

# MÜHENDİSLİKTE GÜNCEL ARAŞTIRMALAR

EDİTÖR  
DOÇ. DR. SELAHATTİN BARDAK

MART 2022

gece  
kitaplığı

**İmtiyaz Sahibi / Publisher • Yaşar Hız**  
**Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief • Eda Altunel**  
**Editörler / Editors • Doç. Dr. Selahattin BARDAK**  
**Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design • Gece Kitaplığı**  
**Birinci Basım / First Edition • © Mart 2022**  
**ISBN • 978-625-430-040-0**

© copyright

Bu kitabın yayın hakkı Gece Kitaplığı'na aittir.  
Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin  
almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

The right to publish this book belongs to Gece Kitaplığı.  
Citation can not be shown without the source, reproduced in any way  
without permission.

**Gece Kitaplığı / Gece Publishing**  
**Türkiye Adres / Turkey Address:** Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1.  
Sokak Ümit Apt. No: 22/A Çankaya / Ankara / TR  
**Telefon / Phone:** +90 312 384 80 40  
**web:** www.gecekitapligi.com  
**e-mail:** gecekitapligi@gmail.com

**Baskı & Cilt / Printing & Volume**  
**Sertifika / Certificate No: 47083**

# Mühendislikte Güncel Araştırmalar

Mart 2022

Editör

Doç. Dr. Selahattin BARDAK



## **BÖLÜM 2**

### **MİKROÇİPLERİN BİRLEŞİK JET ETKİSİYLE SOĞUTULMALARININ ARAŞTIRILMASI**

*Koray KARABULUT<sup>1</sup>  
Doğan Engin ALNAK<sup>2</sup>*

1 Doç. Dr., Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler M.Y.O., Elektrik ve Enerji Bölümü, Doğalgaz ve Tesisatı Teknolojisi Programı, kkarabulut@cumhuriyet.edu.tr, (Sorumlu Yazar), ORCID: 0000-0001-5680-0988

2 Doç. Dr., Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Enerji Sistemleri A.B.D., dealnak@cumhuriyet.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0126-1483

## 1. GİRİŞ

Mikroçipler, günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte tüm elektronik cihazlarda kullanılmaktadır. Akıllı televizyonlardan, bilgisayarlara, buzdolaplarından, insansız hava araçları ve motorlu taşıtlara kadar günlük hayatın her aşamasında karşımıza çıkmaktadır. Yüksek hıza sahip cihazlar elde edebilmek amacıyla yarı iletken levhalar üzerine çok sayıda yerleştirilen mikroçipler beraberinde çözülmesi gerekli önemli bir problem olan ısınma sorununu gündeme getirmektedir. Bununla birlikte, mikroçiplerin küçültülebilmeleri teknolojinin elverdiği ölçüde soğutulabilme kapasitelerindeki artışa bağlıdır. Bu nedenle, bu elemanların soğutulmasında çeşitli soğutma teknikleri uygulanmaktadır. Çapraz akış ile soğutma yöntemi, bu tekniklerden en yaygın olarak bilinenidir. Bu yöntem, soğuk akışkanın bir fanla tüm bileşenler üzerine gönderilmesi ve bu sayede elektronik bileşenlerinin bütünüünün soğutulması esasına dayanmaktadır. Ancak, bu metot bütün devre elemanlarının soğutulması esasında olduğundan çok yüksek sıcaklıklardaki bileşenlerin soğutulmasında başarısız olabilir. Bir diğer soğutma yöntemi de çarpan jetle soğutmadır. Bu yöntemde, soğuk akışkan lüleyle sıcaklığı yüksek bir elemana yersel şekilde püskürtülür. Çarpan jet ile sıcaklığı yüksek bir devre bileşeninin soğutulması sağlanabilirken, devrenin bütünüünün soğutulmasında yetersiz kalabilmektedir. Bir elektronik devrede sıcaklıkları birbirlerinden oldukça farklı birden çok eleman bulunabilir. Bu sebeple, tek çeşit soğutma yöntemi ile bütün devreyi güvenli şekilde tutabilecek şartlara erişilmekte sıkıntı olabilir. Bu nedenle; çarpan jet ve çapraz soğutma yönteminin bir arada işleme alınması soğutma kapasitesi yüksek faydalı bir durum oluşturabilir. Çapraz akışla devre elemanları bir bütün olarak belirli bir aşamaya kadar soğutulabilirken, devrede sadece çok yüksek sıcaklıktaki elemanlar ise çarpan jet akışıyla noktasal olarak soğutulabilmektedir (Kılıç, 2018; Teamah ve ark., 2015).

