DOI: 10.17482/uumfd.1527607

KENARLARINDA ISINMIŞ EŞKENAR ÜÇGEN ENGEL ÇİFTİ BULUNAN DİKEY BİR KANALDAKİ KARIŞIK TAŞINIM ISI TRANSFERİNİN ARTIRILMASININ İNCELENMESİ

Koray KARABULUT *[®] Yeliz ALNAK **[®]

Alınma: 03.08.2024 ; düzeltme: 15.10.2024 ; kabul: 18.11.2024

Öz: Bu çalışmada, birbirine paralel dikey levhalar üzerinde ikişer tane olmak üzere simetrik şekilde toplamda dört tane eşkenar üçgen geometrili sabit ısı akılı elektronik engel bileşenlerinin bulunduğu bir kanalda karışık taşınımla ısı transferi ve engeller etrafındaki akışkan hareketi sayısal olarak araştırılmıştır. Sayısal inceleme, zamandan bağımsız, laminer ve iki boyutlu olarak süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinin Ansys-Fluent bilgisayar programı kullanılarak çözülmesiyle yapılmıştır. Akışın kanal içerisindeki ısınmış engel elemanlarına yönlendirilmesi amacıyla kanalın üst giriş yüzeylerine 30°, 45° ve 60° açılarında akış yönlendirici kanatçıklar yerleştirilmiştir. Kanalın engel elemanı hariç diğer yüzeyleri ve akış yönlendiriciler adyabatiktir. Kanalda çalışma akışkanı olarak 293 K giriş sıcaklığında su kullanılmıştır. Çalışmadaki Reynolds sayısı (Re) değerleri 100, 300 ve 500 iken; değiştirilmiş Richardson sayısı (Ri*) aralığı 50-150 ve Akış Geçiş Mesafesi (AGM) oranları 2 ve 4 olarak alınmıştır. Çalışmanın sonuçları, literatürdeki deneysel ve sayısal sonuçlarla karşılaştırıldığında oldukça uyumlu oldukları görülmüştür. Ri*=50, Re=100 ve AGM=4 için 60° açılı kanalda elde edilen Nu_m değerinin AGM=2'deki değerinden %32,88 daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, AGM=2, Re=500 ve Ri*=150 için kanatçıksız durumla kıyaslandığında 30°, 45° ve 60° açılı kanatçıklı durumlarda Δp değerlerinin sırasıyla %9,06, %9,04 ve %9,66 daha yüksek oldukları bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Karışık taşınım, Kanatçık, Richardson sayısı, Eşkenar üçgen engel, Isı transferi

Investigation of the Increase of Mixed Convection Heat Transfer in a Vertical Channel with Warmed Equilateral Triangular Obstacle Pair on Edges

Abstract: In this study, mixed convection heat transfer and fluid movement around the obstacles were numerically investigated in a channel where electronic barrier components have a total of four equilateral triangular geometries with constant heat flux, two symmetrically on parallel vertical plates. Using the Ansys-Fluent computer program, a numerical analysis was carried out by solving steady, laminar and two-dimensional continuity, momentum and energy equations. Flow-directing fins were placed on the upper entrance surfaces of the channel at angles of 30°, 45° and 60° to direct the flow to the heated obstacle elements in the channel. Except for the obstacle element, other surfaces of the channel. While the Reynolds number (Re) values in the study were 100, 300 and 500; the modified Richardson number (Ri*) range was taken as 50-150 and the Flow Transition Distance (FTD) ratios were taken as 2 and 4. The study's results were compared with the experimental and numerical results in the literature and found to be quite compatible. For Ri*=50, Re=100 and AGM=4, the Nu_m value obtained in the 60°-angle channel was 32.88% higher than in AGM=2. Additionally, Δ p values were found to be 9.06%, 9.04% and 9.66% higher in cases with 30°, 45° and 60° angle fins, respectively, compared to the case without fins for FTD=2, Re=500 and Ri*=150.

Keywords: Mixed convection, Fin, Richardson number, Equilateral triangle obstacle, Heat transfer

^{*} Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Böl., 58140, Sivas
** Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Böl., 58140, Sivas

İletişim Yazarı: Koray Karabulut (kkarabulut@cumhuriyet.edu.tr- koray.karabulut@hotmail.com)

1. GİRİŞ

Avrupa Birliği başta olmak üzere son zamanlarda tüm dünya ülkelerine yayılmakta olan çevre ve iklim değişikliği politikasıyla birlikte kirliliğin bertaraf edilmesi, azaltılması ve önlenmesi, doğal kaynakların çevreye ve ekolojik dengeye zarar vermeyecek şekilde kullanımının temin edilerek sürdürülebilir kalkınmanın sağlanabilmesi amacıyla özellikle enerji sektöründe hızlı bir şekilde köklü değişiklikler yapılması planlanmaktadır. Bu amaçla enerjinin etkin bir biçimde kullanılarak ısı ve akış uygulamalarında yeni yaklaşımlarla geliştirilmiş ekipmanların verimliliklerinin artırılarak, işletme maliyetleri düşük, doğaya duyarlı ve güvenliği yüksek ürünler geliştirilmesi çalışmaları özellikle son yıllarda yoğunlaşmıştır.

Elektronik bileşenlerin soğutulması, daha hızlı, daha küçük ve daha güvenilir sistemlerin gelişmesinin sağlanması bakımından oldukça önemlidir. Böylece, cihazdan elde edilen verimlilik artarken; bu durum zaman ve maddi açıdan kazanç elde edilmesine sebep olacaktır.

Uygulamada birçok elektronik bileşenin soğutulması durumunda ısı yayan bileşen dizileri dikey veya eğimli paralel plaka kanallarına yerleştirilmektedir.

Bununla birlikte, kanal içi akış ve ısı transferi uygulamalarında doğal ve zorlanmış taşınımın birlikte uygulandığı karışık taşınım uygulamaları son zamanlarda araştırmacılar ve uygulamacılar tarafından yoğun olarak değerlendirilen tasarımlar arasında yer almaktadır. Karışık taşınımla ısı transferi üzerine yapılan araştırmalar, ısı eşanjörleri, kimyasal işleme ekipmanları, güneş enerjisi toplayıcılarının ve elektronik soğutma vb. gibi uygulamalar birçok mühendislik alanında giderek daha fazla ilgi görmektedir. Böylece, ısınmış olan bileşenler tarafından etrafındaki akışkan ile olan sıcaklık farkına dayalı olarak gerçekleşen doğal taşınımla olan ısı transferinin engellenmeden zorlanmış taşınımla desteklenerek ısı transferi artırılabilmektedir (Özdemir ve diğ., 2023).

