

INVESTIGATION OF THE VARIATION OF COOLING PERFORMANCE WITH THE CHANNEL HEIGHT IN A CHANNEL HAVING IMPINGING JET-CROSS FLOW

Koray KARABULUT

Sivas Cumhuriyet University, Sivas Technical Sciences Vocational High Sch., Electric and Energy Dept., Natural Gas and Installation Technology Program
ORCID: 0000-0001-5680-0988

Doğan Engin ALNAK

Sivas Cumhuriyet University, Teknology Faculty, Department of Manufacturing Eng., Energy Systems M.F.S.
ORCID: 0000-0003-0126-1483

ABSTRACT

The cooling process by applying cross flow alone, which is one of the frequently used methods, may be insufficient for electronic circuit elements that reach high temperatures. Cooling with impinging jet, which is another cooling application, provides efficiency in cooling the regions locally. The combined use of impinging jet and cross flow improves cooling performance. In this study, the cooling of copper plate trapezoid surfaces with constant heat flux in the channel having two open sides was numerically investigated using a combination of impinging jet and cross flow. Numerical research was carried out by solving the energy and Navier-Stokes equations as three dimensional and steady, using the Ansys-Fluent program with k- ϵ turbulence model. With the aim of increase the cooling effect by directing the flow in the channel to the heated surfaces, a fin of 60° angle and D-jet inlet diameter length was placed in the channel horizontally with the impinging jet surface. The distances between the jet flow and trapezoid plate surfaces in the channel were taken as 45 mm, 60 mm and 90 mm. The jet fluid used in the channel is water and the jet Reynolds number range is 11000-15000. The upper and lower surfaces of the channel and the fin are adiabatic, and a constant heat flux of 1000 W/m² was applied to the trapezoid patterned surfaces. The results of the study were compared with the experimental results of the study in the literature and they were found to be consistent with each other. The reached results were exhibited as the mean Nu number and surface temperature variation for each trapezoid surface. The contour distributions of velocity and temperature of the impinging jet-cross flow along channels were also evaluated. For Re = 15000, it was found that the mean Nu number value in the channel with 45 mm jet-plate distance and the fin was 57.80% higher than that of the 90 mm.

Keywords: Impinging jet-cross flow, Fin angle, Jet-plate distance, Electronic circuit, Cooling

ÇARPAN JET-ÇAPRAZ AKIŞLI BİR KANALDA SOĞUTMA PERFORMANSININ KANAL YÜKSEKLİĞİ İLE DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Elektronik cihazlar çalışırken elektronik devreler ısınmakta ve yüksek sıcaklıklara ulaşabilmektedir. Eğer önlem alınmazsa bu durum ilerleyen aşamalarda cihazın bozulmasıyla sonuçlanabilmektedir. Sık kullanılan yöntemlerden biri olan tek başına çapraz akış uygulanmasıyla soğutma işlemi, yüksek sıcaklıklara ulaşan devre elemanları için yetersiz olabilmektedir. Diğer bir soğutma uygulaması olan çarpan jet ile soğutma ise yerel olarak bölgelerin soğutulmasında verim sağlamaktadır. Çarpan jet ve çapraz akışın birlikte kullanılması, soğutma performansını artırmaktadır. Bu çalışmada, iki tarafı açık kanalda bulunan sabit ısı akısına sahip bakır plakalı yamuk şekilli yüzeylerin soğutulması çarpan jet-çapraz akış kombinasyonu kullanılarak sayısal olarak araştırılmıştır. Sayısal inceleme, sürekli ve üç boyutlu olarak enerji ve Navier-Stokes denklemleri ve k-ε türbülans modeli ile Ansys-Fluent programının kullanılmasıyla yapılmıştır. Kanaldaki akışı ısınmış yüzeylere yönlendirerek soğutma etkisini artırmak amacıyla 60° açılı ve D jet girişi çapı uzunluğunda kanatçık, çarpan jet yüzeyiyle yatay olarak kanala yerleştirilmiştir. Kanalda jet akış ve yamuk desenli plakalı yüzeyler arasındaki mesafeler 45 mm, 60 mm ve 90 mm olarak alınmıştır. Kanalda kullanılan jet akışkanı sudur ve jet Reynolds sayısı aralığı ise 11000-15000' dir. Kanalın alt ve üst yüzeyleri ve kanatçık adyabatik olup, yamuk desenli yüzeylere sabit 1000 W/m² lik ısı akısı uygulanmıştır. Çalışmanın sonuçları, literatürdeki çalışmanın deneysel sonuçlarıyla kıyaslanmış ve birbirleriyle uyumlu oldukları belirlenmiştir. Ulaşılan sonuçlar, her bir yamuk desenli yüzey için ortalama Nu sayısı ve yüzey sıcaklık değişimi olarak sergilenmiştir. Re = 13000' de 45 mm, 60 mm ve 90 mm jet-plaka arası mesafelerde kanatçiksiz (0°) ve 60° kanatçık açılı kanallar boyunca çarpan jet-çapraz akışın hız ve sıcaklık konturu dağılımları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Re = 15000 için 45 mm jet-plaka mesafesinde ve kanatçıklı kanalda ortalama Nu sayısı değerinin 90 mm mesafeli kanala göre %57,80 daha fazla olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çarpan jet-çapraz akış, Kanatçık açısı, Jet-plaka arası uzaklık, Elektronik devre, Soğutma

1. GİRİŞ

Genel itibarıyla bütün elektronik cihazlar, elektronik devrelerden oluşmaktadır. Kullanılan elektronik cihazlarda elektronik devreler ısınarak, sıcaklıkları artmaktadır. Isınan elektronik devre elemanları soğutulurken, çalışma sıcaklıkları güvenli sınır aralığına çekilemezse, cihazın bozulma problemiyle karşılaşılabilir. Bu elemanların soğutulabilmeleri için çeşitli soğutma teknikleri uygulanabilmektedir. Bu tekniklerden en bilineni çapraz akış ile soğutma yöntemidir. Bu teknik, soğuk akışkanın fan ile bütün elektronik devre üzerine yollanması ve böylece devre elemanlarının tümünün soğutulması prensibine dayanır. Fakat bu teknik, tüm devre elemanlarının soğutulmasını temel aldığından çok yüksek sıcaklıklara ulaşmış elemanların soğutulmasını sağlayamayabilir. Bir diğer soğutma tekniği ise, çarpan jet ile soğutma tekniğidir. Bu teknikte, soğuk akışkan lüle ile yüksek sıcaklıktaki bir yüzeye noktasal olarak püskürtülür. Çarpan jetler, çok yüksek sıcaklığa ulaşmış bir elektronik devre elemanının soğutulmasını sağlayabilirken, devrenin tümünün soğutulmasında başarısız olabilmektedir.

Bir elektronik devre sıcaklık değerleri birbirinden oldukça farklı olan birçok eleman bulundurabilmektedir. Bu nedenle, tek tip bir soğutma tekniği ile tüm devreyi güvenli çalışma sıcaklıkları içinde tutabilecek duruma ulaşılamayabilmektedir. Bundan dolayıdır ki; çarpma jet ve çarpma soğutma tekniğinin birlikte kullanılması soğutma verimi yüksek bir faydalı durum sağlayabilir. Çarpma akışı ile devre elemanlarının tümü belirli bir dereceye kadar soğutulurken, devrede yalnızca çok yüksek sıcaklıklara ulaşmış olan elemanlar ise çarpma jet akışı ile yersel olarak soğutulabilmektedir. Böylece, ana kartı meydana getiren bütün elektronik devre elemanlarının sıcaklıkları güvenli bir sınırdan tutulabilmektedir [1-2].

