



Investigation of Heat Transfer Improvement in Combined Jet Flow Channels with Different Height and Fin

Doğan Engin Alnak^{1,a,*}, Koray Karabulut^{2,b,*}

¹ Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Technology, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Türkiye.

² Department of Electricity and Energy, Sivas Vocational School of Technical Sciences, Sivas Cumhuriyet University, Sivas, Türkiye.

*Corresponding author

Research Article

History

Received: 18/03/2022

Accepted: 25/04/2022

ABSTRACT

The combined jet effect, which consists of the impinging jet and the cross flow, has an effect of increasing the heat transfer from the heated electronic elements. In this study, heat transfer from surfaces with a fixed 1000 W/m² heat flux pattern was numerically analyzed with a combined jet flow in a channel with different heights ($H = 3D$ and $4D$), without fin and 90° angled fin. The numerical study was carried out steady and in three dimensional by using the Ansys-Fluent program with $k-\epsilon$ turbulence model. Considering the studies in the literature, three patterned surfaces were placed on the channels in accordance with the channel dimensions. The Re number range of the fluids used in the channel is 7000-11000. The accuracy and acceptability of the results obtained from the study has been proven by using the equation obtained as a result of experimental research. The results of the study were examined comparatively in the finless and finned cases as the average Nu number and surface temperature changes for each pattern in the channels. In addition, the velocity and temperature contour distributions of the combined jet flow were presented for different channel heights, taking into account the interactions between the jet and the pattern. At $Re = 9000$, the Nu_m value was 27.37% higher in $H = 3D$ and for all three patterned surfaces compared to the finless channel in the finned channel, while this increase value was 11.42% in $H = 4D$.

Keywords: Combined jet flow with impinging jet-cross flow, Patterned surface, Numerical heat transfer

Farklı Yükseklikli ve Kanatçıklı Birleşik Jet Akışlı Kanallarda Isı Transferi İyileştirilmesinin İncelenmesi

Süreç

Geliş: 18/03/2022

Kabul: 25/04/2022

Öz

Çarpan jet-çapraz akıştan oluşan birleşik jet etkisi ısınmış elektronik elemanlardan olan ısı transferini artırıcı bir etkiye sahiptir. Bu çalışmada, sabit 1000 W/m² ısı akılı desenli yüzeylerden olan ısı transferi farklı yüksekli ($H = 3D$ ve $4D$), kanatçiksiz ve 90° açılı kanatçıklı kanalda birleşik jet akışı ile sayısal olarak analiz edilmiştir. Sayısal çalışma, sürekli ve üç boyutlu olarak $k-\epsilon$ türbülans modeli Ansys-Fluent programının kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Literatürdeki çalışmalar da göz önüne alınarak kanal boyutlarına uygun olacak şekilde kanallara üçer adet desenli yüzey yerleştirilmiştir. Kanalda kullanılan akışkanların Re sayısı aralığı 7000-11000' dir. Çalışmadan elde edilen sonuçların doğruluğu ve kabul edilebilirliği deneysel araştırmalar sonucu elde edilen eşitlik kullanılarak kanıtlanmıştır. Çalışmanın sonuçları, kanallardaki her bir desen için ortalama Nu sayısı ve yüzey sıcaklığının değişimleri olarak kanatçiksiz ve kanatçıklı durumlarda karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ayrıca, birleşik jet akışının hız ve sıcaklık konturu dağılımları jet-desen arası etkileşimler de göz önüne alınarak farklı kanal yükseklikleri için sunulmuştur. $Re = 9000$ ' de kanatçıklı kanalda kanatçiksiz kanala göre $H = 3D$ ve her üç desenli yüzey için Nu_m değeri %27,37 daha fazla iken $H = 4D$ ' de bu artış değerinin %11,42 olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çarpan jet-çapraz akışlı birleşik jet akış, Desenli yüzey, Sayısal ısı transferi

License



This work is licensed under
Creative Commons Attribution 4.0
International License

dealnak@cumhuriyet.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0003-0126-1483>

kkarabulut@cumhuriyet.edu.tr

<https://orcid.org/0000-0001-5680-0988>

How to Cite: Alnak Engin D, Karabulut K. (2022) Investigation of Heat Transfer Improvement in Combined Jet Flow Channels with Different Height and Fin, Journal of Science and Technology, 1(1): 1-8.

Giriş

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 bilinendir. Bu yöntem, soğuk akışkanın bir fanla tüm bileşenler üzerine gönderilmesi ve bu sayede elektronik bileşenlerinin bütününe 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 bütününe 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 akışı 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 bu çalışmada araştırıldığı gibi ayrıntılı kanal ve ısınmış yüzey tasarımlarının olduğu herhangi bir çalışmaya elde edilen literatürde rastlanamamıştır.

