



RESEARCH OF THE EFFECT OF FIN DESIGN ON THE COOLING OF HEATED ELECTRONIC COMPONENTS IN A CHANNEL WITH IMPINGING JET-CROSS FLOW

ÇARPAN JET-ÇAPRAZ AKIŞLI BİR KANALDA ISINMIŞ ELEKTRONİK ELEMANLARIN SOĞUTULMASINDA KANATÇIK TASARIMI ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Koray KARABULUT

Sivas Cumhuriyet University, Sivas Technical Sciences Vocational High Sch., Electric and Energy Dept., Natural Gas and Installation Technology Prog., Sivas, Turkey, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5680-0988>

Doğan Engin ALNAK

Sivas Cumhuriyet University, Technology Fac., Manufacturing Engineering Depart., Energy Systems M.F.S., Sivas, Turkey. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0126-1483>

Abstract

Electronic components operate at low voltage current. Excessive heat lowers the electrical resistance of the equipments, increasing the current. As a result of this, it is observed decrease in the performance of the device. To prevent this situation, the electronic element must be at the ideal operating temperature. By improving the heat transfer with the impinging jet-cross flow application, the amount of cooling is increased and a desired efficient cooling can be achieved. In the presented study, heat transfer from copper plate hollow patterned surfaces with constant heat flux in the channel was researched numerically using impinging jet-cross flow. Numerical investigation was carried out by solving the energy and Navier-Stokes equations as three dimensional and steady, using the Ansys-Fluent computer program with $k-\epsilon$ turbulence model. In order to direct the flow in the channel to the heated patterned surfaces, a fin with 45° , 60° and 90° angles and a length of D jet inlet diameter was placed in the channel horizontally with the impinging jet surface. The fluid used in the channel is water, and the upper and lower surfaces of the channel and the fin are adiabatic. Hollow patterned surfaces have a constant heat flux of 1000 W/m^2 . The distance between the jet and the plate is 60 mm, and the jet Reynolds number range is 7000-11000. The results of the study were compared with the experimental results of the study in the literature and it was determined that they were consistent with each other. The results were presented as the mean Nu number and surface temperature variations for each hollow patterned surface. At $Re = 9000$, velocity and temperature contour distributions of the impinging jet-cross flow along the channel with 45° , 60° and 90° fin angle and without fin were evaluated comparatively. Compared to the impinging jet-cross flow channel without fin at $Re = 11000$, a 10.42% increase in the mean Nu number was obtained for the hollow patterned surfaces in the channel with 90° fin angle.

Keywords: Impinging Jet-Cross Flow, Fin, Hollow pattern, Electronic component, Cooling.

Özet

Elektronik bileşenler düşük voltaj akımında çalışırlar. Aşırı ısı, donanımların elektrik direncini düşürerek akımı artırır. Bunun sonucu olarak da cihazın performansında düşüş gözlenir. Bu durumu önlemek için elektronik elemanın ideal çalışma sıcaklığında olması gerekir. Çarpın jet-çapraz akış uygulamasıyla ısı transferi iyileştirilerek soğutma miktarı artırılmakta ve istenen verimli bir soğutma sağlanabilmektedir. Sunulan çalışmada, kanalda bulunan sabit ısı akısına sahip bakır plakalı oyuk desenli yüzeylerden olan ısı transferi çarpın jet-çapraz akış kullanılarak sayısal olarak araştırılmıştır. Sayısal inceleme, sürekli ve üç boyutlu olarak enerji ve Navier-Stokes denklemlerinin $k-\epsilon$ türbülans modeli Ansys-Fluent bilgisayar programının kullanılarak çözülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Kanaldaki akışı ısınmış desenli yüzeylere yönlendirebilmek amacıyla 45° , 60° ve 90° açılı ve D jet girişi çapı uzunluğunda kanatçık, çarpın jet yüzeyiyle yatay olarak kanala yerleştirilmiştir. Kanalda kullanılan akışkan su olup, kanalın alt ve üst yüzeyleri ve kanatçık adyabatiktir. Oyuk desenli yüzeyler, sabit 1000 W/m^2 ısı akısına sahiptir. Jet-plaka arası uzaklık 60 mm olup, jet Reynolds sayısı aralığı 7000-11000' dir. Çalışmanın sonuçları, literatürdeki çalışmanın deneysel sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve birbirleriyle tutarlı oldukları belirlenmiştir. Sonuçlar, her bir oyuk desenli yüzey için ortalama Nu sayısı ve yüzey sıcaklık değişimleri olarak sunulmuştur. $Re = 9000$ ' de 45° , 60° ve 90° kanatçık açılı ve kanatçıksız

kanallar boyunca çarpan jet-çapraz akışın hız ve sıcaklık konturu dağılımları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. $Re = 11000$ ' de kanatçiksız çarpan jet-çapraz akışlı kanalla kıyaslandığında 90° kanatçık açısına sahip kanalda oyuk desenli yüzeyler için ortalama Nu sayısında %10.42 artış elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çarpan jet-çapraz akış, Kanatçık, Oyuk desen, Elektronik eleman, Soğutma.