Literatür araştırıldığında sadece çarpma akışı veya sadece jet akışının kullanıldığı birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmada da araştırılan geometri daha çok jet akışına benzerlik gösterdiğinden, literatür incelemesinde jet akışı üzerinde durulmuştur. Ayrıca, literatürde çarpma jetler üzerine çok sayıda deneysel ve sayısal inceleme bulunmaktadır. Bu çalışmalarda ise esas itibarıyla çarpma jetler için akışkan seçimi, akış alanının geometrisi, kullanılan türbülans modeli, Re sayısı, jet ile çarpma yüzeyi arasındaki mesafe ve elektronik elemana uygulanan ısı akışı gibi değişkenlerin ısı transferine olan etkilerine odaklanılmıştır. Bununla birlikte, çarpma akışı ve çarpma jet akışının kombine olarak kullanıldığı elektronik devre soğutma teknikleri ile ilgili gerçekleştirilen çalışma sayısı oldukça az olup, akışın kanal içerisinde yüzeyler üzerine yönlendirilmesine yönelik herhangi bir çalışmaya ulaşılan literatürde rastlanmamıştır.

Kılıç [1], yüksek ısı akılı elektronik devre elemanlarının dört farklı nanoakışkan ve çarpma jet tekniği uygulanarak soğutulmasını ve akış özelliklerini sayısal olarak araştırmıştır. Farklı hacimsel oranlardaki nanoakışkanların (%2, %4, %6 ve %8) ısı transferine olan etkilerini de incelemiştir. En yüksek ısı transferi miktarına %8 hacimsel oran için ulaşmış olup, hacimsel oranının %2' den %8' e artışıyla ortalama Nu sayısında %15.2 artış sağlamıştır. Hadipour vd. [3], sabit ısı akılı iç bükey bir yüzey üzerine gönderilen çarpma dairesel bir jet akışının akış ve ısı transferi karakteristiklerini, farklı jet-plaka oranları için deneysel ve sayısal olarak araştırmışlardır. H/D (kanal yükseklik/jet giriş çapı) oranı 0.1-4, Reynolds sayısı aralığı 10000-35000 ve jet çapları 18-30 mm değerlerini için inceleme yapmışlardır. Aynı Re sayısında jet çapı artışının, ısı transferini arttırdığını saptamışlardır. Küçük H/D oranlarında daha iyi bir soğutma etkisi elde etmişlerdir. Re sayısının 10000 ve H/D oranının 0.1 olduğu durumda, sırasıyla H/D oranı 0.4, 1 ve 4 olduğu durumla kıyaslandığında ortalama Nu sayısında %44.5, %55.3 ve %92.2 lik artışlar elde etmişlerdir. Baydar [4], alt yüzeye konumlandırılmış tek ve çift çarpma jetlerin, üst yüzeye doğru dik bir şekilde püskürtülmesiyle meydana gelen akış alanının

deneysel araştırmasını gerçekleştirmişlerdir. Re sayısı 500-10000 ve H/D 0.5-4 oranı için değerlendirmeler yapmışlardır. $Re > 2700$ ve $H/D < 2$ için tek ve çift jet uygulamalarıyla çarpma yüzeyinde atmosfer basıncından düşük bölgelerin meydana geldiğini saptamışlardır. Köseoğlu [5], jet ve çarpma yüzeyi arasındaki sıcaklık farkının ısı transferine olan etkisini deneysel ve sayısal olarak araştırmışlardır. Re sayısı aralığı 250-10000, H/D aralığı 2-12 ve 10-3000 ısı akışı değerlerinde çalışmışlardır. Düşük Reynolds sayılı jet akışlarında ısı transferinde %35 civarında artış saptamışlardır. Jet kesit alanının artışıyla ısı transferinde kayda değer değişiklik gözlemlenmiştir. Choo vd. [6] deneysel olarak eğimli bir çarpma jetin, küçük jet-plaka mesafelerinde ısı transferine olan etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla, $0^\circ \leq \theta \leq 40^\circ$ eğim açısı, $H/D \leq 1$ jet plaka mesafesi ve 5000-15000 Re sayısında çalışmışlardır. Bölek [7], sayısal olarak çarpma jetlerin farklı düzlemlere çarpıtılmasıyla oluşan akış ve ısı transferini farklı Re sayılarında ve H/D oranlarında etkisini araştırmıştır. En yüksek ısı transferi miktarını Re sayısı 20000 Re sayısı değerinde ve 6 H/D mesafesi için elde etmiştir.

Larraona vd. [8], sayısal olarak sabit ısı akıllı elektronik bir devre elemanının çarpan jet ve çapraz akış ile soğutulmasını araştırmışlardır. Ortalama Nu sayısının elektronik elemanın yüksekliği ile ters, kanal Re sayısı ve hız oranlarıyla doğru orantılı olarak arttığını belirlemişlerdir. Jet çapı artışıyla ortalama Nu sayısında küçük bir artış sağladığını gözlemlemişlerdir. Çarpan jet-çapraz akışın, yalnızca kanal akışı kullanılmasına göre daha yüksek soğutma verimliliği sağladığını saptamışlardır. Demircan [9], sayısal olarak bir elektronik devre elemanının, çapraz akış ve çarpan jet uygulamasıyla soğutulmasını araştırmıştır. Re sayısı aralığı 30000–90000, jet ve kanal hız oranının farklı değerleri için incelemeler gerçekleştirmiştir. Re sayısının ve hız oranlarının artışıyla ısı transferinin önemli oranda arttığını belirlemiştir. Mergen [10], sayısal olarak sabit ısı akıllı (3500 W/m^2) bir elektronik elemanın çarpan jet ve çapraz akışla soğutulmasını araştırmıştır. Çalışmasının sonucunda jet Re sayısının kanal Re sayısına oranı azaldıkça ısı transferinin azaldığını belirlemiştir. Maghrabie vd. [11], sayısal olarak bir kanal boyunca sıralanmış yedi adet elektronik elemandan oluşan bir sistemin çarpan jet-çapraz akış ile soğutulmasını araştırmışlardır. Jet konumu değişikliğinin ısı transferini etkilediğini saptamışlardır.

Bu çalışmada, iki tarafı açık kanalda bulunan sabit ısı akısına sahip bakır plakalı yamuk şekilli yüzeylerin soğutulması çarpan jet-çapraz akış kombinasyonu kullanılarak sayısal olarak araştırılmıştır. Sayısal araştırma, sürekli ve üç boyutlu olarak enerji ve Navier-Stokes denklemlerinin k-ε türbülans modeli ile Ansys-Fluent bilgisayar programından faydalanarak gerçekleştirilmiştir. Kanaldaki akışı ısınmış yüzeylere yönlendirerek soğutma etkisini artırmak amacıyla 60° açılı ve D jet giriş çapı uzunluğunda kanatçık, çarpan jet yüzeyiyle yatay olarak kanala yerleştirilmiştir. Kanalda jet akış ve yamuk desenli plakalı yüzeyler arasındaki mesafeler 45 mm, 60 mm ve 90 mm olarak alınmıştır. Kanalda kullanılan jet akışkanı sudur ve jet Reynolds sayısı aralığı ise 11000-15000' dir. Kanalın alt ve üst yüzeyleri ve kanatçık adyabatik olup, yamuk desenli yüzeylere sabit 1000 W/m^2 lik ısı akısı uygulanmıştır. Kanalda referans çalışmalar dikkate alınarak üç adet yamuk şekilli desenli yüzey kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçları, literatürdeki çalışmanın deneysel sonuçlarıyla kıyaslanmış ve birbirleriyle tutarlı oldukları belirlenmiştir. Ulaşılan sonuçlar, her bir yamuk desenli yüzey için ortalama Nu sayısı ve yüzey sıcaklık değişimi olarak sergilenmiştir. Re = 13000' de 45 mm, 60 mm ve 90 mm jet-plaka arası mesafelerde kanatçıksız ve 60° kanatçık açılı kanallar boyunca çarpan jet-çapraz akışın hız ve sıcaklık konturu dağılımları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

2. SAYISAL İNCELEME

Çalışmada, üç boyutlu ve sürekli olarak yamuk şekle sahip desenli yüzeyler üzerindeki çarpan jet-çapraz akışın zorlanmış taşınım ile ısı transferinin sayısal hesaplamalı çözümünde Ansys-Fluent programından yararlanılmıştır.