Literatürde bir kanalda karışık taşınımla 1s1 transferi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Bunlardan birinde, ısı kaynağı içeren bir kanal için laminer zorlanmış akışın, doğal, karısık ve zorlanmıs tasınım bölgeleri boyunca kaldırma kuvveti kaynaklı doğal konveksiyon hareketi üzerindeki etkileri (Choi ve Ortega, 1993) tarafından sayısal olarak incelenmistir. Sonuçlar, 1sı kaynağının ortalama Nusselt (Nu) sayısının eğim açısına büyük ölçüde bağlı olduğunu göstermiştir. (Papanicolaou ve Jaluria, 1993) yalıtılmış ve sabit değerde bir 1s1 kaynağı içeren dikdörtgensel bir sistemdeki karışık taşınımı incelemişlerdir. (Auletta ve diğ., 2001) dik olarak konumlanmış ve simetrik olarak ışıtılan aşağı yönlü akış olan bir kanalda genişlemenin ışı transferi üzerindeki etkilerinin sayısal analizini gerçekleştirmişlerdir. Yapılan analizler sonucunda kanaldaki uzama ve genisleme miktarlarına göre ısı transferinde %10-20 arasında bir artış olduğunu belirlenmiştir. (Forooghi ve Hooman, 2013) türbülanslı akışın olduğu iki dalgalı plaka arasında kaldırma kuvvetlerinin de etkisini dikkate alarak ısı transferini sayısal olarak irdelemişlerdir. Çalışmalarında kaldırma kuvvetlerinin ısı transferi üzerinde değişen etkişini gözlemlemişlerdir. (Jang ve Yan, 2004) sayısal olarak dikey dalgalı bir yüzey boyunca karışık ısı taşınımı ve kütle transferini araştırmışlardır. Mevcut analiz için sonlu farklar yöntemi kullanılmıştır. Kaldırma kuvveti oranı N. genlik-dalga boyu oranı α ve değiştirilmiş Richardson sayısı (Ri*=Gr/Re²) bu problem için önemli parametreler olarak belirlenmiştir. Çalışmada, kaldırma kuvveti oranı N ve dalgalı yüzevin boyutsuz genliğinin verel Nu sayısı ve verel Sherwood (Sh) sayısı üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak incelenmiştir. (Zhang ve diğ., 2022) dikey olarak konumlandırılmıs daralan-genisleyen bir kanalda akıs yönünde ve akısa ters yöndeki akış için karışık konveksiyonun etkisini sayısal olarak değerlendirmişlerdir. Bir diğer çalışmada, (Lee ve diğ., 2021) açılı kanatçıklara sahip bir kanaldaki doğal ve karışık konveksiyonun ısı kuyusunun tasarım parametrelerindeki durumunu sayısal olarak araştırmışlardır. (Wetzel ve Wagner, 2019) ise farklı Grashof (Gr) savılarını dikkate alarak dik bir kanal icerisinde karısık konveksiyonun sayısal simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir.

(Hamouche ve Bessaih, 2009) laminer akış şartlarında yatay olarak yerleştirilmiş bir kanalda elektronik bileşenlerin karışık ısı taşınımı ile soğutulmasını incelemek üzere yerleştirilen iki adet çıkıntıdan oluşan ısı kaynağının ısı transferi performansını sayısal olarak değerlendirmişlerdir.

Buna göre, elektronik bileşenlerin birbirleri arasındaki mesafenin, boylarının ve genişliklerinin değişimlerinin ısı transferini artırıcı yönde etki edebildiğini belirlemişlerdir. (Nosonov ve Sheremet, 2018) yerel ısıtıcıların etkisi altında sonlu kalınlığa ve iletkenliğe sahip katı duvarlı açık bir boşlukta karışık taşınımı incelemişlerdir. Çalışmanın ilgi alanı, aktif soğutma sistemine sahip ısı üreten çipli bir elektronik kabin olarak değerlendirilmiştir. Analiz edilen fiziksel sürecin matematiksel açıklaması, boyutsuz akış fonksiyonu, girdap ve sıcaklıkla formüle edilen ilgili başlangıç ve sınır koşullarına sahip iki boyutlu kısmi diferansiyel denklemler temelinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Richardson sayısının, ısıtıcı konumu ve ısıtıcı boyutunun akışkan akışı ve ısı transferi üzerindeki etkileri sunulurken; Richardson sayısındaki artışın zorlanmış akışı baskılayan iç taşınım girdabının yoğunlaşmasına yol açtığını belirlemişlerdir.

(Wang ve Jaulria, 2002) farklı Re sayılarında ($5 \le \text{Re} \le 100$) yatay dikdörtgen bir kanaldaki üç boyutlu karısık tasınım akısını sayısal olarak arastırmıslardır. Arastırmalarında, iki farklı akıs modeli belirlemişlerdir. Isı kaynaklarının tabana aralıklı olarak yerleştirilmesinin uzunlamasına ruloların periyodik olarak genişlemesine ve daralmasına neden olduğu belirlenirken: bu gözlemlerin elektronik ekipmanın soğutulmasındaki etkileri değerlendirilmiştir. (Coetzee ve diğ., 2024) düzgün duvar sıcaklığı sınır koşuluna maruz kalan yatay bir tüp boyunca gelişen laminer karışık taşınım akışının yerel ısı transfer özelliklerini deneysel olarak araştırmışlardır. İç çapı 4,9 mm olan 5 m uzunluğunda bir bakır boru boyunca ortalama akıskan sıcaklıklarını ölcmek için yeni bir deney düzeneği geliştirmişlerdir. Bununla birlikte, çalışmalarında boru duvarı-akışkan sıcaklık farklarının azalması nedeniyle doğal tasınım etkilerinin sürdürülemediğini ve akıskan sıcaklıklarının boru duvarı sıcaklıklarına yaklaştıkça ısı transferinin azaldığını belirlemişlerdir. (Zhu ve diğ., 2024) aralık oranı aynı ve 4.0 olan üç tandem dairesel silindir için hem zorlanmış hem de karışık konveksiyon akışlarını sonlu elemanlar yöntemini kullanarak sayısal olarak incelenmislerdir. Hesaplamalarını Pr = 5-50 ve Ri = 0-2 aralığında, Re = 150 gibi düşük bir Reynolds sayısında gerçekleştirmişlerdir. Pr sayısındaki artışın akışın kararlılığında rol oynarken; Ri sayısının büyümesinin ise tersi bir rol üstlendiğini saptamıslardır. Aynı zamanda, zaman ortalamalı hız, basınc katsayısı ve sıcaklığın yüksek Ri sayıları icin daha asimetrik hale geldiği bulunmustur. (Sharif, 2007) en-boy oranı 10 olan iki boyutlu dikdörtgen seklinde tahrikli boşluklarda laminer karışık konveksiyon ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir. Boşluğun eğiminin, akış ve ısıl alanlar üzerindeki etkilerini 0°'den 30°'ye kadarki eğim açıları için araştırmıştır. Buna göre, ortalama Nu sayısının boşluğun eğimi arttıkça arttığı bulunmuştur. (Hamouche ve Bessaïh, 2008) sayısal olarak her iki tarafı da açık olan bir kanaldaki birden fazla özdes cıkıntılı ısı kaynağından hayaya olan iki boyutlu laminer ve karısık tasınımla ısı transferini araştırmışlardır. İç akış modifikasyonu için 1sı kaynaklarının üzerinde dikdörtgen bir plaka kurulumunun elektronik bilesenlerden olan 1s1yı uzaklastırmada önemli bir iyilestirme sağladığı görülmüştür. (Yang ve diğ., 2010) enine kanatçıklı eğimli bir kanalda karışık taşınımla ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir. Sonuçlar, Re sayısının artmasıyla en uygun en-boy oranının maksimum ısı transferi oranına sahip kanatçığın ısı aktarım hızını artırdığını göstermistir. Eğimli kanalda vapılan bir diğer calışmada (Boutina ve Bessaih, 2011), laminer akış şartlarında birbirine eş iki ısı kaynağının karışık taşınımla soğutulmasını değerlendirmişlerdir. İsi kaynağı ölcüleri ve aralarındaki uzaklığın yanında kanal eğiminin de ısı transferine belirgin etkileri olduğu saptanmıştır.

