

Nozul Mesafesinin Çarpan Jet Isı Transferi ve Akışkan Akışı Üzerindeki Etkileri

Ferhat KOCA^{1*}, Mustafa ZABUN²

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

²Yeditepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

¹<https://orcid.org/0000-0001-8849-5295>

²<https://orcid.org/0000-0003-0420-4134>

*Sorumlu yazar: ferhatkoca@cumhuriyet.edu.tr

Araştırma Makalesi

ÖZ

Makale Tarihi:

Geliş tarihi: 14.02.2022

Kabul tarihi: 18.04.2022

Online Yayınlanma: 18.07.2022

Anahtar Kelimeler:

Jet akışı

Jet çarpması

Nozul

Isı transferi

Bu çalışmada dikey düz bir plaka yüzeyine çarpan jet akışı için nozul uzunluğunun ısı transferi ve akış alanı üzerindeki etkileri sayısal olarak araştırılmıştır. Çalışmanın temel amacı, sabit ısı akısına ($q''=1500 \text{ W/m}^2$) sahip bir yüzeydeki ısı transferini etkileyen nozul uzunluğuna bağlı jet çarpmasının akış özellikleri üzerindeki etkilerini göstermektir. Analizler bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) uygulaması olan Ansys/Fluent kullanılarak elde edilmiştir. Nozul çıkışındaki akış, tam gelişmiş bir hız profiline sahiptir. Analizler, nozul ile plaka yüzeyi arasında 0,5; 1 ve 1,5 L/W boyutsuz mesafeleri ile 1300, 2600 ve 4000 jet Reynolds sayısı (Re) için gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, durma noktası bölgesinde azalan nozul mesafesi ile yerel Nusselt sayılarının arttığını göstermektedir. Bu durum, ısı transferinin artmasıyla sonuçlanan daha düşük nozul mesafesi çapı ile jet momentumu ve türbülans yoğunluğu seviyesindeki bir artışa ve ısı sınır tabaka incelmeye bağlanabilir. Ayrıca zamana bağlı yapılan çözümlemelerde, hız ve sıcaklık konturları verilmiş, Nusselt sayısı ile sıcaklık değişim grafikleri sunulmuş ve modeller birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

The Effects of Nozzle Distance on Impinging Jet Heat Transfer and Fluid Flow

Research Article

ABSTRACT

Article History:

Received: 14.02.2022

Accepted: 18.04.2022

Published online: 18.07.2022

Keywords:

Jet flow

Jet impingement

Nozzle

Heat transfer

In this study, the effects of nozzle length on heat transfer and flow area for jet flow impinging on a vertical flat plate surface were investigated numerically. The main purpose of the study is to show the effects of jet impingement on the flow properties, depending on the nozzle length, which affects the heat transfer on a surface with a constant heat flux ($q''=1500 \text{ W/m}^2$). Analyzes were obtained using Ansys/Fluent, a Computational Fluid Dynamics (CFD) application. The flow at the nozzle outlet has a fully developed velocity profile. Analyzes were performed for 1300, 2600 and 4000 jet Reynolds numbers (Re) with dimensionless distances of 0.5, 1 and 1.5 L/W between the nozzle and the plate surface. The results show that local Nusselt numbers increase with decreasing nozzle distance in the stagnation point region. This can be attributed to an increase in jet momentum, turbulence intensity and thermal boundary layer thinning with the smaller nozzle distance diameter resulting in increased heat transfer. In addition, time-dependent velocity and temperature contours are given, Nusselt number and temperature change graphs are presented along the vertical plate and the models are compared with each other.

To Cite: Koca F., Zabun M. Nozul Mesafesinin Çarpan Jet Isı Transferi ve Akışkan Akışı Üzerindeki Etkileri. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2022; 5(2): 1008-1021.