Çalışmada, jet akışı uygulanması sonucu kanal içerisinde düzensiz akış dalgalanmaları oluşacağından çalışma türbülanslı olarak modellenmiştir. Bu nedenle, çalışmada türbülans modeli olarak k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. Konu ile ilgili literatürde incelenen çalışmalarda Re sayısının 3500-10000 aralığında olduğu görülmektedir. Bu çalışmada da literature benzer şekilde tam gelişmiş bir türbülanslı akışta çalışabilmek için Re sayısının 5000-15000 aralığında olduğu değerde çalışılmıştır. Kanaldaki akış ve ısı transferinin çözümü aşağıda gibi gövde kuvvetinin bulunmadığı kararlı durumdaki türbülanslı akış için zaman ortalamalı kütle, momentum ve enerjinin korunumu denklemlerinden türetilen kısmi türevli diferansiyel denklemlerin çözümüyle gerçekleştirilmiştir [12].

Süreklilik ve momentum denklemleri için yakınsama ölçeği 10^{-6} olup, enerji denklemi için bu değer 10^{-7} 'dir. Simülasyonlarda kullanılan ağ yapısı şekli dörtyüzlüdür (tetrahedral).

Süreklilik denklemi

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

Momentum denklemi

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{u}_i \bar{u}_j) = \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u'_i u'_j} \right] \quad (2)$$

Enerji denklemi

$$\rho c_p \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{u}_i \bar{T}) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[k \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} - \rho c_p \overline{T' u'_i} \right] \quad (3)$$

Türbülans kinetik enerji denklemi

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon \quad (4)$$

Türbülans kinetik enerji yutulma terimi

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \varepsilon u_i) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (5)$$

Bu denklemlerde ρ akışkanın yoğunluğunu, k türbülanslı akışın kinetik enerjisini, u_i , x, y ve z eksenleri doğrultusundaki hız bileşenlerini, μ akışkanın viskozitesini, σ_k türbülanslı kinetik enerji Prandtl sayısını ($\sigma_k = 1$) göstermektedir. Türbülanslı kinetik enerji üretimi (G_k) ve türbülanslı akışın viskozitesini (μ_t) veren eşitlikler aşağıda verilmiştir [12]

$$G_k = -\rho \overline{u'_i u'_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (6)$$

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (7)$$

$C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$ ve C_μ katsayıları, σ_ε ise türbülans yutulma Prandtl sayısını temsil etmektedir ve sırasıyla $C_{1\varepsilon} = 1.44$, $C_{2\varepsilon} = 1.92$, $C_\mu = 0.09$ ve $\sigma_\varepsilon = 1.3$ olarak alınmıştır [13].

Elektronik elemanların yüzeylerindeki ortalama taşınım ısı transferi katsayısı Eş. 8, Nusselt sayısı (Nu) ise Eş. 9 vasıtasıyla hesaplanmaktadır [14].

$$h = \frac{q''}{T_y - T_a} \quad (8)$$

Nu sayısı, taşınım ile ısı transferinin iletimle ısı transferine oranıdır.

$$-k_a \left(\frac{\partial T}{\partial n} \right)_y = h(T_a - T_y) \quad \text{ve} \quad Nu = \frac{h(3.m)}{k_a} \quad (9)$$

Burada, T_a ve T_y sırasıyla su akışkanının ve elektronik elemanın ortalama yüzey sıcaklıkları (K), k_a akışkanın ısı iletim katsayısı (W/m.K), 3.m elektronik elemanın akışkanla temasta olan toplam yüzey uzunluğu (m), h ve h_m sırasıyla yüzey üzerindeki yerel ve ortalama ısı taşınım katsayısı (W/m².K), n yüzeye dik yön olup ortalama Nu sayısı (Nu_m) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

Ortalama ısı taşınım katsayısı

$$h_m = \frac{1}{3.m} \int_0^{3m} h dx \quad (10)$$

Ortalama Nu sayısı

$$Nu_m = \frac{h_m(3.m)}{k_a} \quad (11)$$

Kanal hidrolik çapı

$$D_{kh} = \frac{4A_k}{P_k} = \frac{4(H.W)}{2(H+W)} \quad (12)$$

Bu denklemde A_k kanalın kesit alanı, P_k kanalın ıslak çevresi, H ve W ise sırasıyla kanalın yükseklik ve genişliğidir. Jetin hidrolik çapı ise jet girişi daire olduğundan D jet girişinin çapına eşittir ($D_{hjet} = D$).

Kanal ve Jet Reynolds sayıları ise sırasıyla Eş. (13) ve Eş. (14) yardımıyla belirlenmektedir.

$$Re_k = \frac{\rho_a V_k D_{hk}}{\mu_a} \quad (13)$$

$$Re_j = \frac{\rho_a V_j D}{\mu_a} \quad (14)$$

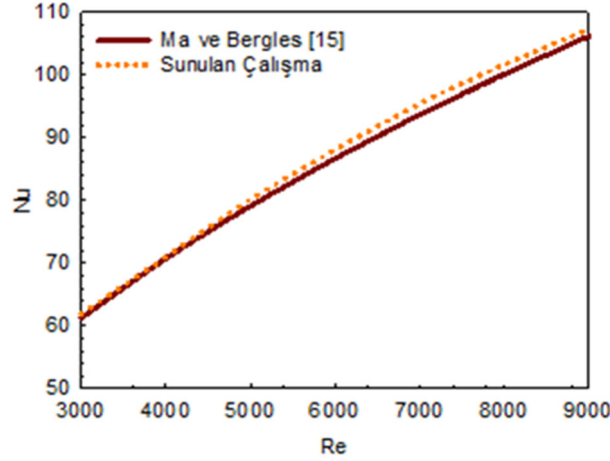
Bu eşitliklerde, ρ_a ve μ_a sırasıyla suyun yoğunluğu (kg/m³) ve viskozitesi (kg/s.m), V_k ve V_j ise sırasıyla suyun kanal ve jet akış hızlarıdır (m/s).

3. GEOMETRİK MODEL TASARIMI

Çalışmada kullanılan çarpan jet-çapraz akış tasarımlı kanal ve kanaldaki yamuk desenli elektronik elemanlara ait ölçü ifadeleri ve sınır şartları Şekil 1' de gösterilirken, modelin geometrik boyutlandırılmasına ait ölçüler ise Tablo 1' de belirtilmiştir. Bu çalışmada yapılan kabuller şunlardır:

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Sunulan çalışmada yalnızca jet akışın olduğu durum için farklı Re sayılarında incelemeler yapılarak ulaşılan sonuçlar ile Ma ve Bergles [15] tarafından yapılan deneysel araştırmalar sonucu elde edilen bağıntı kullanılarak ($\overline{Nu} = 1.29 Re^{0.5} Pr^{0.4}$) ulaşılan sonuçlar birbirleriyle kıyaslanmıştır (Şekil 2). Şekil 2' den görülebildiği gibi, Ma ve Bergles [15]' in deneysel sonuçlarıyla, bu çalışmanın sayısal sonuçlarının birbirleriyle oldukça uyumlu ve tutarlı oldukları saptanmıştır.