İklim değişikliği, azalan doğal kaynaklar ve yakın süreçte gelecek nesiller için daha yeşil ve sürdürülebilir bir dünya bırakabilmek adına atılması planlanan yeşil dönüşüm yatırımları, ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarını daha yoğun olarak kullanmaya teşvik ederken; hali hazırda tüketilen enerjinin de tasarruflu ve verimli bir şekilde kullanılması adına çalışmalar yürütülmektedir.

Elektronik endüstrisinin oldukça fazla ilerleme kaydederek daha küçük hacimli ancak daha hızlı ve daha yüksek kapasiteli ürünlerin geliştirilmesi, ısınma problemini de beraberinde getirmiştir. Bununla birlikte, uygulamada yatay veya dikey kanallara yerleştirilebilen elektronik elemanların daha etkin bir şekilde soğutulmaları amacıyla doğal ve zorlanmış taşınımın birlikte

kullanıldığı tasarımlar son zamanlarda yaygınlaşmış olup; literatürde bu konu üzerine çeşitli araştırmalar bulunmaktadır.

Yapılan bu çalışmada, literatürdeki çalışmalardan farklı olarak karışık taşınımın içerisinde doğal taşınımın etkisini daha iyi görebilmek adına yüksek Ri sayılarında çalışılırken (Ri*= 50-150); Re sayısı değerleri de (Re= 100, 300 ve 500) literatürde ulaşılan çalışmalara göre daha yüksek seçilmiştir. Böylece, kanalda karışık taşınım etkisinin artırılarak ısınmış engel elemanlarından olan ısı transferinin iyileştirilip, daha etkin bir soğutma sağlanması hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda, ayrıca elde edilebilen literatürle karşılaştırıldığında çalışmanın göze çarpan farklılıklarından bir diğerinin de kanal içerisinde zorlanmış taşınım akışını ısınmış engel elemanlarına yönlendirerek elemanlar etrafındaki doğal taşınım akımlarına tesir edilirken; kanaldaki zorlanmış taşınım hareketleriyle etkileşimin artırılıp karışık taşınım akışını şiddetlendirmek için kanalın dikey giriş yüzeyleriyle farklı açılarda olacak şekilde akış yönlendirici kanatçıkların eklenmesi olduğu söylenebilir.

İncelenen bu çalışmada, birbirine paralel dikey levhalar üzerinde ikişer tane olmak üzere simetrik olarak toplamda dört tane eşkenar üçgen geometrili ısınmış elektronik engel bilesenlerinin bulunduğu bir kanalda karışık taşınımla ısı transferi ve kanal ve engeller arasındaki akışkan hareketi sayısal olarak araştırılmıştır. Sayısal inceleme, zamandan bağımsız, laminer ve iki boyutlu olarak süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinin Ansys-Fluent bilgisayar programının kullanılarak çözülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Üst tarafından su girişi olan kanala üst giris kısmının her iki tarafından yatayla 30°, 45° ve 60° acılı olarak akıs yönlendirici kanatçıklar yerleştirilmiştir. Yüksek işlemci kapasitesi nedeniyle ısınmış mikroçiplerde ısı transfer yüzey alanını artırarak ısı transfer kapasitesini iyileştirmek amacıyla seçilen eşkenar üçgen geometrili elektronik elemanlara sabit 1s1 akısı (35,2949 W/m² (Re=100 ve Ri*=50)-2647,12 W/m² (Re=500 ve Ri*=150)) uygulanırken; dikey kanalın diğer yüzeyleri ve akış yönlendiriciler ise adyabatiktir. Üçgen engel yüzeylerine kullanılan Re ve Ri* sayılarına bağlı olarak Gr* sayısına karşılık gelen sabit ısı akısı değerleri uygulanmıştır. Kullanılan su akışkanı sıkıştırılamaz olup, kanala giriş sıcaklığı 293 K' dir. Suyun bu sıcaklıktaki termofiziksel özelliklerinin değerleri ise şu şekildedir: k=0,6032 W/mK, $\rho=998,4$ kg/m³, $c_p=4181,8$ J/kgK, μ =1000,6.10⁻⁶ N.s/m². Karışık taşınım akışı oluşturmak amacıyla çalışmada kullanılan Reynolds (Re) sayısı değerleri 100, 300 ve 500 iken; değişken sayısının azaltılarak doğal ve zorlanmış taşınım etkilerinin birbirlerine göre üstünlüklerinin daha iyi karşılaştırılabildiği değiştirilmiş Richardson sayısı (Ri*) aralığı ise 50-150 olarak alınmıştır. Kanalın üst girisinden itibaren vercekimi vönünde akan suyun, kanal genisliğine göre akış yönlendirici kanatçıkların sahip olduğu uzunluklara bağlı olarak belirlenen akış mesafesi oranı (AGM) ise 2 ve 4 olarak tasarlanmıştır. Richardson (Ri*) sayışına bağlı olarak farklı AGM oranları için kanala verleştirilen kanatçıkların açılarının ($\mathbf{\Phi}$) ve Re sayılarının, engellerin toplam ortalama Nu sayıları (Nu_m), yüzey sıcaklıkları (T_s) ve akışkanın kanaldaki basınç düşüşü (Δp) üzerindeki etkilerinin değişimleri değerlendirilmiştir. Ayrıca, incelenen iki farklı AGM (2 ve 4), Re=500 ve Ri*=50 ve 150 değerleri için kanatçıksız ve kanatçıklı kanallarda hız ve sıcaklık konturu dağılımları görselleştirilerek detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir.

2. SAYISAL YÖNTEM

Kanalın üst girişinden üniform olarak sabit u_o hızı ile gönderilen akışkan akımı sonucu meydana gelen zorlanmış taşınım ile ısınmış olan elektronik elemanlardan kaldırma kuvvetinin etkisiyle oluşan doğal taşınım akımlarıyla birlikte karışık taşınım oluşmaktadır. Kanalın girişinden itibaren yerleştirilen akış yönlendirici kanatçıklarla hem akışkanın ısınmış elektronik engel elemanlarına doğru yönlendirilmesi hem de kanalın orta kısmında akışın hızlandırılarak zorlanmış taşınım hareketleriyle daha iyi bir karışık taşınım akımı oluşturulması planlanmıştır.