1. Giriş

Çarpan jetler, ısı ve kütle transferini büyük ölçüde artırır ve bu nedenle, sıcak çelik levhaların soğutulması, camın temperlenmesi, kağıt ve filmlerin kurutulması, türbin kanatlarının ve elektronik bileşenlerin soğutulması ve ince film transistör üretimi gibi çeşitli mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Çarpan jetler üzerine önceki çalışmalar, çoklu jetlerin ve Reynolds sayısının (Yan ve ark., 2004; Xing ve ark., 2010; Culun ve ark., 2018), nozulun plakaya mesafesinin (Wae-Hayee ve ark., 2014; Shukla ve ark., 2019), nozul geometrisinin (Çelik, 2020), jet sıcaklığının (Krueger ve ark., 2019), hedef şekil oryantasyonunun (Ravanji ve ark., 2020), çapraz akışın (Javadi, 2020), yüzey şeklinin vb. etkilerini dikkate almıştır.

Her bir değişkenin etkisini anlamak için onları ayrı ayrı incelemek önemlidir. Reflow lehimleme gibi hava jeti çarpması ile zorlanmış konveksiyon kullanan endüstriyel uygulamalarda, akış yapısının doğru analizi ve hedef yüzey üzerindeki ısı transferini etkileyen değişken değerlerinin doğru tanımlanması proses performansının artmasına neden olur. Maliyetleri ve zamanı azaltmak için sayısal yöntemlerin kullanılması önem kazanmıştır. Bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı kullanılarak deneylerin sayısı oldukça azaltılır, böylece çalışmanın amacı ile ilgili olan fenomenlere odaklanmak mümkün olur. Son yıllarda yapılan çalışmalar bu yöndedir (Karabulut ve ark., 2019; Alnak ve Karabulut, 2021; Koca, 2022).

Çarpan hava jetlerinde temel amaç yüzeye oldukça kütleli bir hava gönderip yerel ısı transfer katsayısını yeteri kadar yükseltmektir. Bunun sebebi akışkanın yüzeye çarpması ile çarpma bölgesinde termal dirence sebep olan sınır tabaka incilmesi ve oradaki ısı taşınım katsayısının artmasıdır. Bu da nozuldan çıkan havanın yüzeye en optimize edilmiş şekilde çarpması ile elde edilir. Çarpan hava jetlerinin optimizasyonu yapılırken birçok etken parametre göz önüne alınır. Bunların ana başlıkları geometri, ekonomiklik ve verimlilik olarak göz önüne alınabilir.

Garimella ve Nenaydykh (1996), erken tarihli yaptıkları deneysel çalışmada jet çarpmasının ısı transferi üzerinde nozul geometrisi etkilerini incelemişlerdir. 0,79-5,35 mm aralığında nozul çaplarına ve 0,25-12 aralığında yedi farklı nozul en boy oranına sahip tek bir jeti, 4000 ila 23 000 arasındaki türbülanslı jet Reynolds sayılarında ve nozul ısı kaynağı aralıkları 1-14'te test etmişlerdir. Sonuç olarak, nozul girişindeki akış ayrımı ve bunun çıkış hızı profilleri ile nozul çapının ısı transfer katsayıları üzerinde kesin bir etkisi olduğunu vurgulamışlardır. Aminzadeha ve ark. (2020), ısıtılmış bir oyukta türbülanslı çarpan salınımlı bir jetin soğutma performansı üzerindeki nozul genişliği etkisini sayısal olarak sunmuşlardır. Sonlu hacim tabanlı çözümleme aracı OpenFOAM ile farklı giriş debilerinde ve çarpma mesafelerinde nozul genişliğinin akış yapısı ve ısı transferi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Nozul genişliğinin azaltılmasının, sabit bir akış hızında salınım frekansını arttırdığını göstermişlerdir. Ayrıca, çarpma duvarındaki Nusselt sayısı, nozul genişliğinin azalmasıyla doğrusal olarak artmıştır. Akış salınımlının sistemin soğutma performansını arttırdığını belirtmişlerdir. Chu ve ark., (2019), elektronik modüller için jet çarpmalı soğutma üzerine deneysel ve sayısal araştırmalar yapmıştır. Ele alınan geometriler Z tipi, iki taraflı ve U tipi olmak üzere üç farklı çıkış ve kısmen