1. GİRİŞ

Aşırı ısınma, elektronik bileşen elemanlarının elektrik dirençlerini azaltıp, üzerlerinden geçen elektrik akımının artmasına sebep olmaktadır. Bu durum da elektronik cihazların çalışma performanslarında düşüşe yani çalışma hızlarında azalmayla sonuçlanmaktadır. Bunun yanı sıra, ısınan elektronik devre elemanları soğutulularak, 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 elemanın 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 ulaşmada sıkıntı yaşanabilir. Bundan dolayıdır ki; çarpan jet ve çapraz soğutma tekniğinin birlikte kullanılması soğutma verimi yüksek bir faydalı durum sağlayabilir. Çapraz akış ile devre elemanlarının tümü belirli bir dereceye kadar soğutulurken, devrede yalnızca çok yüksek sıcaklıklara ulaşmış olan elemanlar ise çarpan 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 çapraz akış veya sadece jet akışın kullanıldığı birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmada da araştırılan geometri daha çok jet akışa benzerlik gösterdiğinden, literatür incelemesinde jet akış üzerinde durulmuştur. Ayrıca, literatürde çarpan jetler üzerine çok sayıda deneysel ve sayısal inceleme bulunmaktadır. Bu çalışmalarda ise esas itibarıyla çarpan jetler için akışkan seçimi, akış alanın geometrisi, kullanılan türbülans modeli, Re sayısı, jet ile çarpma yüzeyi arasındaki mesafe ve elektronik elemana uygulanan ısı akısı gibi değişkenlerin ısı transferine olan etkilerine odaklanılmıştır. Bununla birlikte, çapraz akış ve çarpan 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 çarpan 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 çarpan 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 çarpan 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 akısı değerlerinde çalışmışlardır. Düşük Reynolds sayılı jet akışlarda ısı transferinde %35 civarında artış saptamışlardır. Jet kesit alanının artışıyla ısı transferinde kayda

değer değişiklik gözlemlemişlerdir. Choo vd. [6] deneysel olarak eğimli bir çarpan 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 çarpan 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 akılı 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 akılı (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, kanalda bulunan sabit ısı akısına sahip bakır plakalı oyuk desenli yüzeylerden olan ısı transferi çarpan jet-çapraz akış 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 desenli yüzeylere yönlendirebilmek amacıyla 45° , 60° ve 90° açılı ve D jet giriş çapı uzunluğunda kanatçık, çarpan jet yüzeyiyle yatay olarak kanala yerleştirilmiştir. Kanalda kullanılan akışkan su olup, kanalın alt ve üst yüzeyleri ve kanatçık adyabatiktir. Oyuk desenli yüzeyler, sabit 1000 W/m^2 ısı akısına sahiptir. Jet-plaka arası uzaklık 60 mm olup, jet Reynolds sayısı aralığı 7000-11000' dir. Kanalda referans çalışmalar dikkate alınarak üç adet oyuk desenli yüzey kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçları, literatürdeki çalışmanın deneysel sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve birbirleriyle tutarlı oldukları belirlenmiştir. Sonuçlar, her bir oyuk desenli yüzey için ortalama Nu sayısı ve yüzey sıcaklık değişimleri olarak sunulmuştur. $Re = 9000$ ' de 45° , 60° ve 90° kanatçık açılı ve kanatçiksiz kanallar boyunca çarpan jet-çapraz akışın hız ve sıcaklık konturu dağılımları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

2. SAYISAL İNCELEME

Çalışmada, üç boyutlu ve sürekli olarak oyuk şeklindeki 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 7000-11000 aralığında olduğu değerlerde 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

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

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 denklemden 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.

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

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

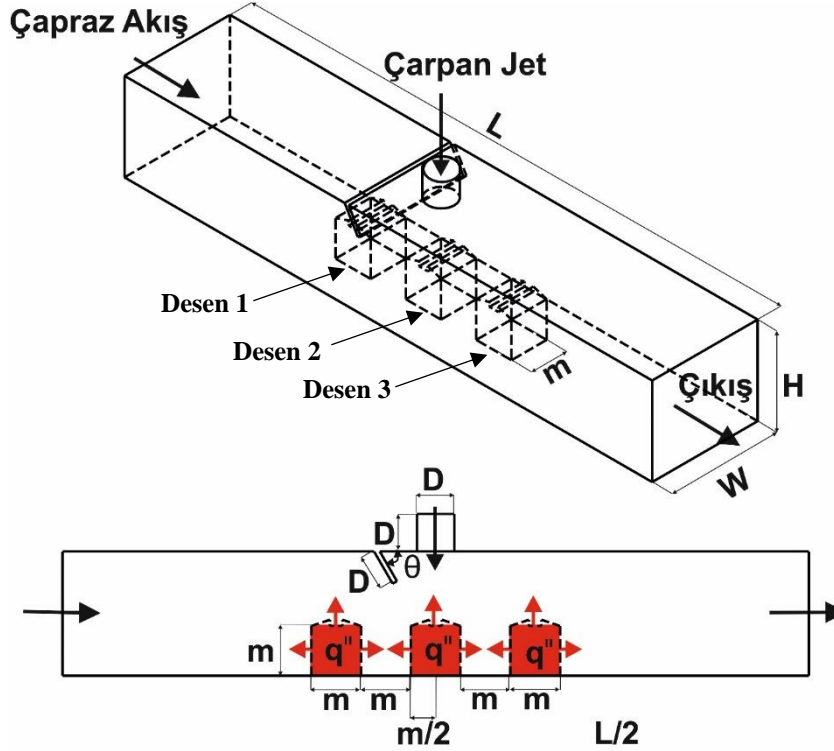
Bu eşitliklerde, ρ_a ve μ_a sırasıyla suyun yoğunluğu (kg/m³) ve viskozitesi (kg/s.m), V_k ve V_j ise sırasıyla suyun kanal ve jet akış hızlarıdır (m/s).

