
<b>Re=11000</b>	311,71	23,8	311,06	22,62
Ters Yarım Daire Desen	H/D <sub>h</sub> =3		H/D <sub>h</sub> =6	
	T <sub>c</sub> (K)	Nu <sub>o</sub>	T <sub>c</sub> (K)	Nu <sub>o</sub>
<b>Re=5000</b>	313,02	11,25	313,39	11,86
<b>Re=7000</b>	312,13	14,81	312,39	15,94
<b>Re=9000</b>	311,66	18,15	311,88	19,91
<b>Re=11000</b>	311,42	21,23	311,59	23,51

Şekil 5. A-yamuk ve B-ters yarım daire desenli yüzeyler için Re=5000' de (a)-hız-akım, (b)-sıcaklık konturu dağılımları (a) H/D<sub>h</sub>=3 ve (b) H/D<sub>h</sub>=6 için sunulmaktadır. Kanala giriş yapan hava jeti her iki desenli yüzey için de desenlerin sol üst ucuna çarptıktan sonra birinci sıradaki desenlerin (Desen 1) bir kısmına temas edip ikinci sıradaki (Desen 2) desenlere doğru yönelmektedir. Ayrıca, her iki kanalın da üst kısmında oluşan yeniden dolaşım bölgeleri desenli yüzeyler üzerindeki akışkanı desenler üzerine doğru baskılamaktadır. Bu durum da akışkanın desenli yüzeylerle temasını artırıcı bir etki oluşturarak ısı transferini iyileştirmektedir. Sıcaklık konturu dağılımlarında jet akışkanın tam olarak nüfuz edemediği kısımlarda sıcaklıkta artışlar görülmektedir. Bu kısımlarda akışkan hareketliliği artırıldığında yüzey sıcaklıkları azalmaktadır. H/D<sub>h</sub> mesafesi artırıldığında ise jet akışın kanaldaki hareketine bağlı olarak desenli yüzeyler üzerindeki etkisi de değişmektedir. Genel itibariyle sıcaklık konturları dağılımından da görülebildiği gibi desenli yüzeyler etrafında akışkanda ısınma meydana gelirken; ters yarım daire desenli yüzeyler etrafında sıcaklık yamuk desenli yüzeylere göre daha düşük olmaktadır. Bu durum da bu desenli yüzeyler için ısı transferindeki iyileşmenin sonucudur.





**Şekil 5.**  $a=D_h$ ,  $H/D_h=3$  ve  $6$  için A-Yamuk B-Ters Yarım Daire Desenli Tek Hava Jeti Akışlı Kanallarda (a)-Hız-Akım (b)-Sıcaklık Konturu Dağılımları- $Re=5000$

## GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma sonucu ulaşılan veriler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Her iki kanal yüksekliği için de en yüksek Nu sayısı değerlerine Desen 2' de ulaşılmaktadır.
- Sonraki desen sıralarında desenli yüzey şekillerine bağlı olarak kanaldaki jet akışın desenli yüzeylerle temasına göre Nu sayısı değerleri azalarak devam etmektedir.
- En düşük Nu sayısı değerleri ise her iki desenli yüzey şekli ve kanal mesafeleri için ( $H/D_h$ ) yedinci sıradaki Desen 7 için elde edilmektedir.
- $Re=11000$ ' de  $H/D_h=3$  için Desen 1' den Desen 7' ye doğru ortalama Nu sayısı sırasıyla yamuk ve ters yarım daire desenli yüzeyler için %51,12 ve %26,07 azalmaktadır.
- Genel olarak yamuk desenli yüzeyler için elde edilen ortalama Nu sayıları ters yarım daire desenli yüzeyler için daha fazladır.
- $H/D_h$  mesafesi 6 değerine çıkarıldığında özellikle  $Re=11000$  için jet akışkanın kanaldaki hareketine bağlı olarak Nu sayılarında  $H/D_h=3$ ' e göre artış bulunmaktadır. Diğer Re sayısı değerlerinde ise salınımlı Nu sayısı değerlerine ulaşılmaktadır.
- Bununla birlikte, genel itibariyle  $H/D_h=3$  değerine göre desenli yüzey dizilimlerinde Nu sayılarında artışlar elde edilmektedir.
- Re sayısının artmasına bağlı olarak yüzeylerden olan taşınım ısı transferi artışıyla yüzey sıcaklıkları azalmaktadır.
- En düşük sıcaklık değerlerine Desen 2 için ulaşılrken; en yüksek değerlere ise Desen 7' de ulaşılmaktadır.
- $H/D_h=3$  yükseklikli kanalda ters yarım desenli yüzey için Re sayısının 8000 ile 11000 olduğu değer aralığında jet akışkanın kanal içerisindeki hareketine bağlı olarak Desen 6 için sıcaklıkta salınım görülmektedir.
- Kanal yüksekliği mesafesi ( $H/D_h$ ) 6 değerine çıkarıldığında yüzeyle akışkan arasındaki temas düzeyine göre yüzey sıcaklığında azalmalar görülmektedir. Bu durum da  $H/D_h=6$  için daha optimum değerler elde edilmesini sağlamaktadır.
- Kanallardaki tüm desenli yüzeyler incelendiğinde yamuk desenlerin sahip olduğu  $Nu_o$  değerlerinin ters yarım daire desenli yüzeylerden daha fazla oldukları görülmektedir.
- $Re=11000$  için  $H/D_h=3$  kanal mesafesinde yamuk desenli yüzeyin  $Nu_o$  değeri, ters yarım daire desenli yüzeyden %12,1 daha fazladır. Buna bağlı olarak, yamuk desenli kanaldan çıkan jet akışın sıcaklığı da ters yarım daire desenli yüzeyden daha yüksek olmaktadır.
- Kanal mesafesi arttığında ise desenli yüzeylerin tümü göz önüne alındığında yamuk desenli yüzeyler için  $Nu_o$  sayısında azalma görülürken; ters yarım daire desenli yüzeyler için ise artış elde edilmektedir.
- $H/D_h$  mesafesi artırıldığında jet akışın kanaldaki hareketine bağlı olarak desenli yüzeyler üzerindeki etkisi de değişmektedir. Genel itibariyle sıcaklık konturları dağılımından da görülebildiği gibi desenli yüzeyler etrafında akışkanda ısınma meydana gelirken; ters yarım daire desenli yüzeyler etrafında sıcaklık yamuk desenli yüzeylere göre daha düşük olmaktadır. Bu durum da bu desenli yüzeyler için ısı transferindeki iyileşmenin sonucudur.

## 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.