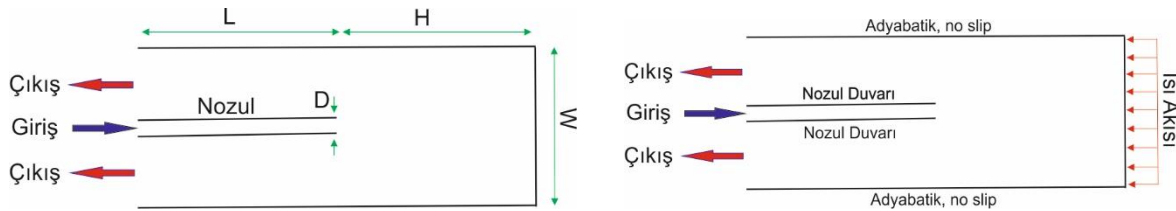
eğimli, tam eğimli ve kademeli plenum konfigürasyon yerleşimleri içermektedir. Sonuç olarak, U tipi çıkış veya kademeli plenum kullanılması, daha düşük pompalama gücüne sahip hedef plakalarda çarpmalı soğutma performansını belirgin şekilde tehlikeye atabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca hedef plaka üzerindeki termal direncin tepe değeri, jet dizisinin orta bölgesinde ve ön kısmında %21,8 ve %16,0 oranında azaltılabilir olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Lak ve ark., (2020), düz yüzey üzerine çarpan eğik jet akışının ısı transferi ve akış karakteristiği üzerine etkilerini incelemişlerdir. Çalışmalarında, farklı Reynolds sayıları ($1500 < Re < 30000$) için boyutsuz jet-plaka mesafeleri ($2 < H/D < 8$) ve jet eğim açıları ($45^\circ < \alpha < 90^\circ$) ele alarak simülasyonlar gerçekleştirmişlerdir. Jet eğim açısının küçülmesiyle birlikte ısı transferi değerlerinde azalmanın olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Ek olarak jet eğim açısının küçülmesiyle maksimum Nusselt sayısının durma noktası Nusselt sayısına oranının azaldığını belirtmişlerdir. Öztürk ve ark. (2022) sabit ısı akısına sahip elektronik bir elemanın çarpan hava jeti ve çapraz akış kombinasyonu ile soğutulmasını sayısal olarak incelemiştir. Farklı jet giriş hızının kanal giriş hızına oranı $V_j/V_k=0,1,2,3$ ve farklı kanatçık açısı (α) değerleri $0^\circ, 22,5^\circ, 45^\circ, 67,5^\circ$ ve 90° için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yardımı ile sayısal analizler yapmışlardır. Bütün parametrelerin sabit tutulmasıyla kanatçık açısının (α) veya V_j/V_k oranının artması ile elektronik elemanın yüzeylerinde gerçekleşen ısı transferinin genel olarak arttığı sonucuna varmışlardır. Çalışmada maksimum ısı transferine $V_j/V_k=3$ ve $\alpha=90^\circ$ durumunda ulaşmışlardır. Kaya (2021), ikili çarpan jet ile soğutulan bir sıcak plakada yüzey şeklinin ısı transferine etkisini sayısal olarak araştırmıştır. Çalışmada ısıtılmış plaka ile aynı yüksekliğe sahip düz, yamuk, zikzak ve dikdörtgen kesitli geometrileri kullanılarak ikili nozul sistemi ile türbülanslı çarpan jet akış yöntemiyle soğutulması durumu için hidrolik ve ısı transfer performansları karşılaştırılmıştır. En yüksek ısı performansına sahip geometrinin yamuk kesitli plaka olduğunu ve aynı şartlar için taşınım ile gerçekleşen ısı transfer hızının düz plakadan yaklaşık %52,2 daha yüksek çıktığını belirlemiştir. Ayrıca Nusselt sayısı/pompalama gücü oranına göre en düşük performansın dikdörtgen kesit için oluştuğunu gözlemlemiş bunu da basınç farkının bu geometride yüksek olmasına bağlamıştır. Martin (1977) endüstriyel kurutma prosesleriyle ilgili tek jetli ve çok jetli çarpma akışının ısı ve kütle transferi için mevcut deneysel sonuçları derlemiştir. Jambunathan ve ark. (1992) tek jet çarpmasında çok çeşitli parametrelerin ısı transferi üzerindeki etkisi ile ilgili çalışmalarını sunmuştur. Han ve ark. (2001) gaz türbini sistemleriyle ilgili jet çarpma ısı transferini incelemiştir. Sarkar ve ark. (2004), farklı gıda ürünlerinin hava çarpması ile sıvı akışı ve ısı transfer özelliklerini derlemiştir. Son olarak Anupam Dewan ve ark. (2012), türbülanslı jet çarpan ısı transferinin hesaplanmasında son eğilimleri ele almıştır.