3. GEOMETRİK MODEL TASARIMI

Çalışmada kullanılan çarpan jet-çapraz akış tasarımlı kanal ve kanaldaki oyuk 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:

- Akış hacmi üç boyutlu, sürekli ve türbülanslıdır.
- Hem jet akışkanı hem de kanal girişindeki çapraz akış için kullanılan akışkan sıkıştırılmaz sudur.
- Oyuk desenli elektronik eleman yüzeylerine sabit ısı akısı uygulanmıştır.

- d) Akışkanın ısı özellikleri sabit olup, dinamik viskozitesi $\mu = 0.00080340 \text{ N.s/m}^2$, ısı iletkenliği $k = 0.6172 \text{ W/m.K}$, yoğunluğu $\rho = 995.80 \text{ kg/m}^3$, özgül ısı $c = 4178.40 \text{ J/kg.K}$ olarak alınmıştır.
- e) Kanal ve açılı kanatçık yüzeyleri adyabatiktir
- f) Akışkan ve desenli yüzeyler için ısı üretimi yoktur.



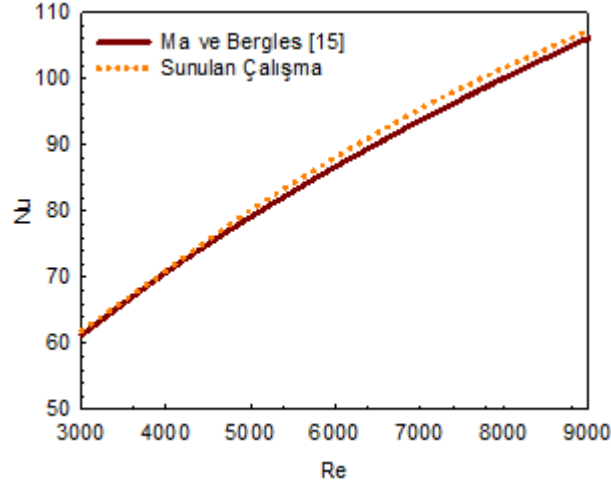
Şekil 1. Oyuk desenli çarpan jet-çapraz akışlı kanalın perspektif görünüşü

Tablo 1. Oyuk desenli modelin geometrik boyutlandırma ölçüleri

Model Boyutlandırması	
D	15 mm
L	66D
W	4D
H	4D
m	20 mm
q''	1000 W/m ²
θ	45°, 60°, 90°

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.

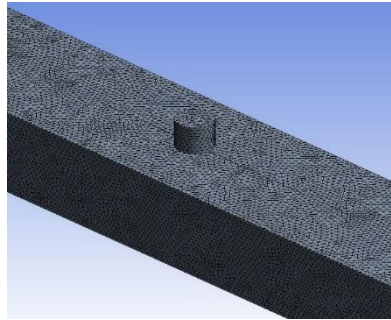


Şekil 2. Sunulan çalışma ve Ma ve Bergles [15]' in deneysel sonucunun karşılaştırılması