Kanaldaki karışık taşınımlı ısı transferinin çözümünde Ansys-Fluent programı kullanılmıştır. Ayrıklaştırma yöntemi olarak momentum denklemleri için "Second Order Upwind" yöntemi tercih edilmiştir. Sayısal çözümlerin yakınsaması için yakınsama kriteri momentum denklemi için 10⁻⁶ ve enerji denklemi için 10⁻⁷ olarak alınmıştır.

Bu çalışmada ele alınan akışın, zamandan bağımsız, sıkıştırılamaz, iki boyutlu ve laminer olduğu kabul edilmiştir. Çalışmada, dikey olarak konumlandırılan kanalda yer çekimi kuvveti aşağı yönlü olarak modellenirken; kaldırma kuvvetinin etkisi de hesaba katılmıştır.

Kartezyen koordinatlarda zamandan bağımsız, sıkıştırılamaz akış için süreklilik, momentum ve enerjinin korunumu denklemleri aşağıda verilmiştir (Özdemir ve diğ., 2023).

Süreklilik denklemi

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

Momentum denklemi

$$\rho\left(u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y}\right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 u \tag{2}$$

$$\rho\left(u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y}\right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu\nabla^2 v - \rho g \tag{3}$$

Enerji denklemi

$$u\frac{\partial T}{\partial x} + v\frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right]$$
(4)

Çalışmada kullanılan boyutsuz sayılardan değiştirilmiş Grashof sayısı (Gr*), Richardson sayısı (Ri*) ve Reynolds sayısı (Re) aşağıdaki eşitliklerde sunulmuştur.

$$Gr^* = \frac{g\beta \dot{q}D^4}{k\nu^2} \tag{5}$$

$$Ri^* = \frac{Gr^*}{Re^2} \tag{6}$$

$$Re = \frac{u_o D}{v} \tag{7}$$

Burada, g yerçekimi ivmesi (m/s²), β ısıl genleşme katsayısı (1/K), \dot{q} ısı akısı (W/m²), k ısı iletim katsayısı (W/mK), v kinematik viskozite (m²/s)'dir.

Elektronik engel elemanların yüzeylerindeki ortalama ısı taşınım katsayısı Eş. (8), Nusselt sayısı (Nu) ise Eş. (9) vasıtasıyla hesaplanacaktır.

$$h = \frac{\dot{q}}{(T_{e} - T_{o})} \tag{8}$$

Nu sayısı, taşınımla ısı geçişinin iletimle ısı geçişine oranı olarak değerlendirilir.

$$-k\left(\frac{\partial T}{\partial n}\right)_{s} = h(T_{e}-T_{o}) \text{ ve } Nu = \frac{h\,2a}{k}$$
(9)

Ortalama ısı taşınım katsayısı (h_m)

$$h_m = \frac{1}{2a} \int_0^{2a} h da \tag{10}$$

Ortalama Nu sayısı (Nu_m) Eş. 9 ile hesaplanmaktadır.

$$Nu_m = \frac{\dot{q}D}{k(T_{e-}T_0)} = \frac{h_m 2a}{k} \tag{11}$$

Bu eşitliklerde, \dot{q} 1s1 akısı, u_o dikey kanalın üst kısmından giren akışkanın hızı (m/s), T_e 1sınmış engelin ortalama sıcaklığı iken T_o , su akışkanının kanal girişindeki sıcaklığıdır (K). aakışkanla temasta olan eşkenar üçgen şekilli yüzeyin karakteristik uzunluğu (m) ölçüsü iken; u ve v kartezyen koordinatlarda akışkanın x ve y yönlerindeki hızlarıdır (m/s). k akışkanın 1s1 iletim katsayısı (W/mK), h yüzey üzerindeki yerel 1s1 taşınım katsayısı (W/m²K), n ise yüzeye dik yöndür.

Akış Geçiş Mesafesi (AGM), kanal genişliğinin kanatçık uzunluğuna oranı olup aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$AGM = \frac{W}{b} \tag{12}$$

Burada, W kanal genişliği (m) ve b ise akış yönlendirici kanatçık uzunluğudur (m).

Kanal boyunca basınç düşüşü (Δp) aşağıdaki Eş. (13) ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta p = \frac{f\rho H}{2W} u_o^2 \tag{13}$$

Bu eşitlikte, Δp dikey kanal boyunca kanalın giriş ve çıkışı arasındaki basınç düşüşünü (Pa), f sürtünme faktörünü ve H kanalın uzunluğunu (m) temsil etmektedir.

3. SAYISAL HESAPLAMA ALANI

Sayısal çözümlemede kullanılan hesaplama alanı Şekil 1a ve b'de gösterilmektedir. Şekil 1 a'da akış yönlendirici kanatçıkların olmadığı ve Şekil 1 b' de ise dikdörtgen kesitli kanalın her iki dikey üst yüzeyiyle farklı $\mathbf{\Phi}$ açısı yapan yönlendirici kanatçıkların olduğu kanal kesiti sunulmaktadır. Çalışmada yapılan kabuller ve sınır şartları Tablo 1'de verilmektedir. Ayrıca, dikdörtgen kesitli dikey kanalın birbirine paralel sol ve sağ yüzeylerine ikişer adet olmak üzere yerleştirilmiş olan toplamda dört adet eşkenar üçgen şekilli ve sabit ısı akısına sahip elektronik elemanlara çalışmada uygulanacak sınır koşulları Şekil 1 üzerinde de belirtilirken; kanallara ve kanatçıklara ait boyutsal ölçüler Tablo 2'de sunulmaktadır. Bununla birlikte, sayısal hesaplamalarda kullanılan tetragonal (düzgün dörtyüzlü) ağ yapısı şeklinin görselleştirilmiş hali Şekil 1c'de gösterilmektedir.