Literatürde jet nozullar kullanılarak ısı transferini iyileştirmeye yönelik birçok çalışma bulunmaktadır fakat U tip bir kanalda farklı yapıda nozul kullanımı çok kısıtlıdır. Bu çalışmada farklı Reynolds sayıları için nozul uzunluğunun (dolayısıyla nozul-çarpma yüzeyi mesafesinin) jet akışı için ısı transferindeki etkisi zamana bağlı olarak incelenmiş ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Böylece U tip

kanallar için nozul yapısındaki değişikliklerin ısı transferi üzerindeki etkileri sunularak literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

Jet akış şematik diyagramı ve uygulanan sınır şartları Şekil 1'de gösterilmektedir. Aminzadeha ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışma için kullanılan temel yüzey geometrisi referans olarak alınmıştır. Tablo 1'de geometrik ölçüler ve çalışılan parametreler verilmiştir. $L=W$ temel eşitliği ana geometri olarak kabul edildiği için, nozul uzunluğuna göre modeller $L/2$, L ve $1,5L$ olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 1. Model geometrisi ve sınır şartlarının görünümü

Tablo 1. Mevcut sayısal simülasyon için geometrik parametreler (boyutlar cm olarak verilmiştir)

D (cm)	L (cm)	H (cm)	W (cm)	L/W (nozul uzunluğu değişimi)	Parametre tanımı
2	20	20	20	0,5; 1; 1,5	L/2; L; 1,5L

Akışkan hava bir nozuldan, çalışmada ele alınan Reynolds sayılarına bağlı olan belirli bir hızda ve yaklaşık 300 K sabit sıcaklıkta akmaktadır. Mach sayısı 0,3'ün altında olduğu için hava jeti akışı sıkıştırılmaz kabul edilmiştir. Çarpmadan sonra hava akımı nozulun iki yanında ve jet akışının tersi yönünde bulunan çıkış kesitine yönelmektedir. Kullanılan geometri ve akışkan parametreleri göz önüne alındığında, incelenen Reynolds sayısı 1300, 2600 ve 4000 değerleri için nozul jet akış hızı belirlenmiştir. Viskanta (1993) 'ya göre, bu akış geçiş bölgesinde yer alır, çünkü $Re < 1.000$ 'de akış alanı laminer bir akış davranışı sergiler ve $Re > 3.000$ 'de tamamen türbülanslı bir davranış sergiler. Bu düşük Reynolds sayıları çarpan jetleri tahmin etmek için türbülans modellerini uygulayan sayısal simülasyonlarda bir zorluğu temsil eder. Bu noktada analizler bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı olan Ansys/Fluent ile çözümlenmiştir. Çözümleme metodu olarak $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanılmış, 10^{-6} hassasiyette çalışılmıştır.

Jet çarpma sistemi iki boyutta incelenmiştir. Bu anlamda, sorunu tanımlayan denklemler şunlardır:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + g\beta(T - T_o) \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (4)$$

Bu denklemler, sıkıştırılamaz bir akış için basitleştirilmiştir. Denk. (1) süreklilik denklemini temsil eder, Denk. (2) ve Denk. (3) sırasıyla 2D, x-momentum ve y-momentumdaki Navier-Stokes denklemleridir, Denk. (4) enerji denklemdir. Denklemler göz önüne alındığında bilinmeyen ve bilinen değişkenleri belirlemek mümkündür.

Jet akışı ısı transfer performansını önemli ölçüde etkileyen Reynolds sayısı, Denk. (5)'te verilen hesaplanabilen bir formülle tanımlanır:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{\rho \dot{m} D}{\mu A} \quad (5)$$

Burada ρ , akışkan havanın debisi, D , jet nozul hidrolik çapı, μ , havanın dinamik viskozitesi ve V , nozul girişinden verilen ortalama jet hızıdır. \dot{m} nozul plakasından çıkan havanın toplam kütle akış debisi, A nozul plakasının kesit alanıdır.