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 W/m² 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. Sabit ısı akısına sahip elektronik bir elemanın çarpan hava jeti ve çapraz akış kombinasyonu ile soğutulması sayısal olarak Öztürk ve Demircan, (2022) tarafından araştırılmıştır. Çalışmalarında farklı jet giriş hızının kanal giriş hızına göre oranları (0, 1, 2 ve 3) ve 0°, 22,5°, 45°, 67,5° ve 90° olmak üzere kanala yerleştirilen kanatçıkların farklı açıları için kanaldaki tek bir elemandan olan ısı transferi incelenmiştir. Kanal yüksekliğinin jet çapına oranı sabit ve 3 olarak alınırken, kanalda akışkan olarak hava kullanılmıştır. Elemandan olan en yüksek ısı transferinin, giriş hızının kanal giriş hızına oranının 3 ve kanatçık açısının 90° olduğu durumda erişildiği belirlenmiştir. 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 desenli yüzeylerden olan ısı transferi çarpan jet-çapraz akış tekniği ile farklı kanal yüksekliklerinde ve kanatçiksiz ve D jet giriş çapına eşit uzunluktaki 90° açılı kanatçıklı durumlara göre sayısal yöntem kullanılarak incelenmiştir. Sayısal araştırma, sürekli ve üç boyutlu k-ε türbülans modeli düşünülerek enerji ve Navier-Stokes denklemlerinin Ansys-Fluent programı kullanılarak çözülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Akışkan olarak kanalda su kullanılmış olup, kanatçık ve kanalın alt ve üst yüzeyleri adyabatiktir. Desenli yüzeyler, 1000 W/m²lik sabit ısı akısına sahiptir. Jet - plaka arası mesafeler (H), 3D ve 4D olup, akışkan Reynolds sayısı aralığı 7000-11000'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, desenli yüzeylerin her bir desen sırası için Nu sayısının ve yüzey sıcaklığının ortalama değişimleri şeklinde verilmiştir. Re sayısının 11000 olduğu değerlerde kanatçiksiz ve kanatçıklı kanallar için H = 3D ve 4D kanal yüksekliklerinde kanal boyunca birleşik jet akışın hız ve sıcaklık konturları karşılaştırılmıştır.

Sayısal Metot

Desenli 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 yapılmıştır (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, ρ akışkanın yoğunluğunu, k türbülanslı akışın kinetik enerjisini belirtilirken, u_i x, y ve z yönlerindeki hız bileşenlerini, μ akışkanın viskozitesini, σ_k ($\sigma_k = 1$) türbülanslı kinetik enerji Pr sayısını göstermektedir. Türbülanslı kinetik enerji üretimi (G_k) ve türbülanslı akışın viskozitesini (μ_t) 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 σ_ε 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 desenli yüzeyin ortalama olarak yüzey sıcaklıklarını (K), k_a akışkanın ısı iletim katsayısını (W/m.K), $3m$ akışkanın temas ettiği yüzeyin toplam yüzey uzunluğunu (m), h ve h_m ise sırasıyla desenli yüzeyin noktasal ve ortalama ısı taşınım katsayısını (W/m².K), n ise yüzeye dik yön olup ortalama Nu sayısı (Nu_m) aşağıda belirtilen eşitliklerden bulunmaktadır.

Desenli yüzeyin ortalama ısı taşınım katsayısı

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

Desenli yüzeyin 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.

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

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

Bu eşitliklerde, akışkanın kanal ve jet akış hızları sırasıyla V_k ve V_j (m/s) ile gösterilmektedir.

Desen Geometrileri

Çalışmadaki çarpan jet-çapraz akışlı kanal ve kanaldaki desenli yüzeylerin ölçüleri ve sınır şartları Şekil 1' de verilirken, kanalın boyutsal ölçüleri ise Tablo 1' de sunulmuştur. Bunun yanı sıra, bu çalışmadaki kabuller şu şekildedir: a) Sürekli, üç boyutlu ve türbülanslı akış hacmi kullanılmıştır, b) Sıkıştırılmaz akışkan olarak su, hem jet hem de çapraz akış akışkanı olarak kullanılmıştır, c) Akışkanının ısı özellikleri sabit olup, sıcaklıktan bağımsızdır, d) Kanalın ve kanatçığın yüzeyleri adyabatiktir, e) Akışkan olarak kullanılan su ve desenli yüzeylerde ısı kaynağı bulunmamaktadır. Ayrıca, birleşik jet akışlı kanalların sayısal hesaplamalarında kullanılan düzgün dörtüzlü ağ yapısı Şekil 2' de gösterilmektedir.