Dikey bir kanalda yüzeylerinde dörtlü eşkenar üçgen engeller bulunan karışık taşınımlı akış geometrisi **a**. Yönlendirici kanatçıksız **b**. Açılı yönlendirici kanatçıklı **c**. Düzgün dörtyüzlü ağ yapısı şeklinin görselleştirilmesi

Tablo 1.	Calismada	vanılan	kabuller ve	sınır sartları
1 abit 1.	Çanşmaua	yapnan	Kabunci v	, siinii şai tiarr

a.	Sürekli, iki boyutlu ve laminer akış hacmi kullanılmıştır
b.	Sıkıştırılamaz akışkan olarak su kullanılmıştır
c.	Akışkanın ısıl özellikleri sabit olup, sıcaklıktan bağımsızdır
d.	Dikey kanalın ve yönlendirici kanatçıkların yüzeyleri adyabatiktir
e.	Kanalın çıkış basıncı, atmosfer basıncına eşit olarak alınmıştır (Pç=Patm)
f.	Kanalın çıkışındaki sıcaklık farkının ihmal edilebilecek kadar az miktarda olduğu
	kabul edilerek $\partial T/\partial y=0$ olarak belirlenmiştir
g.	Kanal, kanatçık ve eşkenar üçgen yüzeylerinde kaymama sınır şartı olduğu ve bu
	nedenle bahsedilen yüzeylerde tüm hız bileşeni değerlerinin sıfır olduğu kabul
	edilmiştir.
h.	Üçgen engel yüzeylerine kanaldaki Re ve Ri* sayılarına bağlı olarak Gr* sayısına
	karşılık gelen sabit ısı akısı uygulanmıştır.
i.	Akışkanın kanala giriş sıcaklığı 293 K' dir.
j.	Su için çalışılan Re=500' de akışkan giriş hızı 0,010048 m/s' dir.
k.	Kanal girişinde "velocity inlet" ve çıkışında ise "pressure outlet" sınır şartı
	geçerlidir.
l.	Dikey kanala aşağı yönlü yerçekimi ivmesi uygulanmıştır

Tablo 2. Dikey kanala ve kanatçığa alt boyutsal ölçüler		
Değişken	Ölçü (mm)	
D	25	
L	1000	
М	50	
W	50	
Н	1800	
a	25	
b	25 ve 12,5	
ф	30°, 45° ve 60°	

Tablo 2. Dikey kanala ve kanatçığa ait boyutsal ölçüler

4. SONUÇLARIN DOĞRULANMASI

Sonuçların ağ sayısından bağımsızlığını sağlamak amacıyla engellerin toplam ortalama Nu sayısının (Nu_m) ağ sayısıyla değişimi incelenerek en uygun ağ sayısı belirlenmiştir. Bu amaçla, Nu_m sayısının Ri* sayısına bağlı olarak ağ sayısıyla değişimi kanatçıksız kanal ve Re=100 için Tablo 3'de verilmiştir. Buna göre, 842285 adet ağ elemanı sayısının 1062252 adet ağ sayısıyla karşılaştırıldığında Nu_m sayısı değişiminin %0,01'den daha az olduğu görülmekte olup; 842285 adet ağ elemanı sayısının akış yönlendirici kanatçıksız kanal için yeterli olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 3. Engellerin toplam ortalama Nu sayısının (Nu_m) ağ elemanı sayısına bağlı olarak Ri* sayısıyla değişimi

Ağ sayısı	Ri*=50-Num	Ri*=100-Num	Ri*=150-Num
289071	2,82144	5,602417	8,247801
643624	2,88058	5,610262	8,257397
842285	2,88104	5,610547	8,257454
1062252	2,88105	5,610551	8,257425

Bu çalışmanın sonuçları, (Rosas ve diğ., 2017)'nin deneysel çalışması ile (Özdemir ve diğ., 2023) tarafından sonlu hacimler yöntemini kullanan FloEFD paket programıyla elde ettikleri sayısal sonuçlarla Şekil 2'de görüldüğü gibi karşılaştırılmıştır. (Rosas ve diğ., 2017) karışık taşınımla ısı transferinin deneysel bir çalışmasını öngörülen sabit ısı akısı ile tek tarafında yarım silindirik bir engele sahip ve diğer sınır duvarları adyabatik olan dikey bir kanalda gerçekleştirmiştir. Çalışmada kullanılan dikey kanalın yüksekliği 1,8 m ve genişliği ise 0,05 m'dir. Yarı silindirik engel, üst kanal girişinden itibaren 1 m aşağıda tasarlanmıştır. Karşılaştırmada Ri* sayısının değişimine bağlı olarak ortalama Nu_m sayısının değişimi incelenmiştir. Şekil 2'de (Özdemir ve diğ., 2023)'nin sayısal çalışmasıyla olan farklılıkların ağ sayısı ve yapısına bağlı olarak özellikle yüksek Ri* sayılarında doğal taşınımın zorlanmış taşınıma baskın gelmesiyle ısınmış engellere yakın bölgelerde oluşan girdap bölgelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla birlikte, sunulan çalışma ile (Rosas ve diğ., 2017)'nin deneysel çalışmasının birbirleriyle oldukça uyumlu oldukları belirlenmiştir. Bu nedenle, çalışmanın doğru ve kabul edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 30, Sayı 1, 2025



Şekil 2: Çalışmanın sonuçlarının doğrulanması

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE BULGULAR

Sekil 3'de karsılıklı dikey plakalı kanallara ikiserli simetrik olarak yerleştirilmiş toplamda dört adet eşkenar üçgen engel elemanının Ri* sayılarına göre farklı Re sayıları (Re=100, 300 ve 500) ve AGM oranlarında (AGM=2 ve 4) toplam ortalama Nu sayısı (Num) değişimleri verilmektedir. Ri* sayısının artışına bağlı olarak kanaldaki doğal taşınım etkisi arttığından kanatçıksız ve kanatçıklı tüm durumlar için Nu_m sayısı değerleri artmaktadır. Bununla birlikte, Re sayısının artışıyla da kanaldaki karışık taşınım etkisi artış gösterdiğinden Num sayısı artışı üzerinde olumlu etki görülmesine sebep olmaktadır. AGM=2 için tüm Re sayısı değerlerinde kanatçıksız duruma yakın Num sayısı değerleri elde edilse de değerlerin kanatçıksız durumdan daha yüksek oldukları Sekil 3 a, b ve c'den görülebilmektedir. Bu durum, kanallara verlestirilen kanatçıkların akışkanı engellere yönlendirebildiğini ve böylece engeller etrafında doğal taşınıma bağlı kaldırma kuvveti kaynaklı oluşan girdap akımlarını etkileyerek karışık taşınım ısı transferini iyileştirebildiğini göstermektedir. Ayrıca, 60° açılı kanatçıklı kanalda diğer kanatçık açılarına göre daha yüksek Num sayısı elde edilmesi; kanala yerleştirilen kanatçıkların kanatçık uzunluğunun özellikle AGM=2'de daha fazla olması nedeniyle zorlanmış akışı kanal girişinde engellerden önce akış kesitini daraltarak jet akış etkisi oluşturup iyileştirmesi nedeniyledir. Ri*=150, Re=100 ve AGM=2 için 60º açılı kanatçıklı kanalda kanatçıksız duruma göre Num sayısı %3,41 daha fazladır. Aynı şartlarda, Re=500 için Num sayısı değeri kanatçıksız durumdan %1,86 daha fazla olsa da karışık taşınım etkisi arttığından ulaşılan Num sayısı değerleri Re=100'e göre daha yüksek olmaktadır. Benzer şekilde, (Özdemir ve diğ., 2023) yaptıkları çalışmada Ri*=50 ve Re=200 için dörtlü yarı silindirik engellerin olduğu kanatçıksız dikey bir kanalda ortalama Nu sayısının %7,4 arttığını tespit etmişlerdir. Bunun yanı sıra, AGM'nin 4 olduğu durumlarda kanatçık uzunluğu kanal kesitine göre azaldığından, akışkanın kanaldaki geçiş mesafesi artmakta ve böylece kanal girişinde jet akış etkisi oluşumu azaldığından akış hızı da azalmaktadır. Aynı zamanda, kanatçık uzunluğunun kısalmasının akışkanın engel yüzeylerine yönlendirilebilme durumunu etkilemesine bağlı olarak kanaldaki karışık taşınım etkisini değiştirdiğinden; AGM=2'ye göre aynı Re sayısında daha farklı Nu_m sayısı değerleri elde edilme eğilimini ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle, Re=100 için Şekil 3d'de de görüldüğü gibi kanatçıksız duruma göre Num sayısı değerleri Şekil 3a'dan daha fazla olmaktadır. Ri*=50, Re=100 ve AGM=4 için 60°