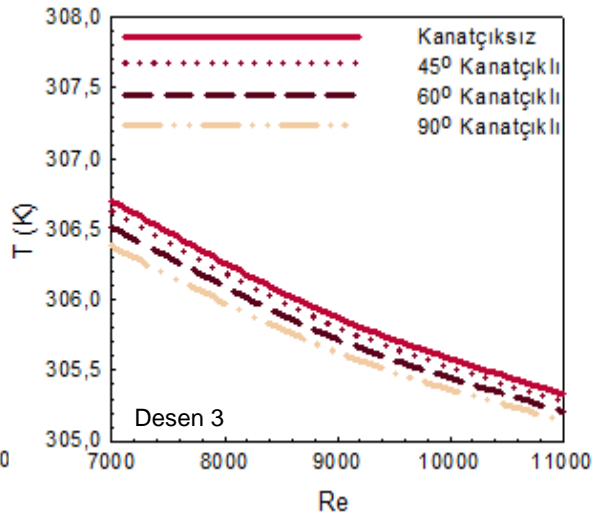
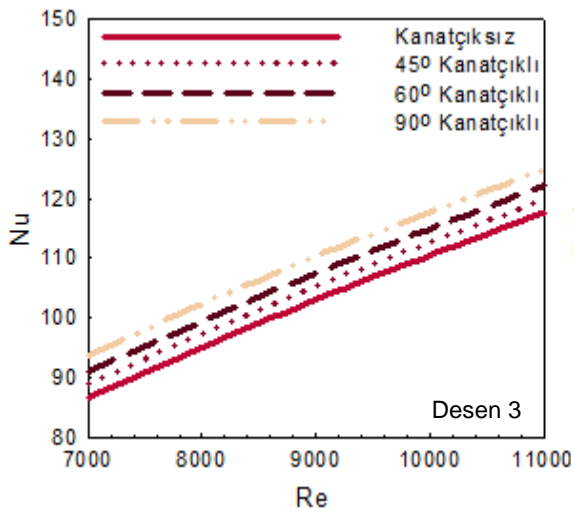
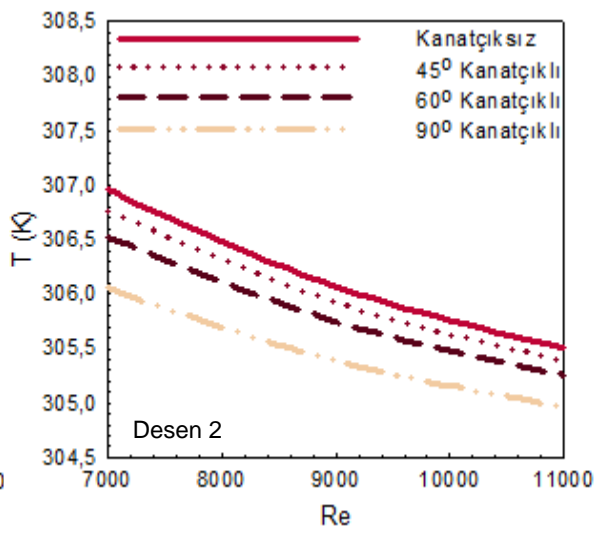
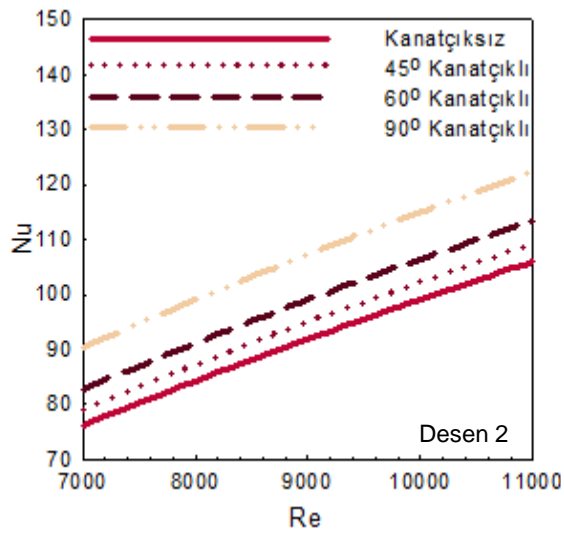
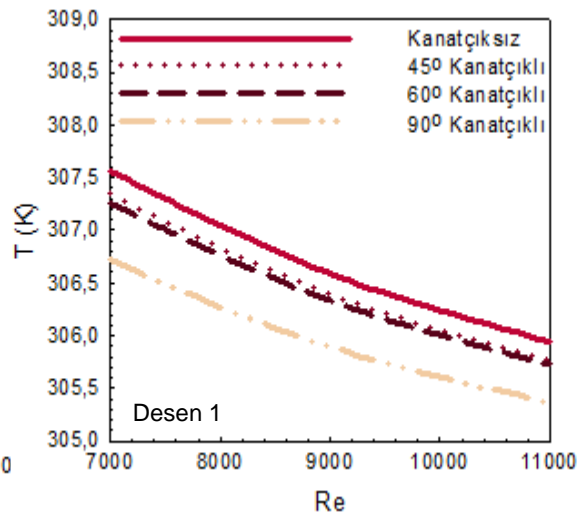
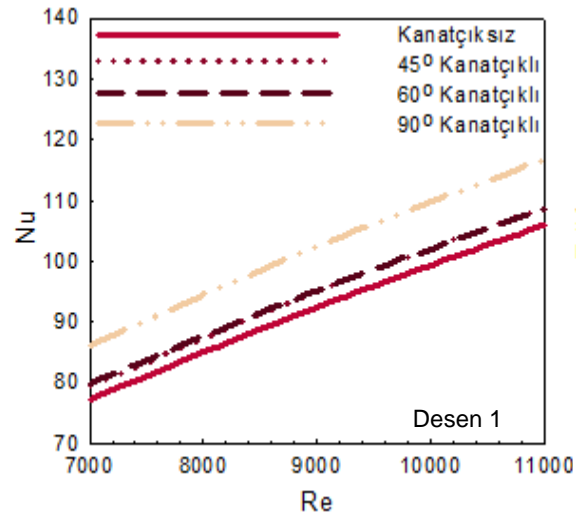
Tablo 2' de ağ sayısının Nu sayısı üzerindeki etkisini belirleyerek kanal için en uygun sayıda ağ elemanı kullanabilmek amacıyla kanatçıksız çarpan jet-çapraz akışlı kanalda ağ sayısının ortalama Nu sayısı üzerindeki etkisi farklı Re sayılarında verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kanatçıksız kanalda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



Şekil 4. Oyuk desenli yüzeyler için farklı kanatçık açılarında ortalama Nu sayısının Re ile değişimi

Şekil 5. Oyuk desenli yüzeyler için farklı kanatçık açılarında ortalama yüzey sıcaklığının Re ile değişimi