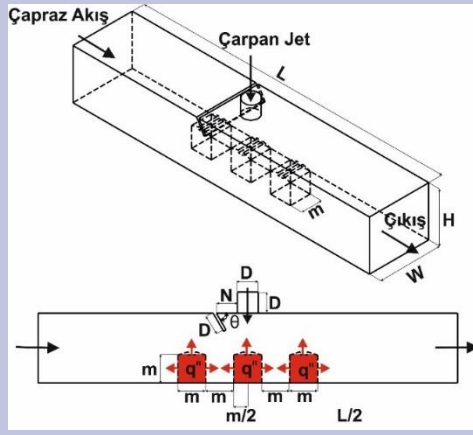
Bulgular ve Tartışma

Çalışmada, Şekil 3' de gösterildiği gibi sadece jet akışın olduğu durumda farklı Reynolds sayılarında incelemelerde bulunularak ulaşılan sonuçlar ile Ma ve Bergles (1983)' in deneysel incelemeleri sonucunda ulaştıkları bağıntı kullanılarak ($\overline{Nu} = 1.29 Re^{0.5} Pr^{0.4}$) edinilen sonuçlar kendi aralarında karşılaştırılmış ve Ma ve Bergles (1983)' in deneysel sonuçları ile sunulan çalışmanın sonuçlarının uyumlu oldukları belirlenmiştir.

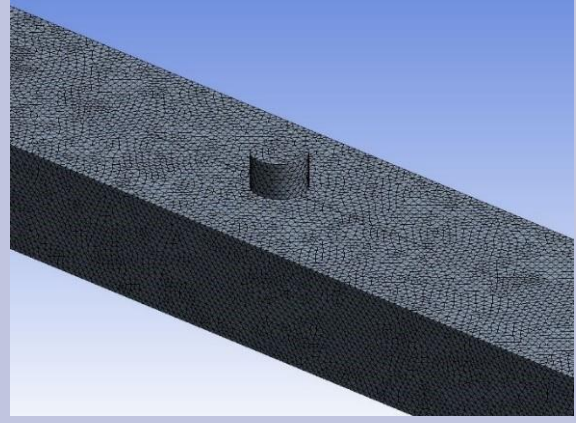
Tablo 1. Kanaldaki boyutsal ölçüler

Table 1. Dimensional dimensions in the channel

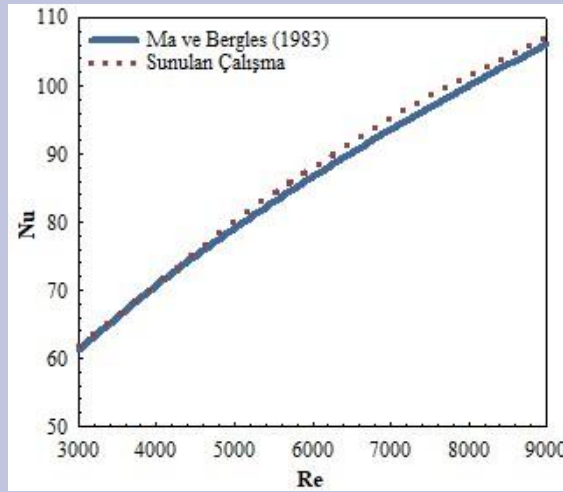
Kanalın Ölçülendirilmesi	
D	15 mm
L	66D
W	4D
H	3D, 4D
m	20 mm
θ	90°
N	D



Şekil 1. Birleşik Jet Akışlı Desenli Yüzeylerin Olduğu Kanalların Görünüşleri
Figure 1. Views of Channels with Combined Jet Flow Patterned Surfaces



Şekil 2. Kanalda kullanılan düzgün dörtyüzlü ağ yapısının gösterimi
Figure 2. Display of tetrahedral mesh structure used in the channel



Şekil 3. Sunulan Çalışma ve Ma ve Bergles (1983)'in Sonuçlarının Kıyaslanması
Figure 3. Comparison of the Presented Study and the Results of Ma and Bergles (1983)