Literatürde, yalnızca çapraz akış veya yalnızca jet akışın değerlendirildiği çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışma için incelenen model daha ziyade jet akışa benzediğinden, literatür incelemesinde daha çok jet akış üzerine odaklanılmıştır. Bununla birlikte, literatürde çarpan jetler hakkında birçok sayısal ve deneysel araştırma mevcuttur. Bu çalışmalarda ise temel olarak çarpan jetler için kullanılan akışkanın seçimi, akış alanına ait geometri, türbülanslı model, Reynolds sayısı, jet mesafesi ve ısı akısı gibi değişkenlerin devre bileşenlerinden olan ısı transferine etkileri üzerinde incelemelerde bulunulmuştur. Bunun yanı sıra, çapraz akış ve çarpan jet akışın birlikte kullanıldığı soğutma yöntemleriyle ilgili yapılan çalışmalar sınırlı olup, akışkanın kanal içerisindeki ısınmış yüzeylere yönlendirilmesine ilişkin herhangi bir çalışmaya elde edilen literatürde rastlanmamıştır.

Hadipour ve Zargarabadi (2018) çarpan dairesel bir jet akışının sabit

ısı akılı iç bükey bir yüzey üzerindeki akış ve ısı transferi özelliklerini, değişik jet-plaka arası oranlarında sayısal ve deneysel olarak incelemişlerdir. Farklı H/D (kanal yükseklik/jet giriş çapı) oranları, Re sayıları ve jet çapı değerlerinde araştırmalar gerçekleştirmişlerdir. Sabit Re sayısında jet çapı artışıyla ısı transferinin arttığını görmüşlerdir. Demircan (2019) elektronik devre elemanından olan ısı transferini çapraz akış-çarpan jetle sayısal olarak incelemiştir. Re sayısı, jet - kanal hız oranlarının farklı değerlerinde araştırmalar yapmışlardır. Çalışmasında, Re sayısı ve hız oranlarının iyileşmesiyle ısı transferinin kayda değer oranda arttığı sonucuna ulaşmıştır. Mergen (2014),  $3500 \text{ W/m}^2$  lik sabit ısı akısında elektronik bir elemandan çarpan jet-çapraz akışla olan ısı transferini incelemiştir. Çalışmasında jet Re sayısı/kanal Re sayısı ( $Re_j/Re_k$ ) oranı azaldıkça ısı transferinin düştüğünü saptamıştır. Maghrabie ve ark., (2017) kanal boyunca sıralı yedi adet devre elemanından meydana gelen bir sistemin çarpan jet-çapraz akış kombinasyonu ile ısı transferini sayısal olarak değerlendirmişlerdir. Isı transferi üzerinde jet konumu değişikliğinin etkisini belirlemişlerdir.

Bu çalışmada, sabit ısı akılı bakır plakalı taç desenli yüzeylerin çarpan jet-çapraz akış tekniği ile farklı kanatçık açılarına göre soğutulması sayısal bir yöntem ile incelenmiştir. Sayısal araştırma, sürekli ve üç boyutlu k-ε türbülans modeli düşünülerek enerji ve Navier-Stokes denklemlerinin Ansys-Fluent programı kullanılarak çözülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Kanaldaki akışı sıcaklığı artmış desenli yüzeylere yönlendirmede kullanılan kanatçık açıları  $60^\circ$  ve  $90^\circ$  olup, kanatçığın uzunluğu D jet giriş çapına eşittir. Akışkan olarak kanalda su kullanılmış olup, kanatçık ve kanalın alt ve üst yüzeyleri adiyabatiktir. Desenli yüzeyler,  $1000 \text{ W/m}^2$  lik sabit ısı akısına sahiptir. Jet - plaka arası mesafe (H) 4D olup, akışkan Reynolds sayısı aralığı 5000-9000'dir. Kanala referans alınan çalışmalar gözetilerek üç adet desenli yüzey yerleştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, literatürdeki deneysel çalışmanın sonuçlarıyla kıyaslanmış ve aralarında oldukça iyi bir uyum saptanmıştır. Sonuçlar, taç desenli her bir desen sırası için Nu sayısının ve yüzey sıcaklığının ortalama değişimleri şeklinde verilmiştir. Re sayısının 9000 olduğu değerde kanatçiksız ve  $60^\circ$  ve  $90^\circ$  kanatçık açılı kanallar için kanal boyunca birleşik jet akışın hız ve sıcaklık konturları karşılaştırılmıştır.