açılı kanalda elde edilen Nu_m değeri, AGM=2'deki değerinden %32,88 daha fazladır. (Auletta ve diğ., 2001) ise dik olarak konumlanmış ve simetrik olarak ısıtılan aşağı yönlü akış olan bir kanalda ısı transferinde %10-20 arasında değişen oranlarda artış olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmalar arasında ısı transferi oranlarında oluşan farklılıklar, Re ve Ri* sayılarına bağlı olarak karışık taşınım ısı transferindeki değişimlerden kaynaklanmaktadır. Kanaldaki karışık taşınım etkisinin değişimine bağlı ısınmış engeller üzerinde oluşan bu durum, Şekil 3e'de yüksek Ri* sayılarında 30° açılı kanatçıklı durumda Nu_m sayısının diğer açı değerlerine göre daha yüksek olmasını sağlarken; Şekil 3f'de ise 30° ve 60° açılı durumlardaki Nu_m sayısı değerlerinin 45° açılı durumdakine daha yakın olmasıyla sonuçlanmaktadır.



Dörtlü engellerin toplam ortalama Nu sayısının (Nu_m) Ri* sayısı, kanatçık açısı, Re sayısı ve AGM oranlarına göre değişimleri (a) AGM=2, Re=100 (b) AGM=2, Re=300 (c) AGM=2, Re=500 (d) AGM=4, Re=100 (e) AGM=4, Re=300 (f) AGM=4, Re=500

Şekil 4'de dörtlü engellerin toplam ortalama yüzey sıcaklıklarının (T_s), Ri* sayısı, kanatçık açısı, Re sayısı ve AGM oranlarına göre değişimleri (a) AGM=2, Re=100 (b) AGM=2, Re=300 (c) AGM=2, Re=500 (d) AGM=4, Re=100 (e) AGM=4, Re=300 (f) AGM=4, Re=500 gösterilmektedir. Ri* ve Re sayılarının artışıyla kanal içerisinde karışık taşınımın artmasına bağlı olarak engel yüzevlerinden olan 1sı transferi artarken; engel aralarında ve etrafında uzaklastırılamayan akışkan kütleşinin ışınmaşıyla tüm durumlarda yüzey şıcaklıkları için grafiklerde artma eğilimi görülmektedir ki bu durumun azaltılarak önlenebilmesi için engelin yüzey şekli, soğutucu akışkanın engellere yönlendirilebilmesi ve böylece hem etkin bir karışık tasınım etkisi oluşturulabilmesi hem de ısınmış akışkan kitlesinin engeller etrafından uzaklastırılabilmesi tasarlama asamasında önem arz etmektedir. Bununla birlikte, kanatçıklı durumlardaki sıcaklıkların kanatçıksız durumdakilerden düşük olması; kanatçıkların akışı engellere yönlendirebilmesi neticesinde kanal içerisindeki karışık taşınım etkisini artırmasıyla sağlanmıştır. Genel itibariyle, grafiklerden de (Sekil 4a-f) görülebildiği gibi AGM=2 ve 4 için elde edilen sıcaklık değerleri birbirlerine yakın olmakla birlikte; karısık tasınım etkileri sonucu kanaldaki doğal taşınım kaynaklı girdapların oluşturduğu akış yapısına bağlı olarak özellikle AGM=4 ve Re=100 için (Sekil 4d) AGM=2'dekinden daha düşük engel yüzey sıcaklıkları elde edildiği görülebilmektedir.

Şekil 5'de Ri*=50 ve 150 ve Re=500 için hız konturu dağılımları (a) kanatçıksız kanal (b) $\phi = 30^{\circ}$, AGM=2 (c) $\phi = 45^{\circ}$, AGM=2 (d) $\phi = 60^{\circ}$, AGM=2 (e) $\phi = 30^{\circ}$, AGM=4 (f) $\phi = 45^{\circ}$, AGM=4 ve (g) $\phi = 60^{\circ}$, AGM=4 için sunulmaktadır. Kanatçıksız durumda sol taraftaki üst engelin üzerinde olusan kaldırma kuvvetleri kaynaklı girdap nedeniyle üst taraftan giren zorlanmıs tasınım akısı, sağ engel tarafına doğru yönlenmektedir. Sağ tarafa yönlenen akışkanda iki engel arası kesit daralmasından dolayı akısta hızlanma meydana gelmektedir. Bununla birlikte, tüm acı, AGM ye her iki Ri* sayısı durumları için de ısınmış engeller arasında doğal taşınıma bağlı girdap akımları oluşmaktadır. Kanallara akış yönlendirici kanatçıklar eklendiğinde, özellikle AGM=2 için AGM=4'e göre kanatçık açısı arttıkça akış geçiş mesafesi (AGM) azaldığından kanala giriş yapan akışkanın hızı artmaktadır. Bu durum da akışkanın karışmasını iyileştirirken aynı zamanda Ri*=50 için 30° açılı kanaldan başlayarak 45° ve 60° açılı kanatçıklı durumlarda engellerin üst taraflarında girdap bölgelerinin yoğunluğunu artırmaktadır. AGM=4 olan kanallarda kanatçık uzunluğu AGM=2'ye göre kısa olduğundan kanalın üst tarafından giriş yapan akışkanın hızı daha düşüktür. Ri*=150 olduğunda doğal taşınım akımları hızlandığından tüm kanallar için oluşan girdap akımlarının yoğunlukları daha siddetli olup; buna bağlı olarak akışkanın karışması da Ri*=50've göre daha ivi olmaktadır.