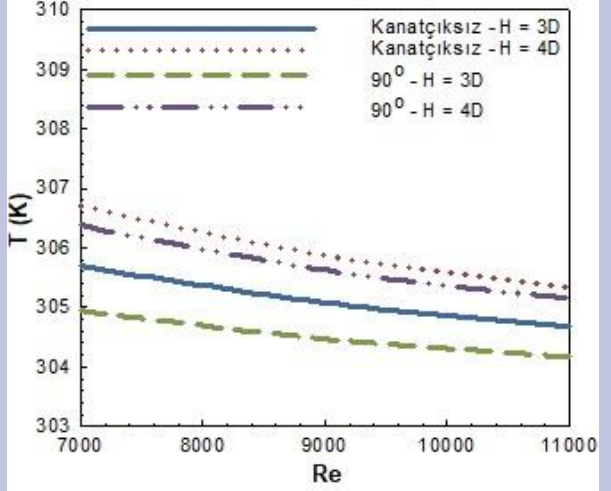
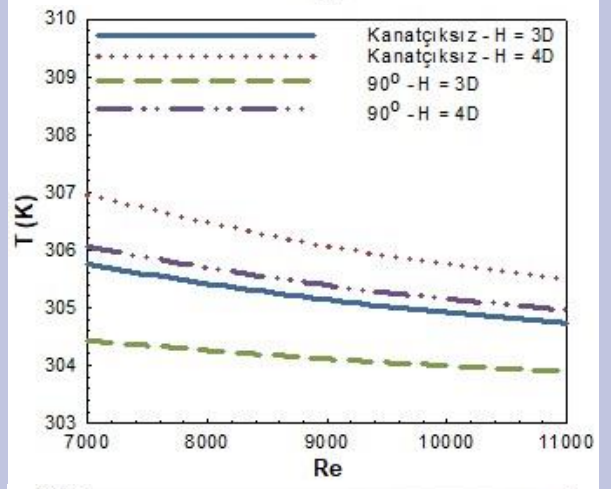
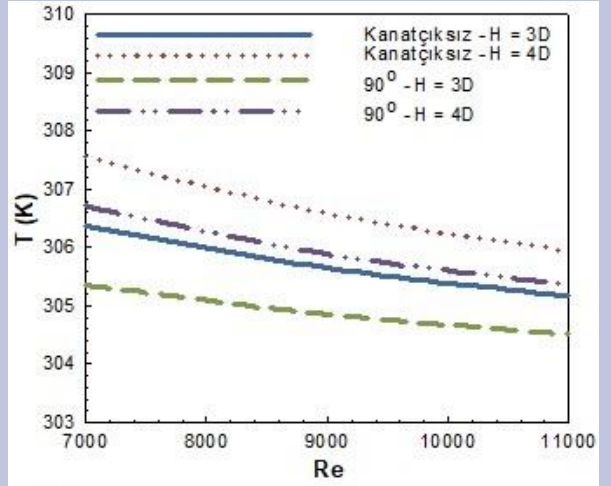
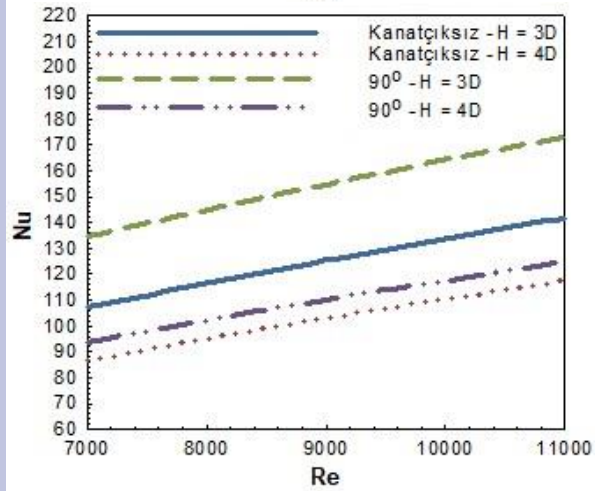
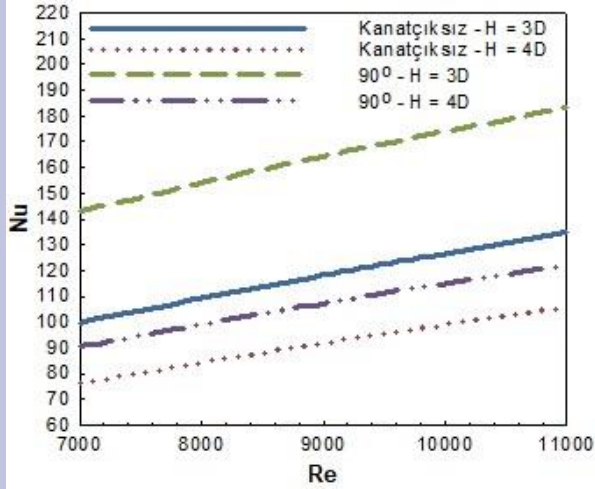
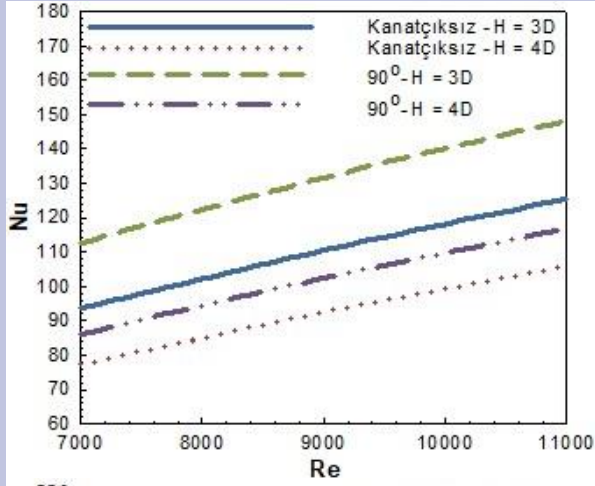
Tablo 2. Ağ Elemanı Sayısına Bağlı Olarak Nu_m ' nin Reynolds Sayısıyla Değişimi
Table 2. Variation of Nu_m with Reynolds Number Depending on the Number of Mesh Elements