## 2. SAYISAL ARAŞTIRMA

Taç şekilli yüzeylerdeki birleşik jet akışın zorlanmış taşınım ısı transferinin çözümünde Ansys-Fluent programı kullanılmıştır.

Akış ve ısı transferi, aşağıdaki gibi gövde kuvvetinin bulunmadığı sürekli, kanaldaki birleşik jet akış nedeniyle gerçekleşen türbülanslı akış için kütle, momentum ve enerjinin korunumu denklemlerinden zaman ortalamalı olarak türetilen diferansiyel denklemlerin çözümleriyle yapılmış-

tır (Wang ve Mujumdar, 2015; Karabulut ve Alnak, 2021; Alnak ve ark., 2021).

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,  $\rho$  akışkanın yoğunluğunu,  $k$  türbülanslı akışım kinetik enerjisini belirtirken,  $u_i$  x, y ve z yönlerindeki hız bileşenlerini,  $\mu$  akışkanın viskozitesini,  $\mu_t$  ( $\mu_t / \mu = 1$ ) türbülanslı kinetik enerji Pr sayısını göstermektedir. Türbülanslı kinetik enerji üretimi ( $G_k$ ) ve türbülanslı akışım viskozitesini gösteren eşitlikler aşağıdaki gibidir (Wang ve Mujumdar, 2015; Karabulut ve Alnak, 2021).

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

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

Türbülans yutulma Pr sayısı  $Pr_\varepsilon$  ile belirtilirken,  $C_{1\varepsilon} = 1.44$ ,  $C_{2\varepsilon} = 1.92$ ,  $C_\mu = 0.09$  ve  $\sigma_\varepsilon = 1.3$  değerlerine sahip olan eşitliklerdeki katsayılarıdır (Saleha, 2015).



Ortalama ısı taşınım transfer katsayısı  $h$ , Eş. 8 ve Nusselt sayısı (Nu) ise Eş. 9 ile hesaplanmaktadır (Incropera, 2007).

$$h = \frac{q''}{T_y - T_a} \quad [8]$$

Nu sayısı

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

Bu eşitliklerde,  $T_a$  ve  $T_y$  sırasıyla akışkanının ve elemanın ortalama olarak yüzey sıcaklıklarını (K),  $k_a$  akışkanın ısı iletim katsayısını (W/m.K),  $3m$  akışkanın temas ettiği elemanın toplam yüzey uzunluğunu (m),  $h$  ve  $h_m$  ise sırasıyla elemanın noktasal ve ortalama ısı taşınım katsayısını (W/m<sup>2</sup>.K),  $n$  ise yüzeye dik yön olup ortalama Nu sayısı ( $Nu_m$ ) aşağıda belirtilen eşitliklerden bulunmaktadır.