Kanatçıksız ve AGM=2 ve 4 olan 30°, 45° ve 60° açılı akış yönlendiricili dikey kanallardaki sıcaklık konturu dağılımları, Re=500 ve Ri*=50 ve 150 için Şekil 6'da verilmektedir. Şekil 5'deki akışın hızlandığı kısımlarda sıcaklıklar düşük iken; akış hızının düşük olduğu ve ayrıca kanatçıkların alt kısımlarında ve hareket yoğunluğu düşük girdap bölgelerinde akışkandaki ısınma arttığından sıcaklık değerleri yükselmekte ve bu durumda engel yüzey sıcaklıklarının yüksek olmasına neden olmaktadır. Ri*=50 olduğu durumlarda akışkan hareketinin kısıtlı olduğu üçgen engellerin üst kısımlarında yüzey sıcaklıkları daha yüksek iken; akışkanın çıkışa doğru ilerlediği alt kısımlarında ise sıcaklar düşmektedir. Bununla birlikte, Ri*=150 için kanal içerisinde artan doğal taşınım akımlarıyla sıcaklıklar artarken; akışkan hareketinin daha kısıtlı olduğu karşılıklı üçgen engellerin arasında artan akışkan sıcaklığına bağlı olarak yüzey sıcaklıkları da artış sergilemektedir. Karışık taşınım etkisi artmasına rağmen özellikle üçgen engelin keskin kenarlı köşelerinde daha belirgin sıcaklık artışları görülmektedir.



Dörtlü engellerin toplam ortalama yüzey sıcaklıklarının (T_s) Ri* sayısı, kanatçık açısı, Re sayısı ve AGM oranlarına göre değişimleri (a) AGM=2, Re=100 (b) AGM=2, Re=300 (c) AGM=2, Re=500 (d) AGM=4, Re=100 (e) AGM=4, Re=300 (f) AGM=4, Re=500





 $Ri^*=50$ ve 150 ve Re=500 için sıcaklık konturu dağılımları (a) kanatçıksız kanal (b) $\phi=30^\circ$, AGM=2 (c) $\phi=45^\circ$, AGM=2 (d) $\phi=60^\circ$, AGM=2

Tablo 4'de kanatçıksız ve 30°, 45° ve 60° açılı kanatçıklı durumlarda Re sayısının 100, 300 ve 500 ve Ri* sayısının 50, 100 ve 150 değerlerinde AGM=2 ve 4 için kanal boyunca akışkanın basınç düşüşü (Δp) değerleri gösterilmektedir. Re sayısının artışıyla kanaldaki akış hızının artmasına bağlı olarak tüm durumlarda Δp artmaktadır. Bununla birlikte, Ri* sayısının artışıyla kanalda kaldırma kuvvetleri kaynaklı oluşan girdap akımları ve kanatçık açısının artışına bağlı olarak kanal içerisinde artan akışkan hareketliliği nedeniyle basınç düşüşü (Δp) değerlerinde artışlar olduğu görülmektedir. Ayrıca, kanala kanatçık eklenmesi akışkanın akışına karşı bir engel oluşturarak kanaldaki akış rejimini değiştirdiğinden; Δp değerlerinde kanatçıksız duruma göre artışlar daha belirgin olmaktadır. AGM=2 ve Re=500 için Ri* sayısının 150 değerinde kanatçıksız duruma göre 30°, 45° ve 60° açılı kanatçıklı durumlarda Δp değerleri sırasıyla %9,06, %9,04 ve %9,66 daha fazla olmaktadır.

Ri*	Kanatçık Açısı (°)	Akış Geçiş Mesafesi (AGM)	Basınç Düşüşü (∆p) Pa Re=100	Basınç Düşüşü (∆p) Pa Re=300	Basınç Düşüşü (∆p) Pa Re=500
50	-	-	44,31009	45,30141	46,85449
100	-	-	44,43225	45,75763	47,36996
150	-	-	44,57472	46,13777	48,55058
50	30	4	49,17025	50,18426	51,47325
100	30	4	49,28814	50,51978	52,16183
150	30	4	49,40289	50,84204	52,8521
50	45	4	49,17044	50,1663	51,69636
100	45	4	49,29098	50,52227	52,1523
150	45	4	49,4062	50,83193	52,88165
50	60	4	49,16558	50,16461	51,52987
100	60	4	49,2886	50,52453	52,39359
150	60	4	49,41338	50,84575	52,92593
50	30	2	49,16115	50,16096	51,51038
100	30	2	49,28648	50,52652	52,22322
150	30	2	49,41212	50,7221	52,94976
50	45	2	49,16585	50,1821	51,75728
100	45	2	49,28813	50,54895	52,446
150	45	2	49,41977	50,75254	52,94078
50	60	2	49,20712	50,38736	52,01234
100	60	2	49,32952	50,70641	52,395
150	60	2	49 44462	50 98478	53 24443

Tablo 4. Dörtlü ısınmış engelin olduğu kanal boyunca Ri* sayısı, kanatçık açısı ve AGM
oranlarına göre basınç düşüşü değişimi

6. GENEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Birbirine paralel dikey levhalardan oluşan bir kanalda simetrik olarak toplamda dört tane eşkenar üçgen geometrili ısınmış elektronik engel elemanlarından karışık taşınımla ısı transferi ve kanaldaki akış hareketinin sayısal olarak incelendiği bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

-Ri* sayısının artışıyla kanalda artan doğal taşınım etkisiyle kanatçıksız ve kanatçıklı tüm durumlar için Nu_m sayısı değerleri artmaktadır.

-Akışkanın Re sayısının artışıyla da kanaldaki karışık taşınım etkisi artış gösterdiğinden Nu_m sayısı artışı üzerinde olumlu etki görülmesine sebep olmaktadır.

-AGM=2 için tüm Re sayısı değerlerinde kanatçıksız duruma yakın Nu_m sayısı değerleri elde edilse de bu değerler kanatçıksız durumdan daha yüksektir.

-Genel itibariyle, 60° açılı kanatçıklı kanallarda diğer kanatçık açılarına göre daha yüksek Nu_m sayısı değerleri elde edilmektedir.

-Ri*=150, Re=100 ve AGM=2 için 60° açılı kanatçıklı kanalda kanatçıksız duruma göre Nu_m sayısı %3,41 daha fazladır. Aynı şartlarda, Re=500 için Nu_m sayısı değeri kanatçıksız durumdan %1,86 daha fazla olsa da karışık taşınım etkisi arttığından ulaşılan Nu_m sayısı değerleri Re=100'e göre daha yüksek olmaktadır.

-AGM'nin 4 olduğu durumlarda kanatçık uzunluğu kanal kesitine göre azaldığından, akışkanın kanaldaki geçiş mesafesi artmakta ve akış hızı azalmaktadır.

-Ri*=50, Re=100 ve AGM=4 için 60° açılı kanalda elde edilen Nu_m sayısı değeri, AGM=2'deki değerinden %32,88 daha fazladır.

-Ri* ve Re sayısının artışıyla kanal içerisinde karışık taşınımın artmasına bağlı olarak engel yüzeylerinden ısı transferi artarken; engel aralarında ve etrafında uzaklaştırılamayan akışkan kütlesinin ısınmasıyla tüm durumlarda yüzey sıcaklıkları artmaktadır.