Şekil 4' de 60 mm jet-plaka arası mesafede (H) kanatçiksız ve farklı kanatçık açılarında sahip (45°, 60° ve 90°) çarpan jet-çapraz akışlı kanalda oyuk desenli yüzeylere ait ortalama Nu sayısının Re sayısı ile değişimleri kanal girişinden başlamak üzere sırasıyla Desen 1, Desen 2 ve Desen 3 için gösterilmektedir. Tüm desen sıraları için Re sayısının artışıyla desenli yüzeylerden olan ısı transferi arttığından ortalama Nu sayısı değerleri artmaktadır. Bununla birlikte, kanallara kanatçıkların eklenmesi jet akışı ve kanaldan gelen çapraz akışı desenli yüzeyler üzerine daha iyi yönlendirebilmesi nedeniyle Nu sayısında kanatçiksız duruma göre daha fazla artışlar elde edilmesini sağlamaktadır. Desen 1, 45° ve 60° lik kanatçık açılarında daha çok çapraz akışın etkisinde olduğundan dolayı Nu sayısı değerleri birbirine oldukça yakındır. Bununla birlikte, kanatçık açısının 90° ye getirilmesiyle akış desen üzerine daha iyi yönlendirilebilmekle birlikte Desen 1' in sağ tarafındaki Desen 2 ile olan arasındaki oyuktaki akış daha iyi hareketlendirilebildiğinden Nu sayısı değeri artmaktadır. Ayrıca, desenli yüzeylerin üzerindeki oyukta akışın desen ile temasında artış sağlamaktadır. Desen 1 için $Re = 7000$ ' de 90° kanatçık açılı durumda 60° açılı duruma göre %7.77 artış sağlanırken, aynı şartlarda kanatçiksız duruma göre bu artış miktarı %11.51 olmaktadır. Desen 2 için özellikle kanatçiksız ve 45° açılı kanatçıklı çarpan jet-çapraz akışlı kanallarda Desen 1'e çok yakın değerler elde edilirken, kanatçık açısının artışıyla (60° ve 90°) çarpan jet etkisine ilaveten, çapraz akış desen üzerine daha iyi yönlendirilerek jet akış etkisi oluşturulabildiğinden Nu sayısında hem Desen 1' e hem de kanatçiksız ve 45° kanatçık açılı durumlara göre daha yüksek Nu sayısı değerlerine ulaşılmaktadır. Desen 2' de $Re = 9000$ ve 90° kanatçık açısı için Desen 1' e göre %4.76' lık artış sağlanırken, bu artış miktarı kanatçiksız duruma göre %16.83 olmaktadır. Desen 3 analiz edildiğinde ise çarpan jet akış etkisi özellikle bu desen için çalışılan kanal yüksekliğinde (H = 60 mm) diğer desen sıralarına göre daha fazladır. Bunun yanı sıra, kanala eklenen kanatçıklarla çapraz akışın kanal sonundaki bu desen üzerinde jet akış etkisi göstermesiyle Nu sayısı kanatçiksız ve kanatçıklı kanallarda Desen 3 için diğer desen sıralarına göre daha fazla olmaktadır. Desen 3 için $Re = 11000$ değerinde 60° açılı kanatçık kullanıldığında sırasıyla Desen 1 ve Desen 2' ye göre sırasıyla Nu sayısında %12.36 ve %7.65' lik artışlar sağlanmıştır. Aynı şartlarda, Desen 3 için kanatçiksız duruma göre ise %3.82' lik artış elde edilmiştir. Desen 3' ün kanatçiksız durumunda, 60° kanat açılı duruma göre artış değerindeki bu görece düşük değer diğer desen sıralarına göre kanatçiksız durumda dahi artan Nu sayısı değeri nedeniyleledir.