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

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

Şekil 4' de kanatçiksiz ve 90° kanatçıklı kanallarda bulunan desenli yüzeylerin kanal girişinden başlamak üzere çarpın jet akış - çarpın jet akışlı birleşik jet akışı altında ortalama Nu sayılarının Re sayısı ile değişimleri kanal yüksekliğine (H) bağlı olarak sunulmaktadır. Kanal

yüksekliğinin artışı kanallardaki birleşik jetin desenli yüzeyler üzerindeki etkisini azaltması nedeniyle desenlerden olan ısı transferi ve dolayısıyla Nu sayısı değerleri azalmaktadır. Bununla birlikte, kanala kanatçık eklenmesi birleşik jet akışı desenler üzerine daha iyi yönlendirerek jet akışkanı ve desenler arası ısı transferini artırdığından Nu sayısı değerleri artmaktadır. Buna bağlı olarak, tüm desen sıraları için en düşük Nu sayısı değerlerine kanatçiksiz ve $H = 4D$ kanal yüksekliği mesafesinde ulaşılırken, en yüksek Nu sayısı değerleri ise 90° kanatçıklı kanalda ve $H = 3D$ mesafede elde edilmektedir.



Şekil 4. Her bir desenli yüzey sırası için ortalama Nu sayısının Re sayısı ile değişimi

Figure 4. Variation of mean Nu number with Re number for each patterned surface row

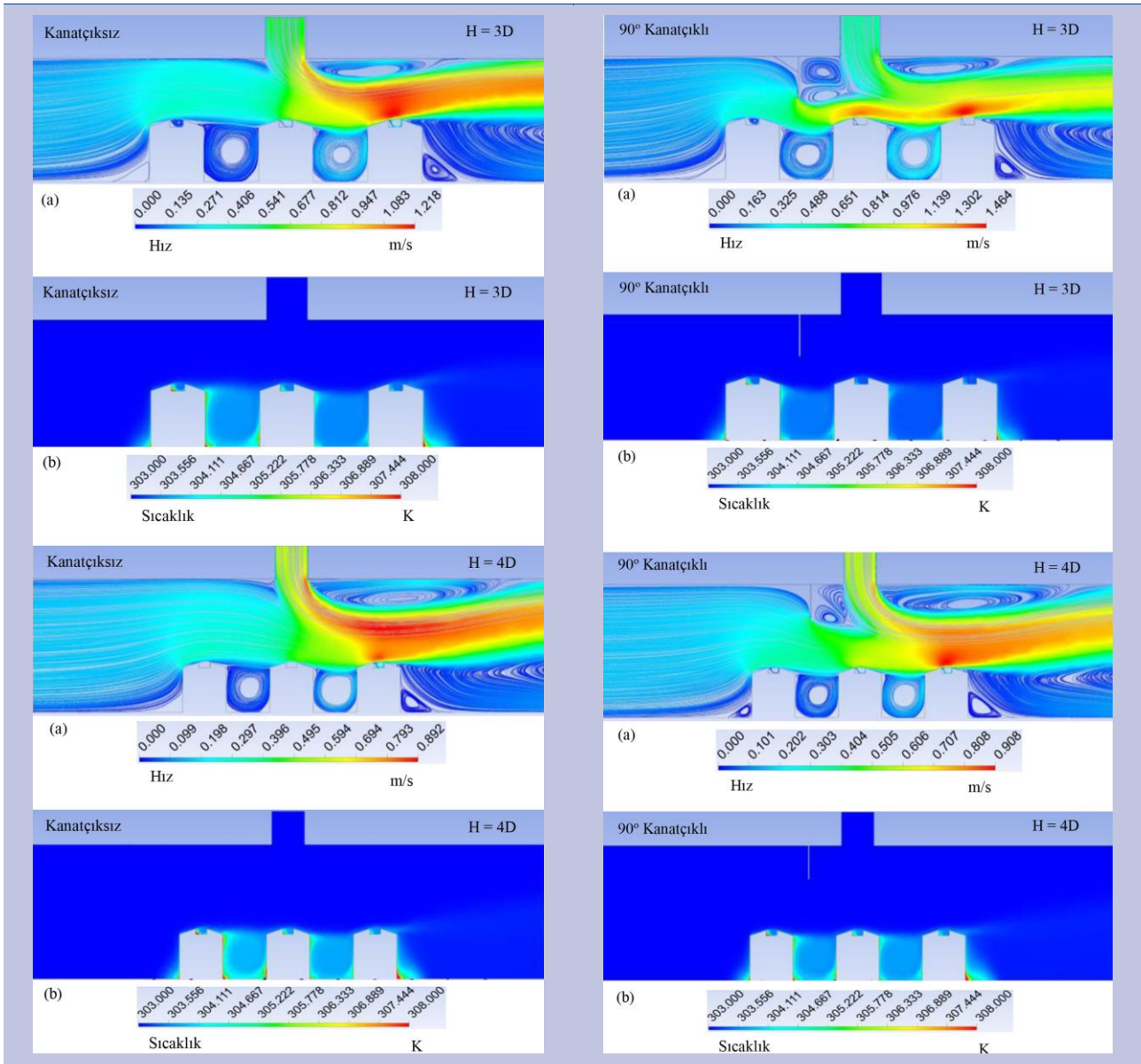
Şekil 5. Her bir desenli yüzey sırası için ortalama yüzey sıcaklığının Re sayısı ile değişimi