-Kanatçıklı durumlardaki sıcaklıkların kanatçıksız durumdakilerden düşük olması; kanatçıkların akışı engellere yönlendirebilmesi ve kanal içerisindeki karışık taşınım etkisini artırmasıyla sağlanmıştır.

- Re ve Ri* sayılarının artışıyla Δp değerleri artış sergilemektedir.

- Kanala kanatçık eklenmesiyle Δp değerlerinde kanatçıksız duruma göre ulaşılan artışlar daha belirgin olmakla birlikte; AGM=2'de Re=500 ve Ri*=150 için kanatçıksız duruma göre 30°, 45° ve 60° açılı kanatçıklı durumlarda Δp değerleri sırasıyla %9,06, %9,04 ve %9,66 daha fazla olmaktadır.

Kanaldaki ısınmış engellerden olan ısı transferinde; engelin yüzey şeklinin yanında soğutucu akışkanın engellere yönlendirilerek hem etkin bir karışık taşınım etkisi oluşturulabilmesi hem de ısınmış akışkan kitlesinin engeller etrafından uzaklaştırılabilmesini sağlayacak tasarımlar geliştirilmesi önem arz etmektedir. Bunun yanı sıra, kanallara akışı engellemeden ısınmış engel elemanları üzerine yönlendirebilecek açı ve yerleşim konumlarında akış yönlendirici kanatçıkların eklenmesinin; mühendisler tarafından öncelik verilerek değerlendirilmesi gereken konuların başında gelmesi gerektiği düşünülmektedir. Bu bakımdan, gelecek çalışmalarda kanallara eklenecek farklı açılarda ve konumlardaki kanatçıkların ve dikey kanal yüzeylerindeki farklı geometrili ve farklı sayılardaki engel geometrilerinin kanaldaki karışık taşınım akımlarını etkileyerek engellerden olacak ısı transferi ve kanaldaki akış yapısı üzerindeki etkilerinin değişik termofiziksel özelliklerdeki nanoakışkanlar kullanılarak değerlendirilmesi planlanmaktadır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

YAZAR KATKISI

Koray Karabulut, çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yönetimi, veri analizi ve yorumlama, fikirsel içeriğin eleştirel incelenmesi

Yeliz Alnak, çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yönetimi, veri toplama, makale taslağının oluşturulması

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) birimi tarafından STBMYO-2024-005 proje numarası ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- 1. Auletta, A., Manca, O., Morrone, B., Naso, V. (2001) Heat transfer enhancement by the chimney effect in a vertical isoflux channel, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 44(22), 4345-4357. doi:10.1016/S0017-9310(01)00064-3
- 2. Boutina, L., Bessaih, R. (2011) Numerical simulation of mixed convection air cooling of

electronic components mounted in an inclined channel, *Applied Thermal Engineering*, 31 (11-12), 2052-2062. doi:10.1016/j.applthermaleng.2011.03.021

- **3.** Choi, C.Y., Ortega, A. (1993) Mixed convection in an inclined channel with a discrete heat source, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 36, 3119-3134. doi:10.1016/0017-9310(93)90040-D
- **4.** Coetzee, M. J., Steyn, D., Everts, M., (2024) The local heat transfer characteristics associated with mixed convective developing flow through a horizontal tube exposed to a uniform wall temperature boundary condition, *International Journal of Thermal Sciences*, 203, 109167. doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2024.109167
- Forooghi P., Hooman K. (2013) Effect of buoyancy on turbulent convection heat transfer in corrugated channels a numerical study, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 64, 850-862. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2013.05.028
- 6. Hamouche, A., Bessaïh, R. (2008) Mixed convection air cooling of electronic components mounted in a horizontal channel, *International Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 3(1), 53-64.
- Hamouche, A., Bessaih, R. (2009) Mixed convection air cooling of protruding heat sources mounted in a horizontal channel, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36(8), 841-849. doi:10.1016/j.icheatmasstransfer.2009.04.009
- **8.** Jang, J. H., Yan, W. M. (2004) Mixed convection heat and mass transfer along a vertical wavy surface, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47(3), 419-428. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2003.07.020
- **9.** Lee, J. S., Ha, M. Y., Min, J. K. (2021) Numerical study on the mixed convection around inclined-pin fins on a heated plate in vertical channels with various bypass ratios, *Case Studies in Thermal Engineering*, 27, 101310. doi:10.1016/j.csite.2021.101310

Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 30, Sayı 1, 2025

- **10.** Nosonov, Ivan I., Sheremet, Mikhail A. (2018) Conjugate mixed convection in a rectangular cavity with a local heater, *International Journal of Mechanical Sciences*, 136, 243-251. doi:10.1016/j.ijmecsci.2017.12.049
- **11.** Papanicolaou, E., Jaluria, Y. (1993) Mixed convection from a localized heat source in a cavity with conducting walls: a numerical study, *Numerical Heat Transfer Part A: Applications*, 23(4), 463-484. doi:10.1080/10407789308913683
- 12. Rosas, I.Y., Trevino, C., Martinez-Suastegui, L. (2017) Experimental study of mixed convection heat transfer in a vertical channel with a one-sided semicylindrical constriction with prescribed heat flux, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 67(Part A), 155-167. doi:10.1016/j.ijheatfluidflow.2017.08.007
- **13.** Sharif, M. A. R. (2007) Laminar mixed convection in shallow inclined driven cavities with hot moving lid on top and cooled from bottom, *Applied Thermal Engineering*, 27(5-6), 1036-1042. doi:10.1016/j.applthermaleng.2006.07.035
- 14. Özdemir, S., Kılıç, M., Çalışır, T., Başkaya, Ş. (2023) Numerical investigation of enhancing mixed convection heat transfer by using semicylindrical obstacles in a vertical channel, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38 (3), 1805-1820. doi: 10.17341/gazimmfd.1008154
- **15.** Wang, Q., Jaluria, Y. (2002) Instability and heat transfer in mixed convection flow in a horizontal duct with discrete heat sources, *Numerical Heat Transfer Part A: Applications*, (42), 445-463. doi:10.1080/10407780290059648
- 16. Wetzel, T., Wagner, C. (2019) Buoyancy-induced effects on large-scale motions in differentially heated vertical channel flows studied in direct numerical simulations, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 75, 14-26. doi:10.1016/j.ijheatfluidflow.2018.09.005
- **17.** Yang, M. H., Yeh, R. H., Hwang, J. J. (2010) Mixed convective cooling of a fin in a channel, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53, 760-771. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2009.10.012
- **18.** Zhang W., Wei Y., Yu P., Zhu Z. (2022) Numerical investigation on buoyancy-driven flow over a circular cylinder in a channel with nonparallel walls, *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 82(6), 299-316. doi:10.1080/10407782.2022.2078587
- **19.** Zhu, H. J., Zhong, J. W., Liu, B., Zhou, T. M. (2024) Unsteady wake and heat transfer characteristics of three tandem circular cylinders in forced and mixed convection flows, Physics of Fluids, 36(7), 073602. doi:10.1063/5.0213990