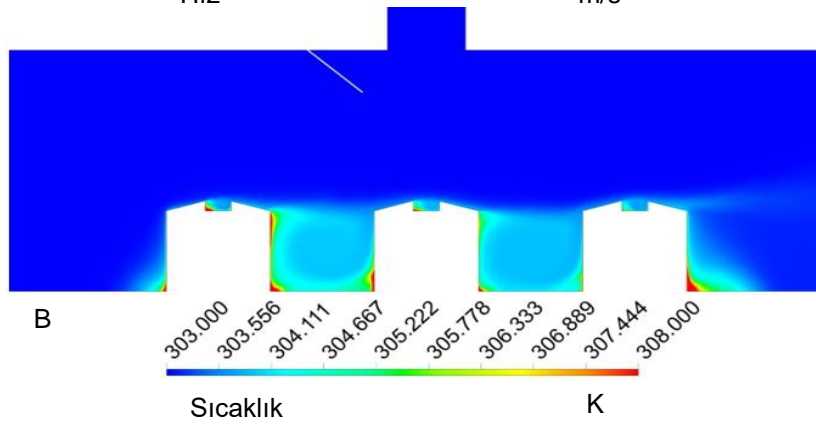
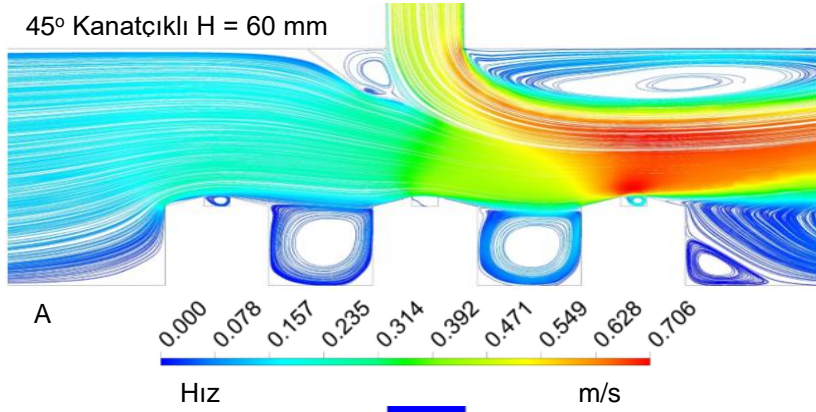
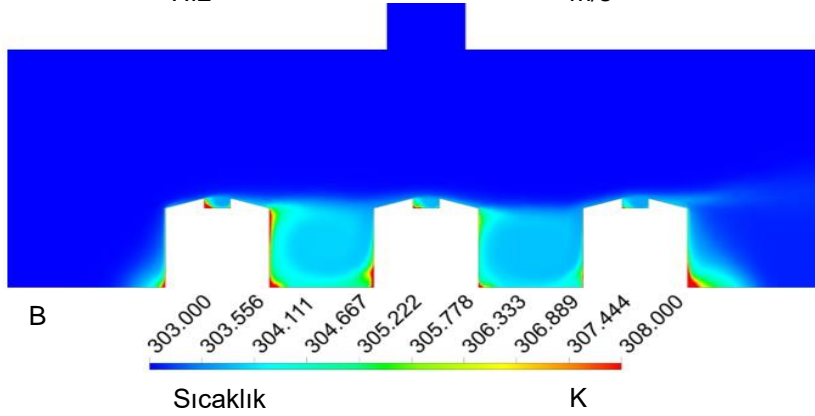
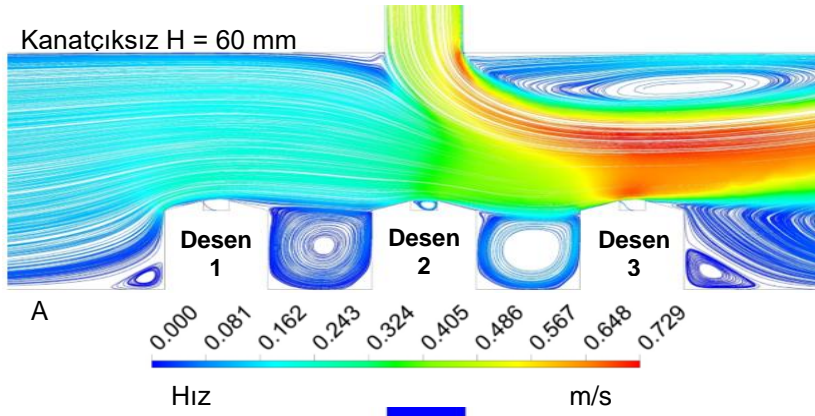
Çarpan jet-çapraz akışlı bir kanalda oyuk desenli yüzeyler için (Desen 1, Desen 2 ve Desen 3) ortalama yüzey sıcaklığının Re sayısı ($Re = 7000, 9000$ ve 11000) ile değişimi Şekil 5' de verilmektedir. Re sayısının artışıyla artan ısı transferine bağlı olarak desenli yüzeylerin sıcaklıkları azalmaktadır. En yüksek ortalama yüzey sıcaklığı tüm desen sıraları için kanatçiksız durumda elde edilmektedir. Bununla birlikte, kanatçık açısı 90° olduğunda yüzeyler üzerindeki çapraz akış-çarpan jet etkisi en yüksek seviyesine ulaştığı için en düşük yüzey sıcaklığı bu açıda görülmektedir. Genel itibarıyla, açının artışıyla desenli yüzeylerin sıcaklık değerleri düşmektedir. Ancak, özellikle Desen 1 ve Desen 3 için çarpan jet-çapraz akışın desen yüzeyleri ve desen aralarındaki oyuk kısımlarındaki hareketlerine bağlı olarak kanatçık açılarında göre yüzey sıcaklık değerleri birbirine yakın olabilmektedir. En düşük yüzey sıcaklık değerlerine Desen 3' de ulaşılmaktadır.