Figure 5. Variation of mean surface temperature with Re number for each patterned surface row

Tablo 3. Kanaldaki tüm desenli yüzeyler için ortalama Nu sayısı (Nu_m) ve yüzey sıcaklığı (T_m) değişimi

Table 3. Change of mean Nu number (Nu_m) and surface temperature (T_m) for all patterned surfaces in the channel

Re = 9000	Nu_m	T_m (K)
Kanatçiksız – H = 3D	118,03	305,28
Kanatçiksız – H = 4D	95,82	306,17
90° Kanatçıklı - H = 3D	150,34	304,48
90° Kanatçıklı – H = 4D	106,77	305,63



Şekil 6. Desenli yüzeyler için kanatçksız ve 90o kanatçklı kanallarda H = 3D ve H = 4D kanal yüksekliklerinde (a) Hız (b) Sıcaklık konturu dağılımları

Figure 6. For patterned surfaces in channels without fin and with 90o fin H = 3D and H = 4D channel heights (a) Velocity (b) Temperature contour distributions

Desen 1 için Reynolds sayısının 9000 olduğu değerde kanatçksız durumda H = 3D mesafede H = 4D' lik mesafeye göre Nu sayısında %19,43 artış elde edilirken, aynı desen sırasında ve şartlarda kanatçklı kanal için Nu sayısındaki bu artış değeri %28,39 olmaktadır. İkinci sıradaki Desen 2 incelendiğinde ise kanala eklenen kanatçık sayesinde doğrudan çarpan jetin etkisi altında olan bu desen sırasına ek olarak, kanal girişinden gelen çapraz akışın da katkısıyla oluşan birleşik jet akışının bu desen üzerindeki etkisiyle akışkanla desen arası ısı transferi arttığından Nu sayısı değeri de artmaktadır. Re = 7000' de H = 3D mesafede 90° kanatçklı kanalda Desen 2' de Desen 1'e göre ortalama Nu sayısında %26,87' lik artış bulunmaktadır. Son sıradaki Desen 3' de ise H = 3D için kanatçklı durumda Desen 2' ye göre azalan jet etkisi nedeniyle Nu sayısında azalma görülürken, hem kanatçksız hem de H = 4D kanal mesafesinde akışkanın kanal içerisindeki hareketi nedeniyle

Desen 2' ye göre daha fazla Nu sayısı değerleri elde edilmektedir. Desen 3' de ve Re = 9000' de kanatçklı durumda H = 3D için Desen 2' ye göre %6,17' lik azalma görülürken aynı şartlarda kanatçksız durumda Desen 3 için Desen 2' ye göre %6,14' lük artış elde edilmektedir.

Desenlerin kanaldaki diziliş sıralarına göre ortalama yüzey sıcaklıklarının Re sayısına göre değişimleri farklı kanal yüksekliklerinde (H = 3D ve 4D) kanatçksız ve 90° kanatçklı birleşik jet akışlı kanallar için Şekil 5' de gösterilmektedir. Re sayısının artmasına bağlı olarak kanaldaki akışkanın karışması artmakta ve dolayısıyla desenlerden olan ısı transferi artarak desenlerin soğumaları iyileşmektedir. Bunun yanı sıra, en düşük yüzey sıcaklığı değerlerine tüm desen sıraları için kanatçklı kanalda H = 3D kanal yüksekliği mesafesinde ulaşılmaktadır. Kanatçklı kanal için en düşük yüzey sıcaklığı değerlerine H = 3D mesafede ve Desen 2 için ulaşılrken,

kanatçksız kanallarda ise aynı kanal mesafesinde ($H = 3D$) Desen 3' de ulaşılmaktadır.

Tablo 3' de birleşik jet akışlı kanatçksız ve kanatçıklı (90°) kanallarda bulunan tüm desenli yüzeyler için ortalama Nu sayısı (Nu_m) ve ortalama yüzey sıcaklığı (T_m) değişimleri $H = 3D$ ve $H = 4D$ için $Re = 9000$ değerinde verilmektedir. Kanatçıklı kanalda kanatçksız kanala göre $H = 3D$ ' de Nu_m değeri %27,37 daha fazla iken $H = 4D$ ' de bu artış değeri %11,42 olmaktadır. Buna bağlı olarak da T_m değerleri kanatçıklı kanallarda kanatçksız olanlara göre daha düşüktür. Bu da bize desenlerin soğumasının kanatçıklı kanallarda daha iyi olduğunu kanıtlayıcı bir etki sunmaktadır. Aynı zamanda, H' in artışının Nu_m değerini azalttığı ve T_m değerini artırdığı Tablo 3' den kolaylıkla görülebilmektedir.