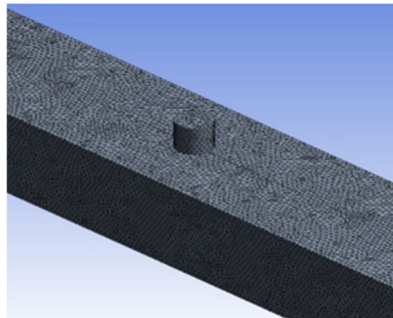


Şekil 2. Sunulan çalışma ve Ma ve Bergles [15]' in deneysel sonucunun karşılaştırılması

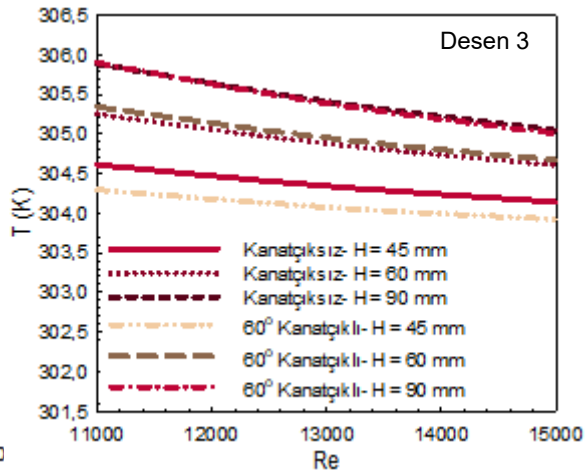
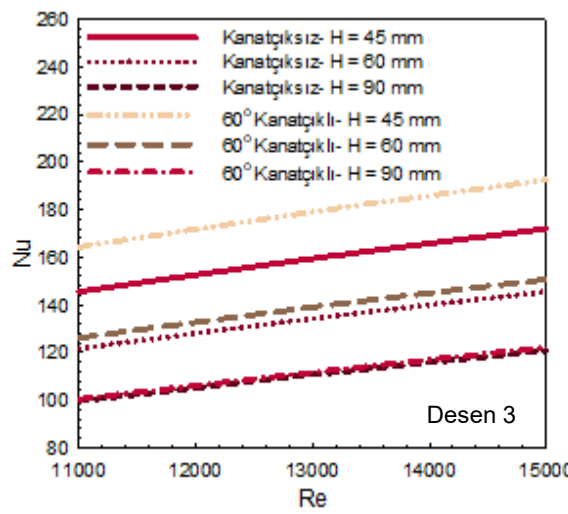
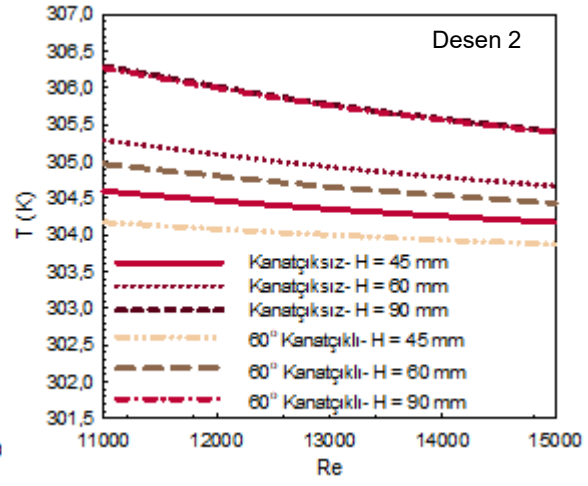
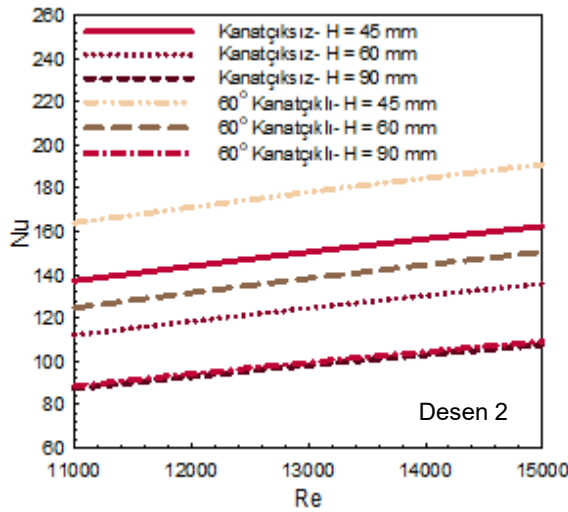
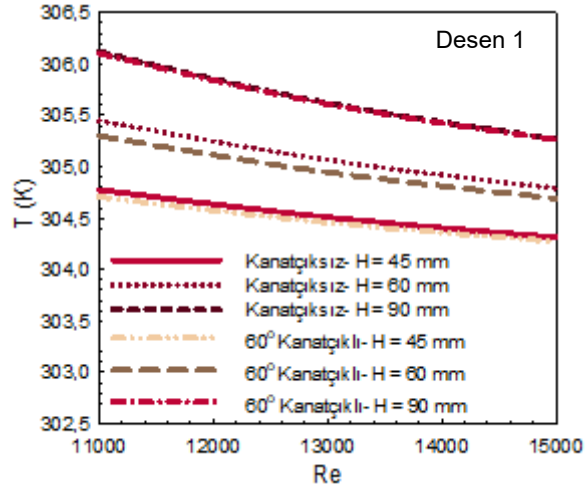
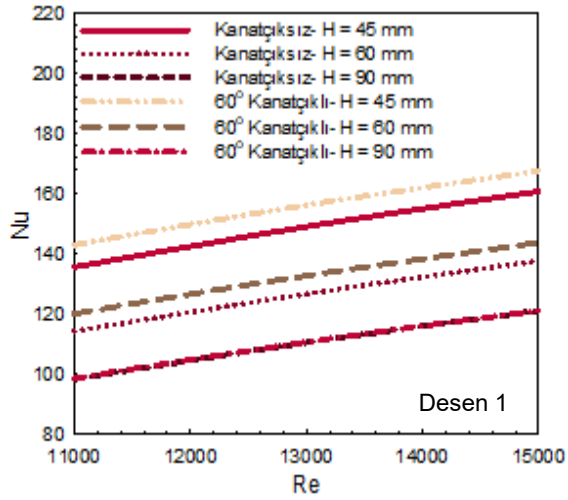
Tablo 2' de ağ sayısının Nu sayısı üzerindeki etkisini belirleyerek kanal için en uygun sayıda ağ elemanı kullanabilmek amacıyla kanatçıksız çarpan jet-çapraz akışlı kanalda ağ sayısının ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi farklı Re sayılarında verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kanatçıksız kanalda 2022840 sayıda ağ elemanının güvenilir sonucu vereceği belirlenmiştir. Bununla birlikte, simülasyonlarda kullanılan ağ yapısı şekli dörtyüzlü (tetrahedral) olup Şekil 3' de daha iyi görselleştirebilmek amacıyla yakınlştırılarak gösterilmiştir.