Elemanın ortalama ısı taşınım katsayısı

$$h_m = \frac{1}{3m} \int_0^{3m} h dx \quad [10]$$

Elemanın ortalama Nu sayısı

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

Kanalın hidrolik çapı

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

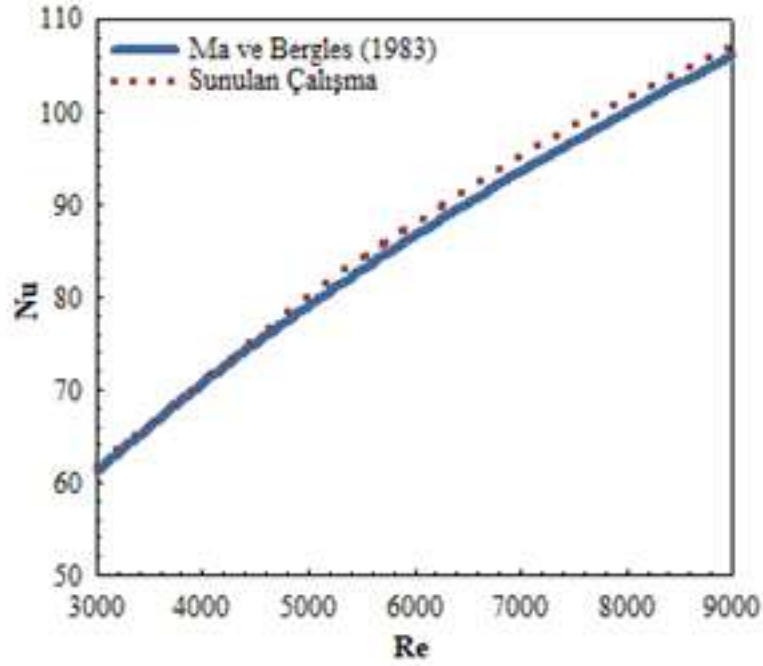
Bu eşitlikte,  $A_k$  ve  $P_k$  sırasıyla kanalın kesit alanı ve ıslak çevresini gösterirken, kanalın yükseklik ve genişliği ise  $H$  ve  $W$  ile temsil edilmektedir. Jet giriş çapı  $D$ , dairesel girişli jet hidrolik çapına  $D_{hjet}$  eşittir.

Kanalın ve Jetin Re sayıları ise sırasıyla Eş. (13) ve (14) kullanılarak belirlenmektedir.

$$Re_k = \frac{\rho_a V_k D_{hk}}{\mu_a} \quad [13]$$

$$Re_j = \frac{\rho_a V_j D}{\mu_a} \quad [14]$$





Şekil 2. Sunulan Çalışma ve Ma ve Bergles (1983)'in Sonuçlarının Kıyaslanması

Ağ sayısına bağlı  $Nu$  sayısının değişimini belirlemek kaydıyla kanaldaki en uygun sayıdaki ağ elemanı belirlenerek kanatçıksız birleşik jet akışlı kanaldaki ağ sayısının  $Nu_m$  üzerindeki etkisi farklı Reynolds sayılarında Tablo 2’de sunulmuştur. Buna göre kanatçıksız kanal için 2022840 adet ağ elemanının güvenilir ve doğru sonucu vereceği bulunmuştur.

Tablo 2. Ağ Elemanı Sayısına Bağlı Olarak  $Nu_m$ 'nin Reynolds Sayısıyla Değişimi

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

Şekil 3’de kanatçıksız ve 60° ve 90° kanatçık açlarına sahip kanallarda bulunan taç desenli bakır plakalı yüzeylerin ortalama  $Nu$  sayılarının farklı  $Re$  sayılarına ( $Re = 5000, 7000$  ve  $9000$ ) göre değişimleri verilmektedir. Kanatçıksız durumda kanaldan gelen çapraz akış ve ikinci sıradaki desen (Desen 2) harici çarpan jet etkili bir şekilde desenli yüzeylere yön-

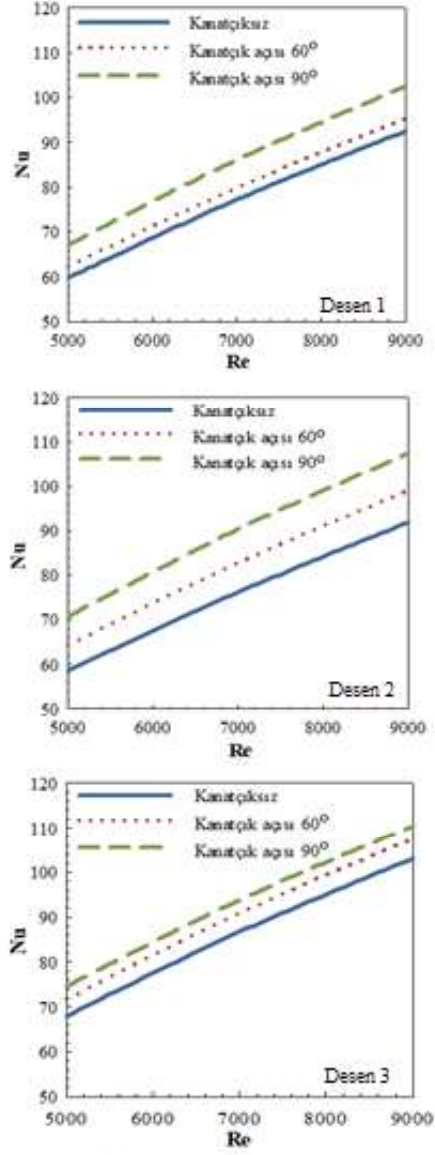
lendirilemediğinden bu durumda tüm desen sıraları için en düşük Nu sayısı değerlerine erişilmektedir. Bunun yanı sıra, kanala kanatçık eklendiğinde çapraz akış-çarpan jet birleşik jet etkisiyle akışkan soğutulacak desenli yüzeylere daha iyi yönlendirilebildiğinden ısı transferi dolayısıyla ortalama Nu sayısı değerleri artmaktadır.  $Re = 7000$  değerinde Desen 2 için  $60^\circ$  ve  $90^\circ$  kanal kanatçık açılı durumlarda kanatçıksız duruma göre sırasıyla %8.67 ve %18.51'lik artışlar elde edilmektedir. Desen 2'de kanatçıksız duruma göre Nu sayısı için elde edilen bu artış miktarları, Desen 1 ve Desen 3'e göre daha fazla olmaktadır. Çünkü kanatçık etkisiyle çapraz akış-çarpan jet birleşik etkisinin en fazla olduğu desen sırası Desen 2 olmaktadır. Nu sayısı grafiklerinden de görülebildiği gibi kanalda son sırada bulunan Desen 3 için kanatçıksız ve kanatçıklı desenler için elde edilen Nu sayısı değerleri birbirlerine yaklaşmaktadır.