Şekil 6' da desenli yüzeyler için Reynolds sayısının 11000 olduğu değerde $H = 3D$ ve $4D$ kanal mesafelerinde kanatçksız ve 90° kanatçıklı kanatçıklı birleşik jet akışlı kanallarda (a) hız ve (b) sıcaklık konturu dağılımları sunulmaktadır. Kanatçksız durumda her iki kanal yüksekliğinde de Desen 1 kanaldan gelen çapraz akışın baskın etkisi altında iken Desen 2 ve Desen 3 çapraz-çarpan birleşik jet akışı etkisi altında olduğu Şekil 5' deki hız konturu dağılımlarında bu desenler üzerindeki birleşik jet akışının hızının artışından görülebilmektedir. Bununla birlikte, desen aralarında oluşan yeniden dolaşım akışı bölgeleri nedeniyle bu bölgelerde akışkanda sıcaklık artışları görülmektedir ki bu durum desenlerin verimli bir şekilde soğumasını engellemektedir. $H = 4D$ olduğunda ise desenler üzerinde azalan birleşik jet akışı nedeniyle hız konturu dağılımında görülebildiği gibi birleşik jetin hızı azalmaktadır. Bunun sonucunda desenlerde sıcaklık artışları olmaktadır. Kanala kanatçık eklendiğinde birleşik jet akışı desenler üzerine etkin bir şekilde yönlendirilebildiğinden Desen 1' den başlamak üzere Desen 3' e doğru desenler üzerinde birleşik jet akışı hızlanmakta ve böylece desenlerin soğuması iyileşmektedir. Sıcaklık konturu dağılımlarından da görülebildiği gibi kanatçıklı birlikte desen aralarındaki boşluklarda da akışkanda hız artışları elde edildiğinden akışkan ve dolayısıyla desenlerin sıcaklıkları azalmaktadır. Böylece, kanatçığın kullanıldığı kanallarda ısınmış elemanlar daha güvenli sıcaklık sınırları aralığında tutulabilmektedir.

Genel Sonuçlar ve Değerlendirme

Bu çalışmada, sabit ısı akısı uygulanan bakır plakalı desenli yüzeylerden olan ısı transferi, çarpan jet-çapraz akış tekniği ile farklı kanal yüksekliklerine göre sayısal olarak araştırılmıştır. Sayısal inceleme amacıyla Ansys-Fluent programı kullanılmıştır. Kanaldaki akışı sıcaklığı artmış desenli yüzeylere yönlendirmede kullanılan kanatçık açısı 90° olup, kanatçığın uzunluğu D jet girişi çapına eşittir. Kanalda akışkan olarak su kullanılmış olup, kanatçığın ve kanalın yüzeyleri adyabatiktir. Desenli yüzeyler, 1000 W/m^2 lik sabit ısı akısına sahiptir. Jet-plaka arası mesafeler (H) $3D$ ve $4D$ olup, akışkanın Re sayısı aralığı $7000-11000$ ' dir. Kanala referans çalışmalar gözetilerek üç adet desenli yüzey yerleştirilmiştir.

Bu çalışma neticesinde sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Kanal yüksekliğinin artışı kanallardaki birleşik jetin desenli yüzeyler üzerindeki etkisini azaltması nedeniyle desenlerden olan ısı transferi ve dolayısıyla Nu sayısı değerleri azalmaktadır.
- Kanala kanatçık eklenmesi, birleşik jet akışı desenli yüzeyler üzerine daha iyi yönlendirerek jet akışkanı ve desenler arası ısı transferini artırdığından Nu sayısı değerleri artmaktadır.
- Tüm desen sıraları için en düşük Nu sayısı değerlerine kanatçksız ve $H = 4D$ kanal yüksekliği mesafesinde ulaşıırken, en yüksek Nu sayısı değerleri ise 90° kanatçıklı kanalda ve $H = 3D$ mesafede elde edilmektedir.
- Desen 1 için Reynolds sayısının 9000 olduğu değerde kanatçksız durumda $H = 3D$ mesafede $H = 4D$ lik mesafeye göre Nu sayısında %19,43 artış elde edilirken, aynı desen sırasında ve şartlarda kanatçıklı kanal için Nu sayısındaki bu artış değeri %28,39 olmaktadır.
- Desen 2 incelendiğinde birleşik jet akışının bu desen üzerindeki artan etkisiyle akışkanla desen arası ısı transferi arttığından Nu sayısı değeri de artmaktadır.
- $Re = 7000$ ' de $H = 3D$ mesafede 90° kanatçıklı kanalda Desen 2' de Desen 1'e göre ortalama Nu sayısında %26,87' lik artış bulunmaktadır.
- Son sıradaki Desen 3' de ise $H = 3D$ için kanatçıklı durumda Desen 2' ye göre azalan jet etkisi nedeniyle Nu sayısında azalma görülürken, hem kanatçksız hem de $H = 4D$ kanal mesafesinde Desen 2' ye göre daha yüksek Nu sayısı değerleri elde edilmektedir.
- Desen 3' de ve $Re = 9000$ ' de kanatçıklı durumda $H = 3D$ için Desen 2' ye göre %6,17' lik azalma görülürken aynı şartlarda kanatçksız durumda Desen 3 için Desen 2' ye göre %6,14' lük artış elde edilmektedir.
- En düşük yüzey sıcaklığı değerlerine tüm desen sıraları için kanatçıklı kanalda $H = 3D$ kanal yüksekliği mesafesinde ulaşılmaktadır.
- Kanatçıklı kanal için en düşük yüzey sıcaklığı değerlerine $H = 3D$ mesafede ve Desen 2 için ulaşıırken, kanatçksız kanallarda ise aynı kanal mesafesinde ($H = 3D$) Desen 3' de ulaşılmaktadır.
- Kanatçıklı kanalda kanatçksız kanala göre $H = 3D$ de kanaldaki her üç desenli yüzey için elde edilen Nu_m değeri %27,37 daha fazla iken $H = 4D$ de bu artış değeri %11,42 olmaktadır. Buna bağlı olarak da T_m değerleri kanatçıklı kanallarda kanatçksız olanlara göre daha düşüktür.
- Hız konturu dağılımlarında, kanatçksız durumda her iki kanal yüksekliğinde de Desen 1 kanaldan gelen çapraz akışın baskın etkisi altında iken Desen 2 ve Desen 3 çapraz-çarpan birleşik jet akışı etkisi altında olduğu bu desenler üzerindeki birleşik jet akışı hızının artışından görülebilmektedir.
- Desen aralarında oluşan yeniden dolaşım akışı bölgeleri nedeniyle bu bölgelerde akışkanda sıcaklık artışları görülmektedir ki bu durum desenlerin verimli bir şekilde soğumasını engellemektedir.