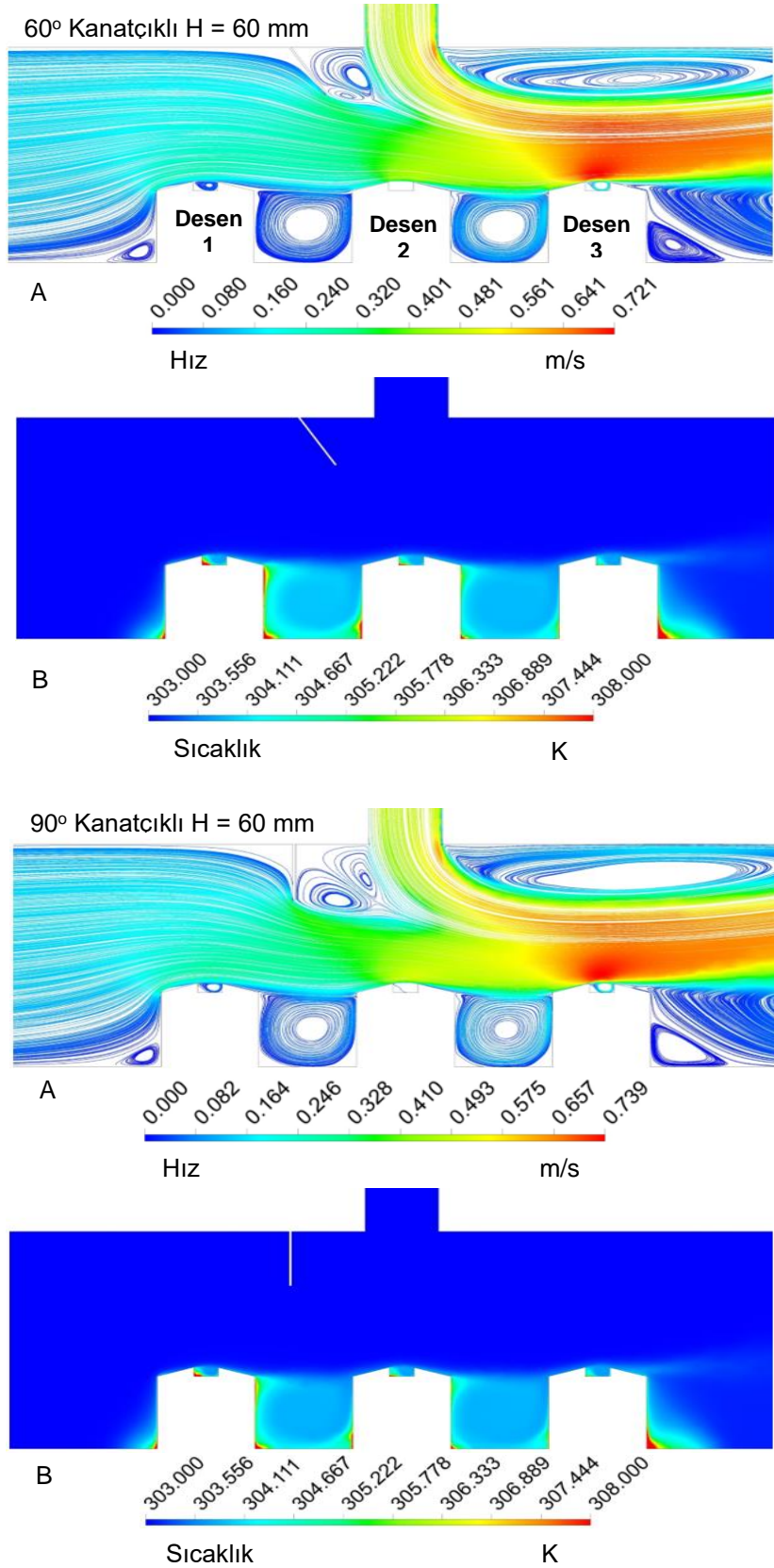
Tablo 3' de her üç oyuk desenli yüzey için farklı Re sayılarında kanatçiksız ve 45°, 60° ve 90° açılı kanatçıklara sahip çarpan jet-çapraz akışlı kanalda ortalama Nu sayısı (Nu_m) ve yüzey sıcaklığının (T_m) değişimi gösterilmektedir. Tablo 3' den de görüldüğü gibi en düşük ortalama Nu sayısına ve buna bağlı olarak da en yüksek ortalama yüzey sıcaklığına kanatçiksız durumdaki çarpan jet-çapraz akışlı kanalda ulaşılmaktadır. Bununla birlikte, eklenen kanatçıklarla Re sayısına bağlı olarak Nu sayısı da artış sergilemektedir. $Re = 11000$ ' de kanatçiksız çarpan jet-çapraz akışlı kanalla kıyaslandığında 90° kanatçık açısına sahip kanalda oyuk desenli yüzeyler için ortalama Nu sayısında %10.42 artış elde edilmiştir. Bunun yanı sıra, kanatçiksız duruma göre kanatçıkların eklenmesi desenli yüzeyler üzerinde akışkanın temasını artırarak yüzey sıcaklığının azalmasını sağlamaktadır.

Tablo 3. Oyuk desenli yüzeylerin tümü için farklı kanatçık açılarında ortalama Nu sayısı (Nu_m) ve yüzey sıcaklık (T_m) değişimleri ($H = 60$ mm)

	Re 7000	Re 9000	Re 11000
Kanatçiksız – Nu_m	80.06	95.82	109.91
45° Kanatçıklı – Nu_m	82.49	98.48	112.66
60° Kanatçıklı – Nu_m	84.57	100.64	114.80
90° Kanatçıklı – Nu_m	90.11	106.77	121.37
Kanatçiksız – T_m (K)	307.07	306.17	305.59
45° Kanatçıklı – T_m (K)	306.91	306.04	305.47
60° Kanatçıklı – T_m (K)	306.76	305.93	305.39
90° Kanatçıklı – T_m (K)	306.38	305.63	305.15

Şekil 6' da $H = 60$ mm kanal yüksekliğinde kanatçiksız ve farklı kanatçık açılı çarpan jet-çapraz akışlı kanallar için A-Hız-akım çizgisi ve B-Sıcaklık konturu dağılımları $Re = 9000$ için sunulmaktadır. Kanatçiksız kanal incelendiğinde kanal girişindeki birinci desen çapraz akış etkisi altındadır. İkinci desene doğru ilerledikçe desen, çarpan jetin de etkisi altına girmektedir. Bu nedenle hızda artış görülmektedir. Kanal sonundaki üçüncü desen ise desen üzerinde oluşan yeniden dolaşım bölgesinin akışkanı üçüncü desenin üzerine baskılamasıyla birlikte hem çarpan jetin hem de çapraz akışın etkisiyle oluşan jet akış ile akışkan temasının en fazla olduğu desen konumundadır. Bu nedenle, sıcaklık konturu dağılımında da görülebildiği gibi desen üzerindeki oyuk kısmı için de sıcaklığın diğer desen sıralarına göre en fazla azaldığı desen özelliğindedir. Ayrıca desen aralarında oluşan oyuklu kanal bölgelerinde akışkan kendi içinde dolaşım halinde olduğundan özellikle kenar bölgelerinde sıcaklıkta artışlar görülmektedir. Ancak üçüncü desen ile ikinci desen arasında çarpan jet-çapraz akışın etkisiyle artan akışkan hareketliliği sıcaklığın azalmasını sağlamıştır. Kanatçık açısının artışıyla birlikte (45°) çapraz akışın desenler üzerine yönlendirilebilmesinin yanında çarpan jetin de yüzeyler üzerindeki etkisinin arttığı hız-akım çizgisi konturu üzerinde görülebilmektedir. Bu duruma paralel olarak yüzey sıcaklık değerleri düşmekte, desenler arasındaki sıcak bölgeler azalmaktadır. Kanatçık açısını daha da artırdığımızda ise (60° ve 90°) kanal girişinden itibaren oyuklu desenler üzerinde jet akışı etkisi daha da artarak desenli yüzeylerden olan ısı transferi artmaktadır. Bu da yüzeyler üzerindeki soğutma etkisini artırıcı etki oluşturarak desenli yüzeylerin sıcaklıklarının güvenli sınırlar içinde kalmasını sağlamaktadır.