Tablo 2. Ağ elemanı sayısına göre Nu_m sayısının Re sayısı ile değişimi

Ağ elemanı sayısı	Re=5000- Nu	Re=7000- Nu	Re=9000- Nu
1758412	86.48	108.84	127.40
2022840	86.52	108.88	127.43
2245786	86.52	108.87	127.42



Şekil 3. Hesaplama için kullanılan desenli yüzeylere ait ağ yapısı



Şekil 4. Yamuk desenli yüzeyler için ortalama Nu sayısının Re ile değişimi

Şekil 5. Yamuk desenli yüzeyler için ortalama yüzey sıcaklığının Re ile değişimi

Şekil 4' de çapraz akışın olduğu kanal tarafından itibaren sırasıyla yamuk şekilli Desen 1, Desen 2 ve Desen 3' e ait kanatçiksiz ve 60° kanat açısı için 45 mm, 60 mm ve 90 mm (H)' lik üç farklı kanal yüksekliğinde çarpan jet-çapraz akışlı kanallarda Re sayısına göre Nu sayısının değişimi verilmektedir. Her üç desen için de en yüksek Nu sayısı değerlerine kanatçıklı ve 45 mm kanal yüksekliğinde ulaşılmaktadır. Kanal yüksekliğinin artması, çapraz akış tarafından gelen akışkanın yamuk şekilli desen yüzeylerine yönlendirilmesini azalttığı gibi jet akışın desenli yüzeyler üzerindeki etkisini de azaltmaktadır. Desen 1 için grafiği incelediğimizde Nu sayısının kanal yüksekliğinin artışıyla azaldığını, bununla birlikte 90 mm kanal yüksekliğinde kanatçıklı kanal için elde edilen Nu sayısı değerlerinin kanatçiksiz olanlara oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu duruma, kanal yüksekliğinin artmasına bağlı olarak akışkanın kanal içerisinde desen yüzeyiyle olan etkileşimi azaltıcı şekilde yaptığı akış hareketinin yanı sıra kanatçığın çapraz akışı desen yüzeyine yönlendirmesindeki azalan etkisinin sebep olduğu söylenebilir. Desen 1 için $Re = 11000$ ' de kanatçiksiz çarpan jet-çapraz akışlı kanalda 45 mm kanal yüksekliğinde Nu sayısında %5.5 artış elde edilirken bu artış miktarı 90 mm için %0.3 olmaktadır. Desen 2' de ise çarpan jetin de etkisiyle Desen 1' e göre daha yüksek Nu sayısı değerlerine ulaşılmaktadır. Reynolds sayısının 15000 olduğu değer için kanatçiksiz kanala göre $H = 45$ mm, $H = 60$ mm ve $H = 90$ mm için sırasıyla Nu sayısında %28.65, %10.83 ve %1.42' lik artışlar elde edilmiştir. Kanal sonundaki Desen 3 için Nu sayısını analiz ettiğimizde ise tüm kanal yükseklikleri, kanatçiksiz ve kanatçıklı çarpan jet-çapraz akışlı kanallarda birinci ve ikinci sıradaki yamuk şekilli Desen 1 ve Desen 2 yüzeylerine göre daha fazla artışlara ulaşıldığı saptanmıştır. Bu duruma, sabit Re sayısında tüm kanal yüksekliklerinde desenli yüzeyin sahip olduğu şeklin etkisiyle kanaldan gelen çapraz akışın Desen 2' nin üst sağ yan yüzeyinden Desen 3' e doğru hareket etmesinin yanı sıra kanatçık kullanımıyla hem çapraz akışın hem de çarpan jetin yamuk şekilli Desen 3' e yönlendirilebilmesi sebep olmaktadır. Desen 3 için $Re = 13000$ değerinde 45 mm kanal yüksekliğinde kanatçıklı kanalda kanatçiksiz kanala göre çarpan jet-çapraz akış etkisiyle %12.35 artış sağlanırken, Desen 2 ve Desen 1' e göre kanatçıklı kanal durumunda artış miktarları sırasıyla %0.47 ve %14.72 olmaktadır.

Çarpan jet-çapraz akışlı kanallarda her bir yamuk desenli yüzey için (Desen 1, Desen 2, Desen 3) ortalama yüzey sıcaklığının Re sayısı ile değişimi $H = 45$ mm, 60 mm ve 90 mm kanal yüksekliklerinde 60° açılı kanatçıklı ve kanatçiksiz durumda Şekil 5' de gösterilmektedir. Re sayısının artışıyla taşınımın ısı transferinin artışına paralel olarak ortalama yüzey sıcaklık değerleri de azalmaktadır. Bununla birlikte, en düşük yüzey sıcaklık değerlerine genel itibariyle kanatçıklı (60°) çarpan jet-çapraz akışlı kanallarda ulaşılmaktadır. Kanatçık, özellikle kanaldan gelen çapraz akışı ve yüzeylere dikey olarak uygulanan çarpan jeti desenli yüzeylere yönlendirerek yüzey ile akışkan arasındaki teması artırmaktadır. Bu nedenle, düşük kanal yükseklik değerinde ($H = 45$ mm) diğer kanal yükseklik değerlerine göre ($H = 60$ mm ve $H = 90$ mm) daha düşük yüzey sıcaklık değerleri elde edilebilmektedir. Ayrıca, 90 mm kanal yüksekliğinde tüm desen sıraları ve kanatçiksiz durumda kanatçığın desen yüzeyleri üzerinde etkisinin azalması nedeniyle ortalama yüzey sıcaklık değerleri birbirine oldukça yakın seyretmektedir. Bunun yanı sıra, ikinci sıradaki yamuk desenli yüzeyden üçüncü sıradaki desene doğru akışın desen şekli nedeniyle yönlenmesi sonucunda Desen 3 için diğer desenlere göre daha düşük ortalama yüzey sıcaklık değerlerine ulaşılmaktadır. Bu da Desen 3 için soğuma etkisinin daha iyi olduğunu kanıtlamaktadır.

Tablo 3' de yamuk desenli yüzeylerin tümü için farklı kanal yükseklikleri ($H = 45$ mm, 60 mm ve 90 mm) ve Re sayıları için kanatçiksiz ve 60° kanat açılı çarpan jet-çapraz akışlı kanallarda ortalama Nu sayısı (Nu_m) ve yüzey sıcaklığı (T_m) değişimleri sunulmaktadır.