- H = 4D olduğunda ise desenler üzerinde azalan birleşik jet akışı nedeniyle hız konturu dağılımında görülebildiği gibi birleşik jetin hızı azalmakta ve desenli yüzeylerde sıcaklık artışları olmaktadır.
- Kanala kanatçık eklendiğinde birleşik jet akışı desenler üzerine etkin bir şekilde yönlendirilebildiğinden Desen 1' den başlamak üzere Desen 3' e doğru desenler üzerinde birleşik jet akışı hızlanmakta ve böylece desenlerin soğuması iyileşmektedir.
- Sıcaklık konturu dağılımlarından da görülebildiği kanatçıkla birlikte desen aralarındaki boşluklarda da akışkanda hız artışları elde edildiğinden akışkan ve dolayısıyla desenlerin sıcaklıkları azalmaktadır. Böylece, kanatçığın kullanıldığı kanallarda ısınmış elemanlar daha güvenli sıcaklık sınırları aralığında tutulabilmektedir.

Teşekkür

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

Kaynaklar

- Alnak DE, Koca F, Alnak Y. A., 2021. Numerical investigation of heat transfer from heated surfaces of different shapes. *Journal of Engineering Thermophysics*, 30:494-507. doi.org/10.1134/S1810232821030127
- Demircan T. 2019. Numerical analysis of cooling an electronic circuit component with cross flow and jet combination. *Journal of Mechanics*, 35(3):395-404. doi.org/10.1017/jmech.2018.11
- Hadipour A, Zargarabadi MR. 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. doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.04.086
- Incropera FP, Dewit DP, Bergman TL, Lavine AS. 2007. *Fundamentals of heat and mass transfer (Sixth Edition)*, John Wiley&Sons, Indiana, 447-487.

- Karabulut K, Alnak DE, 2021. Investigation of the Variation of Cooling Performance with the Channel Height in A Channel Having Impinging Jet-Cross Flow. *Proceedings of ISPEC 12th International Conference on Engineering & Natural Sciences*. 24-25 December, Bingöl, s. 273-290.
- Kılıç M. 2018. Elektronik sistemlerin soğutulmasında nanoakışkanlar ve çarpan jetlerin müşterek etkisinin incelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(3):121-132. doi.org/10.21605/cukurovaummfd.500597
- Ma CF, Bergles AE, 1983. Boiling jet impingement cooling of simulated microelectronic chips. *Heat Transfer In Electronic Equipment HTD*, 28:5-12.
- Maghrabie HM, Attalla M, Fawaz HE, 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. doi.org/10.1016/j.aej.2016.12.022
- Mergen S, 2014. Kanal İçi Akış ve Çarpan Jet ile Birlikte Elektronik Eleman Soğutulmasının Sayısal Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Saleha N, Fadela N, Abbes A. 2015. Improving cooling effectiveness by use chamfers on the top of electronic components. *Microelectronics Reliability*, 55:1067-1076. doi.org/10.1016/j.microrel.2015.04.006
- Öztürk SM, Demircan T. 2022. Numerical analysis of the effects of fin angle on flow and heat transfer characteristics for cooling an electronic component with impinging jet and cross-flow combination. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 37(1): 57-74. doi.org/10.17341/gazimmfd.799793
- Teamah MA, Dawood MM, 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. doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2015.12.012
- Wang SJ, Mujumdar AS, 2005. A comparative study of five low Reynolds number k-ε models for impingement heat transfer. *Applied Thermal Engineering*, 25:31-44. doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2004.06.001