Desenli yüzeylere ait ortalama yüzey sıcaklığı değişimleri Re sayısı ve kanal kanatçık durumlarına göre (kanatçıksız,  $60^\circ$  ve  $90^\circ$  kanatçık açılı) Şekil 4'de gösterilmektedir. Re sayısının artışına bağlı olarak yüzeylerden olan ısı transferi oranı arttığından desenli yüzeyler soğumakta ve buna bağlı olarak yüzey sıcaklık değerleri azalmaktadır. Tüm desenli yüzeyler için en yüksek yüzey sıcaklık değerlerine kanatçıksız durumda ulaşılırken, kanala kanatçık eklenmesiyle yüzey sıcaklıkları artan ısı transferiyle azalmaktadır. Ayrıca, kanal kanatçık açısı  $90^\circ$  olduğunda kanatçık ile desenli yüzeyler arasında jet akış etkisi olduğundan kanatçıksız ve  $60^\circ$  kanal kanatçık açılı durumlara göre daha düşük sıcaklık değerlerine ulaşılmaktadır. Ayrıca en düşük yüzey sıcaklık değerlerine  $90^\circ$  kanal kanatçık açılı ikinci sıradaki Desen 2'de erişilmektedir.

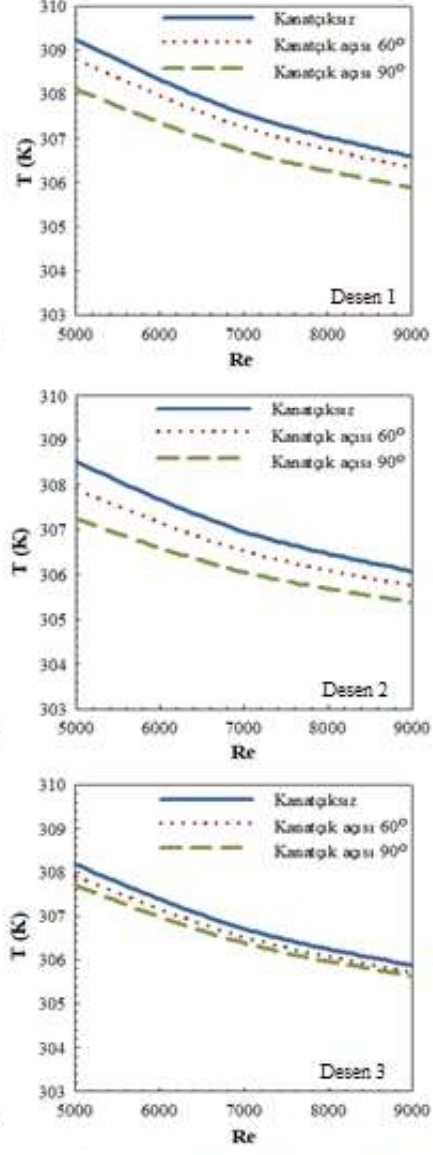
Şekil 5'de  $Re = 9000$  için kanatçıksız ve  $60^\circ$  ve  $90^\circ$  kanatçık açılı kanallarda bulunan ta desenli yüzeylerin (a) hız konturu ve (b) sıcaklık konturunun dağlılımları verilmektedir. Kanatçıksız durumda çapraz akışın olduğu kanal girişine göre birinci sıradaki Desen 1 yalnızca çapraz akışın etkisinde iken ikinci ve üçüncü sıralardaki Desen 2 ve Desen 3 ise çarpan ve çapraz akışın birleşik etkisi altındadırlar. Buna bağlı olarak sıcaklık dağlılımlarından da görülebildiği gibi Desen 2 ve Desen 3 etrafında Desen 1'e göre daha fazla değişim olmaktadır. Kanala arpan jetin olduğu yüzeyle  $60^\circ$  açı yapacak Şekilde kanatçık yerleştirildiğinde çarpan jet-çapraz akış birleşik jet etkisi yüzeylere daha iyi ynlendirilebilirken desenli yüzey-jet arası kesit daraldığından