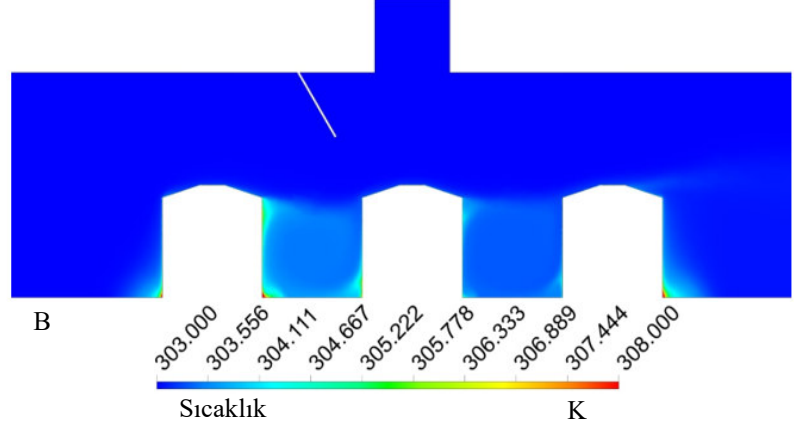
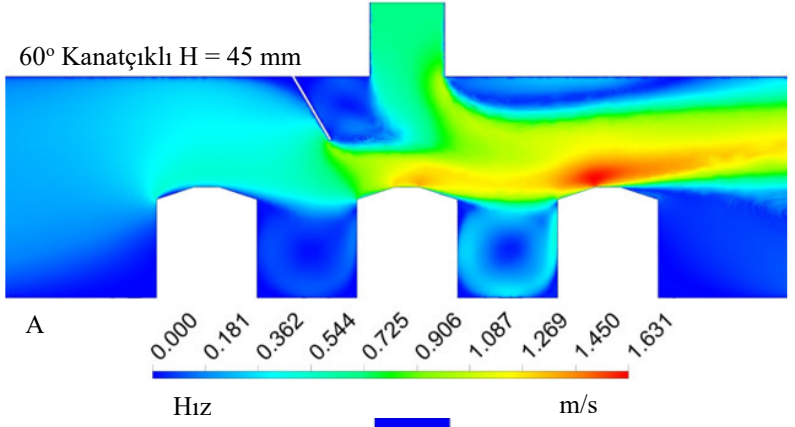
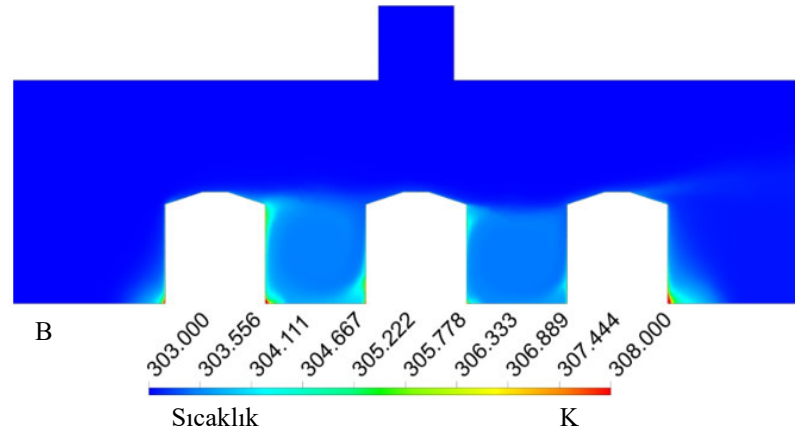
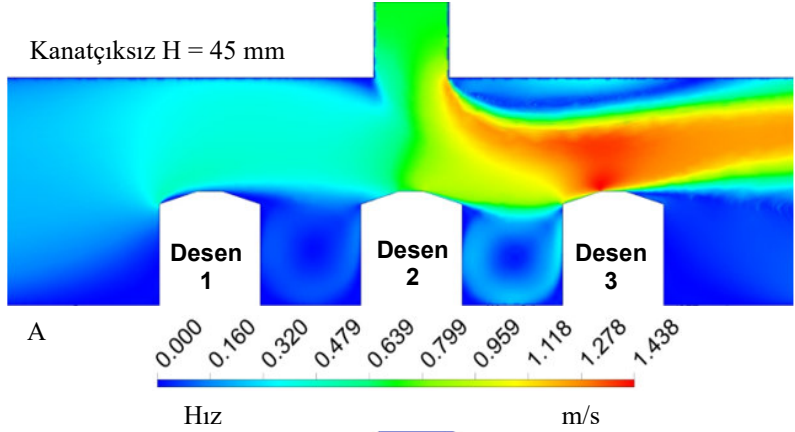
Re sayısının artışına bağlı olarak Nu sayısı değeri artarken, en düşük Nu sayısı değerlerine kanatçiksiz kanallarda ulaşılmaktadır. Bununla birlikte, kanal yüksekliğinin artışına bağlı olarak hem kanatçıkların hem de çarpan jetin desenli yüzeyler üzerindeki etkisi azalmaktadır. Buna bağlı olarak yüzey sıcaklık değerlerinde ise artışlar görülmektedir. Re = 15000 için 45 mm jet-plaka mesafesinde ve kanatçıklı kanalda ortalama Nu sayısı değerinin 90 mm mesafeli kanala göre %57.80 daha fazla olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte, H = 60 mm kanal yüksekliğinde Re = 13000' de kanatçiksiz kanala göre %6.41' lik bir artış elde edilmektedir. En yüksek ortalama yüzey sıcaklığı değeri 306.1 K ile Re = 11000' de H = 90 mm kanal yüksekliğinde kanatçiksiz kanal için elde edilirken, en düşük desenli yüzey sıcaklığına ise Re = 15000 ve H = 45 mm' de 304.02 K ile kanatçıklı çarpan jet-çapraz akışlı kanalda ulaşılmaktadır.

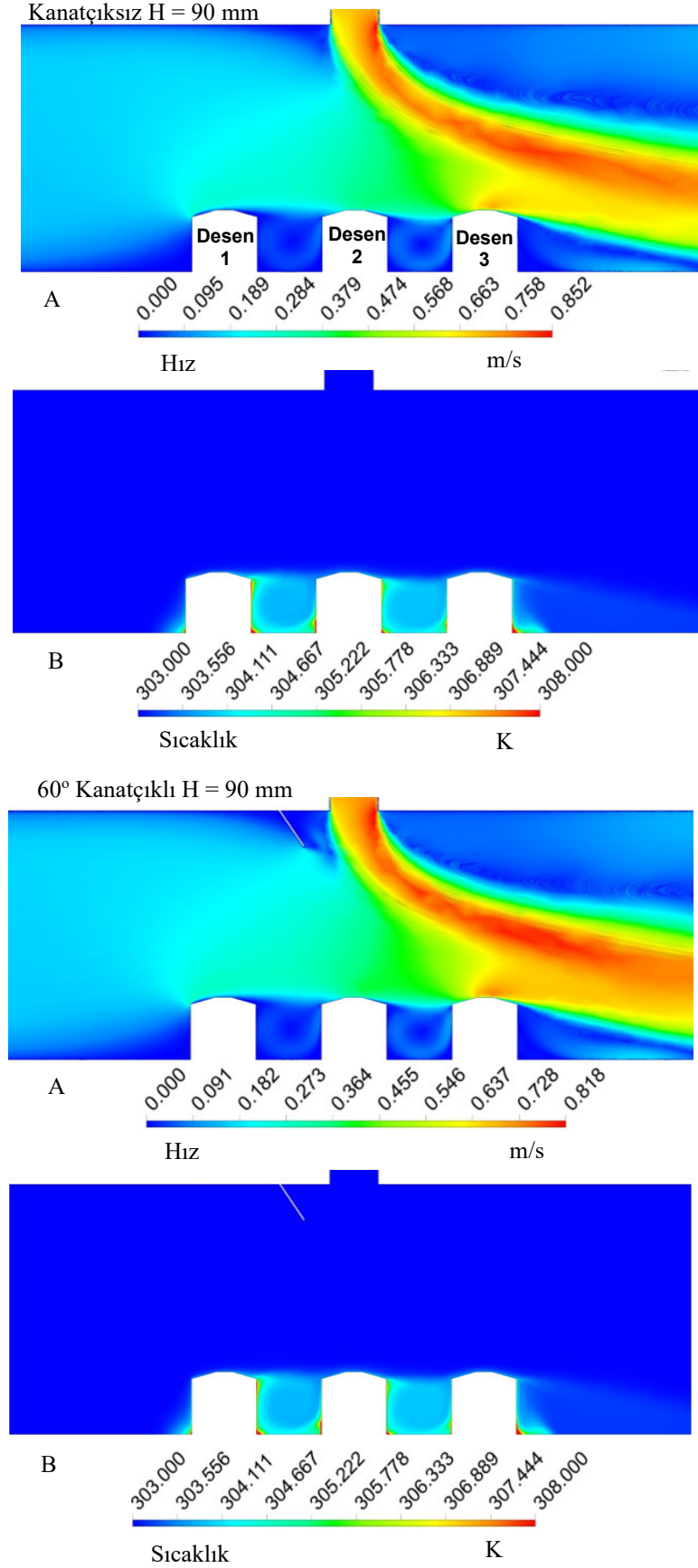
Tablo 3. Farklı kanal yükseklikleri (H) için yamuk desenli yüzeylerin ortalama Nu sayısı (Nu_m) ve yüzey sıcaklık (T_m) değişimleri