Şekil 6. Oyuk desenli yüzeyler için $Re = 9000$ ' de kanatçıksız ve kanatçıklı çarpan jet-çapraz akışlı kanallarda A- Hız konturu B- Sıcaklık konturu dağılımları

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, kanalda bulunan sabit 1000 W/m^2 lik ısı akısına sahip bakır plakalı oyuk desenli yüzeylerden olan ısı transferi çarpan jet-çapraz akış kullanılarak sayısal olarak araştırılmıştır. Sayısal inceleme, sürekli ve üç boyutlu olarak enerji ve Navier-Stokes denklemlerinin $k-\epsilon$ türbülans modeli Ansys-Fluent bilgisayar programının kullanılarak çözülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Kanaldaki akışı ısınmış desenli yüzeylere yönlendirebilmek amacıyla 45° , 60° ve 90° açılı ve D jet giriş çapı uzunluğunda kanatçık, çarpan jet yüzeyiyle yatay olarak kanala yerleştirilmiştir. Kanalda kullanılan akışkan su olup, kanalın alt ve üst yüzeyleri ve kanatçık adyabatiktir. Jet-plaka arası uzaklık 60 mm olup, jet Reynolds sayısı aralığı 7000-11000' dir. Çalışmanın sonuçları, literatürdeki çalışmanın deneysel sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve birbirleriyle tutarlı oldukları belirlenmiştir. Sonuçlar, her bir oyuk desenli yüzey için ortalama Nu sayısı ve yüzey sıcaklık değişimleri olarak sunulmuştur. $Re = 9000$ ' de 45° , 60° ve 90° kanatçık açılı ve kanatçıksız kanallar boyunca çarpan jet-çapraz akışın hız ve sıcaklık konturu dağılımları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Desen 1 için $Re = 7000$ ' de 90° kanatçık açılı durumda 60° açılı duruma göre %7.77 artış sağlanırken, aynı şartlarda kanatçıksız duruma göre bu artış miktarı %11.51 olmaktadır.
- Desen 2' de $Re = 9000$ ve 90° kanatçık açısı için Desen 1' e göre %4.76' lik artış sağlanırken, bu artış miktarı kanatçıksız duruma göre %16.83 olmaktadır.
- Desen 3 için $Re = 11000$ değerinde 60° açılı kanatçık kullanıldığında sırasıyla Desen 1 ve Desen 2' ye göre sırasıyla Nu sayısında %12.36 ve %7.65' lik artışlar sağlanmıştır. Aynı şartlarda, Desen 3 için kanatçıksız duruma göre ise %3.82' lik artış elde edilmiştir.
- Sıcaklık değişimleri incelendiğinde; genel itibariyle, açının artışıyla desenli yüzeylerin sıcaklık değerleri düşmektedir. Ancak, özellikle Desen 1 ve Desen 3 için çarpan jet-çapraz akışın desen yüzeyleri ve desen aralarındaki oyuk kısımlarındaki hareketlerine bağlı olarak kanatçık açılına göre yüzey sıcaklık değerleri birbirine yakın olabilmektedir.
- En düşük yüzey sıcaklık değerlerine Desen 3' de ulaşılmaktadır.
- Her üç oyuk desenli yüzey için ortalama Nu sayısı değeri analiz edildiğinde ise $Re = 11000$ ' de kanatçıksız çarpan jet-çapraz akışlı kanalla kıyaslandığında 90° kanatçık açısına sahip kanalda oyuk desenli yüzeyler için ortalama Nu sayısında %10.42 artış elde edilmiştir.
- Sonuç itibariyle, çarpan jet-çapraz akışlı bir kanala kanatçıkların eklenmesi kanaldan gelen çapraz akışı ısınmış desenli yüzeyler üzerine daha fazla yönlendirerek yüzeyler üzerinden olan ısı transferini ve dolayısıyla soğutma miktarını artırmaktadır. Bununla birlikte, kanatçık açısının artışı hem çarpan jetin hem de çapraz akışın desenli yüzeyler üzerine temasını artırmasının yanı sıra kanal içerisinde çarpan jet akışı etkisini artırarak desen aralarındaki akışkanın da hareketlenmesini iyileştirmektedir. Ayrıca, yüzeylere verilen oyuk desen şekilleri yüzeyler üzerinde akışı engellemeden yüzey üzerinde ek bir akışkan temasına olanak sağlayarak soğutma etkisini artırıcı etki oluşturmaktadır. Bu nedenle, desenli yüzey ve kanal tasarımlarında bu etkinin de düşünülmesi önerilmektedir.

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.