Desen 1 zerindeki jet etkisi de artmaktadır. Ayrıca, kanallarda çarpan jetin üst sağ tarafında oluşan yeniden dolaşım bölgelerinin jet akışı desenli yüzeyler üzerine yönlendirdiği de görülebilmektedir. Bu bölgeler, akışın kendi içerisinde dolaşım halinde olduğu kısımlardır. Bu nedenle, özellikle desenler arası oyuk bölgelerinde eğer yeterli akışkan hareketliliği sağlanamazsa akışkan sıcaklıkları artarak ısı transferine olumsuz yönde katkı sağlanmaktadır. Kanala  $90^\circ$  açı

değerinde kanatçık eklendiğinde ise özellikle Desen 2 üzerinde çarpan jet-çapraz akış birleşik jet etkisi artarken, Desen 1 için de akış kesit alanı daralması nedeniyle çapraz akış desenli yüzey üzerinde jet akış etkisi göstererek yüzey etrafında akışkan sıcaklığını azaltmaktadır. Ayrıca, özellikle Desen 3'ün sağ alt köşelerinde oluşan yeniden dolaşım bölgeleri nedeniyle akışkan sıcaklığındaki artışlar dikkati çekmektedir. Yapılacak uygun desenli yüzey tasarımlarıyla bu etkiler minimuma indirilmelidir.

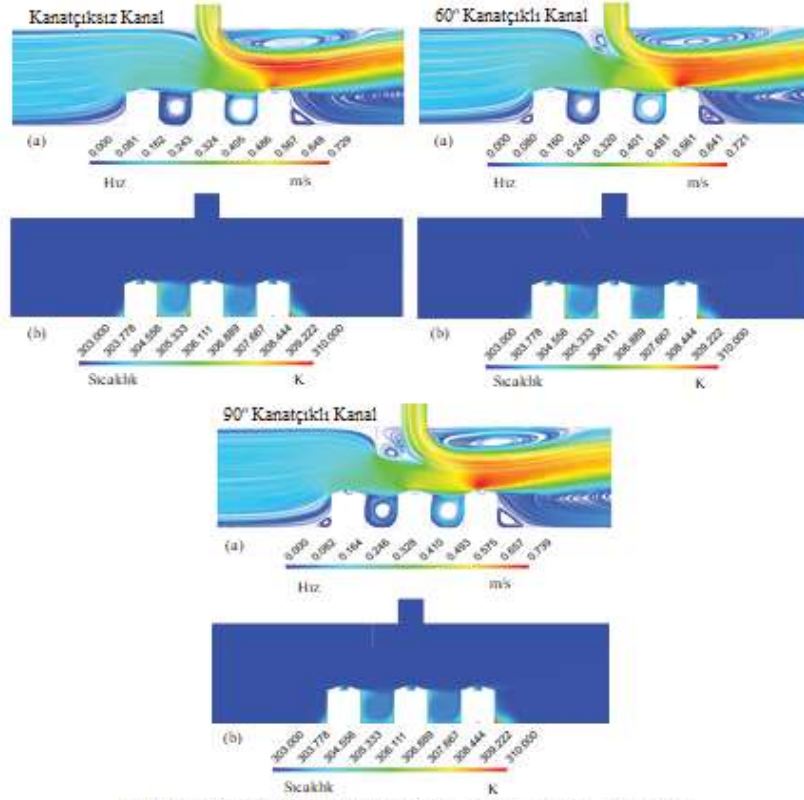
Tablo 3'de kanalda bulunan üç taç desenli yüzeyin ortalama Nu sayısı ( $Nu_m$ ) ve ortalama yüzey sıcaklığı ( $T_m$ ) değerleri sunulmaktadır. Tabloda da görüldüğü gibi kanala kanatçık eklendiğinde ortalama Nu sayısı değeri artarken yüzey sıcaklık değeri düşmektedir. Ayrıca, en yüksek ortalama Nu sayısı değerine çarpan jet-çapraz akış birleşik jet etkisinin en fazla olduğu 90° kanal kanatçık açılı durumda ulaşılmaktadır. 90° kanatçık açılı durumda kanatçiksız duruma göre  $Nu_m$  değerinde %12.54'lük bir artış elde edilirken, bu artış miktarı 60° kanatçık açısı için %5.62 olmaktadır. Buna bağlı olarak da en düşük yüzey sıcaklığı değerlerine 90° kanatçık açılı durumda ulaşılmaktadır.