	Re 11000	Re 13000	Re 15000
Kanatçiksiz- H = 45 mm - Nu_m	139.35	152.92	164.99
Kanatçiksiz- H = 60 mm - Nu_m	115.89	128.38	139.62
Kanatçiksiz- H = 90 mm - Nu_m	94.99	106.34	116.43
60° Kanatçıklı- H = 45 mm - Nu_m	157.04	171.12	184.91
60° Kanatçıklı- H = 60 mm - Nu_m	123.53	136.61	148.26
60° Kanatçıklı- H = 90 mm - Nu_m	95.79	107.15	117.18
Kanatçiksiz- H = 45 mm- T_m (K)	304.66	304.40	304.20
Kanatçiksiz- H = 60 mm- T_m (K)	305.32	304.95	304.68
Kanatçiksiz- H = 90 mm- T_m (K)	306.10	315.60	305.23
60° Kanatçıklı- H = 45 mm- T_m (K)	304.39	304.17	304.02
60° Kanatçıklı- H = 60 mm- T_m (K)	305.20	304.85	304.59
60° Kanatçıklı- H = 90 mm- T_m (K)	306.08	305.58	305.21

Şekil 6' da kanatçiksiz ve 60° kanatçık açılı 45 mm, 60 mm ve 90 mm kanal yüksekliğine sahip olan çarpan jet-çapraz akışlı kanallarda kanal boyunca akışkanın A- hız-akım çizgisi ve B- sıcaklık konturunun dağılımları Re = 13000 için sergilenmektedir. Kanatçiksiz çarpan jet-çapraz akışlı kanalda yamuk şekilli Desen 1 yalnızca çapraz akış etkisinde iken Desen 2' nin sağ yan üst tarafında çapraz akış ile çarpan akışın etkisi arttığından hız konturu dağılımından görülebildiği gibi hızda artış yaşanmaktadır. Ayrıca, yamuk şekilli Desen 2' nin üst tarafından çarpma etkisi ile gelen akış Desen 3' e doğru yönelmektedir. Bu durumda, sıcaklık konturu dağılımından da belirlenebildiği gibi Desen 3 için sıcaklık değerinde azalma sağlanmaktadır. Bununla birlikte, jet akış Desen 2 ve Desen 3 arasında akışkanı baskılayarak iki desen arasında kendi içinde sirkülasyonuna sebep olmaktadır. Bu da iki desen arası akışkanın sabit ısı akılı desenler nedeniyle sıcaklığının artmasına yol açmaktadır. Kanala kanatçık eklediğinde hem jet akışkan hem de çarpan jet akışkanı yamuk desenli yüzeyler üzerine yönlendirilebilmektedir. Böylece, desenli yüzeylerden olan ısı transferi artarak yüzeylerden olan soğutma etkisi artmaktadır. Bununla birlikte, kanal yüksekliğinin artışı akışkanın desenli yüzeyler üzerindeki etkisini azaltırken, kanatçığın akış yönlendirilmesindeki etkisini de azaltmaktadır.

Bunun yanı sıra, özellikle $H = 90$ mm kanal yüksekliğinde çapraz akışın etkisiyle de jet akışkan hareketi Desen 3' e kaydığında bu desende soğuma etkisinde artış sağlandığı sıcaklık konturu dağılımından da açıkça görülebilmektedir. Yine bu desen için desen aralarındaki oyuk bölgelerinde sıcaklıkta azalışlar elde edilmektedir. Bu nedenle, genel itibarıyla en iyi soğutma etkisine Desen 3 ve 45 mm kanal yüksekliğinde ulaşılmaktadır.





Şekil 6. Yamuk desenli yüzeyler için $Re = 13000$ ' de kanatçksız ve kanatçıklı çarpan jet-çapraz akışlı kanallarda A- Hız konturu B- Sıcaklık konturu dağılımları

5. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada, iki tarafı açık kanalda bulunan sabit ısı akısına sahip bakır plakalı yamuk şekilli yüzeylerin soğutulması çarpan jet-çapraz akış kombinasyonu kullanılarak sayısal olarak araştırılmıştır. Sayısal araştırma, sürekli ve üç boyutlu enerji ve Navier-Stokes denklemleri ve k-ε türbülans modeli ile Ansys-Fluent programından faydalanılarak yapılmıştır. Kanaldaki akışı ısınmış yüzeylere yönlendirerek soğutma etkisini artırmak amacıyla 60° açılı ve D jet giriş çapı uzunluğunda kanatçık, çarpan jet yüzeyiyle yatay olarak kanala yerleştirilmiştir. Kanalda jet akış ve yamuk desenli plakalı yüzeyler arasındaki mesafeler 45 mm, 60 mm ve 90 mm olarak alınmıştır. Kanalda kullanılan jet akışkanı 303 K sıcaklığındaki su olup, kanalın alt ve üst yüzeyleri ve kanatçık adyabatiktir. Yamuk şekilli yüzeyler, 1000 W/m² lik sabit ısı akısına sahiptir. Kanalda referans çalışmalar dikkate alınarak üç adet dörtgen şekilli yüzey kullanılmıştır. Jet Reynolds sayısı aralığı 11000-15000' dir. Çalışmanın sonuçları, literatürdeki çalışmanın deneysel sonuçlarıyla kıyaslanmış ve birbirleriyle tutarlı oldukları saptanmıştır. Sonuçlar, her bir yamuk desenli yüzey için ortalama Nu sayısı ve yüzey sıcaklık değişimleri olarak sergilenmiştir. Re = 13000' de 45 mm, 60 mm ve 90 mm jet-plaka arası mesafelerde kanatçiksız ve 60° kanatçık açılı kanallar boyunca çarpan jet-çapraz akışın hız ve sıcaklık konturu dağılımları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmadan ulaşılan sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Kanatçık kullanımıyla birlikte çapraz akıştan yani kanaldan gelen akış desenli yüzeyler üzerine daha fazla yönlendirebildiği gibi desenler üzerinde ikincil bir jet akış etkisi oluşturularak ısı transferi miktarını artırma etkisi elde edilebilmektedir.
- Kanal yüksekliğinin artması, çapraz akış tarafından gelen akışkanın yamuk şekilli desen yüzeylerine yönlendirilmesini azalttığı gibi jet akışın desenli yüzeyler üzerindeki etkisini de azaltmaktadır.
- Desen 1 için grafiği incelediğimizde Nu sayısının kanal yüksekliğinin artışıyla azaldığını, bununla birlikte 90 mm kanal yüksekliğinde kanatçıklı kanal için elde edilen Nu sayısı değerlerinin kanatçiksız olanlara oldukça yakın olduğu görülmektedir.
- Desen 1 için Re = 11000' de kanatçiksız çarpan jet-çapraz akışlı kanalda 45 mm kanal yüksekliğinde Nu sayısında %5.5 artış elde edilirken bu artış miktarı 90 mm için %0.3 olmaktadır.
- Desen 2' de ise çarpan jetin de etkisiyle Desen 1' e göre daha yüksek Nu sayısı değerlerine ulaşılmaktadır. Reynolds sayısının 15000 olduğu değer için kanatçiksız kanala göre H = 45 mm, H = 60 mm ve H = 90 mm için sırasıyla Nu sayısında %28.65, %10.83 ve %1.42' lik artışlar elde edilmiştir.
- Kanal sonundaki Desen 3 için Nu sayısını analiz ettiğimizde ise tüm kanal yükseklikleri, kanatçiksız ve kanatçıklı çarpan jet-çapraz akışlı kanallarda birinci ve ikinci sıradaki yamuk şekilli Desen 1 ve Desen 2 yüzeylerine göre daha fazla artışlara ulaşıldığı saptanmıştır.
- Desen 3 için Re = 13000 değerinde 45 mm kanal yüksekliğinde kanatçıklı kanalda kanatçiksız kanala göre çarpan jet-çapraz akış etkisiyle %12.35 artış sağlanırken, Desen 2 ve Desen 1' e göre kanatçıklı kanal durumunda artış miktarları sırasıyla %0.47 ve %14.72 olmaktadır.
- En düşük yüzey sıcaklık değerlerine genel itibariyle kanatçıklı (60°) çarpan jet-çapraz akışlı kanallarda ulaşılmaktadır. Kanatçık, özellikle kanaldan gelen çapraz akışı ve yüzeylere dikey olarak uygulanan çarpan jeti desenli yüzeylere yönlendirerek yüzey ile akışkan arasındaki teması artırmaktadır.