Şekil 3. Desenli Yüzeylere Ait Ortalama Nu Sayılarının Kanatık ve Desen Sırası Durumuna Göre Re Sayısı ile Değişimi



Şekil 4. Desenli Yüzeylere Ait Ortalama Yüzey Sıcaklıklarının Kanatık ve Desen Sırası Durumuna Göre Re Sayısı ile Değişimi



Şekil 5. Kanatçık Durumuna Göre  $H = 60$  mm ve  $Re = 9000$  için Desenli Yüzeylerin (a) Hız (b) Sıcaklık Konturu Dağılımları

Tablo 3.  $Re = 7000$ 'de Kanaldaki Tüm Desenli Yüzelere Ait Ortalama  $Nu$  Sayısı ( $Nu_m$ ) ve Ortalama Yüzey Sıcaklığı ( $T_m$ ) Değerleri

$Re = 7000$	Taç Desenli Yüzey
Kanatçıksız - $Nu_m$	80.07
60° Kanatçıklı - $Nu_m$	84.57
90° Kanatçıklı - $Nu_m$	90.11
Kanatçıksız - $T_m$ (K)	307.07
60° Kanatçıklı - $T_m$ (K)	306.76
90° Kanatçıklı - $T_m$ (K)	306.38

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, sabit ısı akısı uygulanan bakır plakalı taç desenli yüzeylerin çarpan jet -çapraz akış tekniği ile farklı kanatçık açılımlarına göre soğutulması sayısal olarak araştırılmıştır. Sayısal inceleme amacıyla Ansys-Fluent programı kullanılmıştır. Kanaldaki akışı sıcaklığı artmış desenli yüzeylere yönlendirmede kullanılan kanatçık açımları 60° ve 90° olup, kanatçığın uzunluğu D jet giriş çapına eşittir. Kanalda akışkan olarak su kullanılmış olup, kanatçığın ve kanalın yüzeyleri adiyabatiktir. Desenli yüzeyler, 1000 W/m<sup>2</sup>'lik sabit ısı akısına sahiptir. Jet - plaka arası mesafe



(H) 4D olup, akışkanın Re sayısı aralığı 5000-9000'dir. Kanala referans çalışmalar gözetilerek üç adet desenli yüzey yerleştirilmiştir.

Bu çalışma neticesinde sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Kanatçiksız durumda tüm desen sıraları için en düşük Nu sayısı değerlerine ulaşılmaktadır.

- Kanatçıklı durumda çapraz akış-çarpan jet birleşik jet etkisiyle akışkan soğutulacak desenli yüzeylere daha iyi yönlendirilebildiğinden ısı transferi dolayısıyla ortalama Nu sayısı değerleri artmaktadır.

-  $Re = 7000$  değerinde Desen 2 için  $60^\circ$  ve  $90^\circ$  kanal kanatçık açılı durumlarda kanatçiksız duruma göre sırasıyla %8.67 ve %18.51'lik artışlar elde edilmektedir. Desen 2'de kanatçiksız duruma göre Nu sayısı için elde edilen bu artış miktarları, Desen 1 ve Desen 3'e göre daha fazla olmaktadır.