- Düşük kanal yükseklik değerinde ($H = 45$ mm) diğer kanal yükseklik değerlerine göre ($H = 60$ mm ve $H = 90$ mm) daha düşük yüzey sıcaklık değerleri elde edilebilmektedir.
- 90 mm kanal yüksekliğinde tüm desen sıraları ve kanatçiksız durumda kanatçığın desen yüzeyleri üzerinde etkisinin azalması nedeniyle ortalama yüzey sıcaklık değerleri birbirine oldukça yakın seyretmektedir.
- İkinci sıradaki yamuk desenli yüzeyden üçüncü sıradaki desene doğru akışın desen şekli nedeniyle yönlmesi sonucunda Desen 3 için diğer desenlere göre daha düşük ortalama yüzey sıcaklık değerlerine ulaşılmaktadır. Bu da Desen 3 için soğuma etkisinin daha iyi olduğunu kanıtlamaktadır.
- $Re = 15000$ için 45 mm jet-plaka mesafesinde ve kanatçıklı kanalda ortalama Nu sayısı değerinin 90 mm mesafeli kanala göre %57.80 daha fazla olduğu bulunmuştur.
- $H = 60$ mm kanal yüksekliğinde $Re = 13000$ de kanatçiksız kanala göre %6.41' lik bir artış elde edilmektedir.
- Kanatçiksız çarpan jet-çapraz akışlı kanalda yamuk şekilli Desen 1 yalnızca çapraz akış etkisinde iken Desen 2' nin sağ yan üst tarafında çapraz akış ile çarpan akışın etkisi arttığından hız konturu dağılımından görülebildiği gibi hızda artış yaşanmaktadır. Ayrıca, yamuk şekilli Desen 2' nin üst tarafından çarpma etkisi ile gelen akış Desen 3' e doğru yönelmektedir. Bu durumda, sıcaklık konturu dağılımından da belirlenebildiği gibi Desen 3 için sıcaklık değerinde azalma sağlanmaktadır.
- Genel itibariyle en iyi soğutma etkisine Desen 3 ve 45 mm kanal yüksekliğinde ulaşılmaktadır.
- Sonuç olarak, çarpan jet-çapraz akışlı bir kanala kanatçıkların eklenmesi kanaldan gelen çapraz akışı ısınmış desenli yüzeyler üzerine daha fazla yönlendirerek yüzeyler üzerinden olan ısı transferini artırmaktadır. Bununla birlikte, kanal yüksekliğinin artışı hem çarpan jet-çapraz akışın hem de kanatçığın desenli yüzeyler üzerindeki etkisini azaltmaktadır. Ayrıca, yüzeylere verilen desen şekilleri yamuk desenli yüzeyde olduğu gibi akışkanın diğer yüzeyler ile etkileşimini iyileştirdiğinden soğutma etkisini artırmaktadır. Bu nedenle, desenli yüzey ve kanal tasarımlarında bu etki dikkate alınmalıdır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) birimi tarafından TEKNO-2021-031 proje numarası ile desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Kılıç, M. Elektronik Sistemlerin Soğutulmasında Nanoakışkanlar ve Çarpan Jetlerin Müşterek Etkisinin İncelenmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33 (3), 121-132, (2018).
- [2] Teamah, M.A., Dawood, M.M., Shehata, A. Numerical and Experimental Investigation of Flow Structure and Behavior of Nanofluids Flow Impingement on Horizontal Flat Plate, Experimental Thermal and Fluid Science, 74, 235-246, (2015).
- [3] Hadipour, A., Zargarabadi, M.R. Heat Transfer and Flow Characteristics of Impinging Jet on a Concave Surface at Small Nozzle to Surface Distances, Applied Thermal Engineering 138, 534-541, (2018).
- [4] Baydar, E. Confined Impinging Air Jet at Low Reynolds Numbers, Experimental Thermal and Fluid Science 19, 27-33, (1999).

[5] Köseoğlu, M.F. Çarpan Akışkan Jetleri Kullanılarak Elektronik Elemanların Soğutulmasının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2007.

[6] Choo, K., Kang, T.Y., Kim, S.J. The Effect of Inclination on Impinging Jets at Small Nozzle-to-Plate Spacing, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 55, 3327-3334, (2012).

[7] Bölek, A. Farklı Düzlemler Üzerine Çarpan Jetlerin Akış ve Isı Transfer Analizleri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2007).

[8] Larraona, G.S., Rivas, A., Antón, R., Ramos, J.C., Pastor, I., Moshfegh, B. Computational Parametric Study of an Impinging Jet in a Cross-Flow Configuration for Electronics Cooling Applications, *Applied Thermal Engineering*, 52, 428-438, (2013).

[9] Demircan, T. Numerical Analysis of Cooling an Electronic Circuit Component with Cross Flow and Jet Combination, *Journal of Mechanics*, 35 (3), 395-404, (2019).

[10] Mergen, S. Kanal İçi Akış ve Çarpan Jet İle Birlikte Elektronik Eleman Soğutulmasının Sayısal Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2014).

[11] Maghrabie, H.M., Attalla, M., Fawaz, H.E., Khalil, M. Numerical Investigation of Heat Transfer and Pressure Drop of In-Line Array of Heated Obstacles Cooled by Jet Impingement in Cross-Flow, *Alexandria Engineering Journal*, 56, 285-296, (2017).

[12] Wang S.J., Mujumdar A.S. A Comparative Study of Five Low Reynolds Number $k-\epsilon$ Models for Impingement Heat Transfer, *Applied Thermal Engineering*, 25, 31-44, (2005).

[13] Saleha, N., Fadela, N., Abbas, A. Improving Cooling Effectiveness By Use Chamfers on the Top of Electronic Components, *Microelectronics Reliability* 55, 1067-1076, (2015).

[14] Incropera, F.P., Dewit, D.P., Bergman, T.L., Lavine, A.S., *Fundamentals of Heat and Mass Transfer (Sixth Edition)*, John Wiley&Sons, Indiana, 447-487, (2007).

[15] Ma, C.F., Bergles, A.E., Boiling Jet Impingement Cooling of Simulated Microelectronic Chips, *Heat Transfer in Electronic Equipment* HTD 28, 5-12, 1983.