- Kanatçık etkisiyle çapraz akış-çarpan jet birleşik etkisinin en fazla olduğu desen sırası Desen 2 olmaktadır. Desen 3 için ise kanatçiksız ve kanatçıklı desenler için elde edilen Nu sayısı değerleri birbirlerine yaklaşmaktadır.

- Tüm desenli yüzeyler için en yüksek yüzey sıcaklık değerlerine kanatçiksız durumda ulaşılrken, kanala kanatçık eklenmesiyle yüzey sıcaklıkları artan ısı transferiyle azalmaktadır.

- Kanal kanatçık açısı  $90^\circ$  olduğunda kanatçık ile desenli yüzeyler arasında jet akış etkisi olduğundan kanatçiksız ve  $60^\circ$  kanal kanatçık açılı durumlara göre daha düşük sıcaklık değerlerine ulaşılmaktadır. Bununla birlikte, en düşük yüzey sıcaklık değerlerine  $90^\circ$  kanal kanatçık açılı ikinci sıradaki Desen 2'de erişilmektedir.

-  $90^\circ$  kanatçık açılı durumda kanatçiksız duruma göre desenli yüzeylerin toplam ortalama  $Nu_m$  sayısı değerinde %12.54'lük bir artış elde edilirken, bu artış miktarı  $60^\circ$  kanatçık açısı için %5.62 olmaktadır.

- Sonuç olarak, birleşik jet akışlı bir kanala kanatçıkların konulması kanaldaki akışı sıcaklığı artmış desenler üzerine daha iyi yönlendirerek desenlerden olan ısı transferini iyileştirmektedir. Bu iyileşmede, akışı engellemeyerek desenli yüzeyler üzerine en uygun şekilde gönderebilecek kanat açısı derecesi kadar, kanaldaki akışı yönlendirerek akışın karışmasını ve dolayısıyla ısı transferi miktarını etkileyebilecek desen şekli de önemli olduğundan kanal dizaynlarında bu etkilere de dikkat edilmelidir.

## TEŞEKKÜR

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



## KAYNAKÇA

- Alnak, D.E., Koca, F., Alnak, Y. A., 2021. Numerical investigation of heat transfer from heated surfaces of different shapes. *Journal of Engineering Thermophysics*. 30:494-507.
- Demircan, T., 2019. Numerical analysis of cooling an electronic circuit component with cross flow and jet combination. *Journal of Mechanics*. 35(3):395-404.
- Hadipour, A., Zargarabadi, M.R., 2018. Heat transfer and flow characteristics of impinging jet on a concave surface at small nozzle to surface distances. *Applied Thermal Engineering*. 138:534-541.
- Incropera F.P, Dewit D.P, Bergman T.L, Lavine A.S. Fundamentals of heat and mass transfer (Sixth Edition), 2007, John Wiley&Sons, Indiana, 447-487.
- Karabulut, K., Alnak, D.E., 2021. Investigation of the variation of cooling performance with the channel height in a channel having impinging jet-cross flow. *ISPEC 12 th International Conference on Engineering & Natural Sciences*. 273-290. 24-25 December, Bingöl.
- Kılıç, M., 2018. Elektronik sistemlerin soğutulmasında nanoakışkanlar ve çarpan jetlerin müşterek etkisinin incelenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi. 33(3):121-132.
- Ma, C.F., Bergles, A.E., 1983. Boiling jet impingement cooling of simulated microelectronic chips. *Heat Transfer In Electronic Equipment HTD*. 28:5-12.
- Maghrabie, H.M., Attalla, M., Fawaz, H.E., Khalil, M., 2017. 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.
- Mergen, S., 2014. Kanal içi akış ve çarpan jet ile birlikte elektronik eleman soğutulmasının sayısal olarak incelenmesi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
- Saleha, N., Fadela, N., Abbas, A., 2015. Improving cooling effectiveness by use chamfers on the top of electronic components. *Microelectronics Reliability*. 55:1067-1076.
- Teamah, M.A., Dawood, M.M., Shehata, A., 2015. 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.
- Wang, S.J., Mujumdar, A.S., 2005. A comparative study of five low Reynolds number  $k-\epsilon$  models for impingement heat transfer. *Applied Thermal Engineering*. 25:31-44.