Elde edilen sonuçlardan boyutsuz ısı transfer sayısı Nusselt hesaplanmıştır. Hesaplama yapılırken çarpma plakası yüzey sıcaklığı kullanılarak çarpma plakası üzerindeki ortalama Nusselt sayısı değerleri Denk. (6) ile hesaplanmıştır.

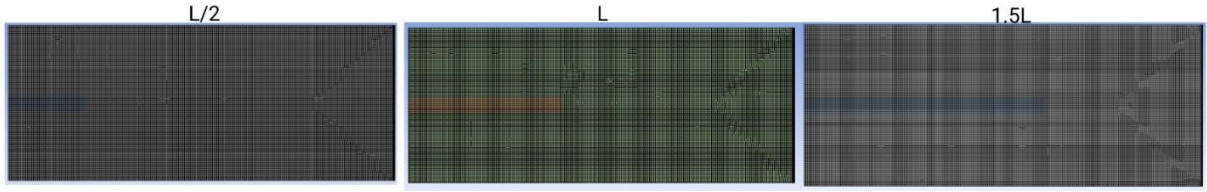
$$Nu = \frac{h W}{k} = \frac{\nabla T W}{T - T_o} \quad (6)$$

Burada h , ısı transfer katsayısı, W , çarpma plakasının genişliği ve k , havanın ısıl iletkenliğidir. h ve k şunlardır: $h = q'' / (T - T_o)$ ve $k = q'' / \nabla T$, burada, T_o hava giriş sıcaklığıdır. Nusselt sayısı çarpma duvarında analiz edilmiştir, çünkü bu makalenin asıl amacı havayı ısıtmak değil, çarpma plakasını soğutmaktır.

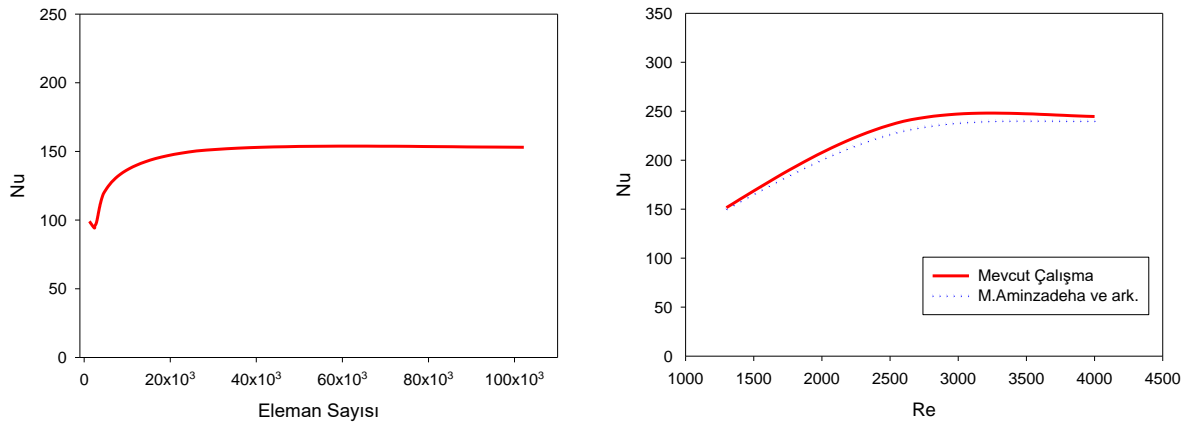
Nozul girişinden itibaren üniform V hızına ve sabit $T_o = 300$ K sıcaklığına sahip hava, soğutulması amaçlanan çarpma plakası yüzeyine dik bir şekilde püskürtülmektedir. Püskürtülen bu havanın kanal içerisine farklı hızlarda ($V=1,568$ m/s, $3,136$ m/s, $6,712$ m/s) girdiği ve yalnızca yatay x eksen yönünde bir bileşene ($u=V$) sahip olduğu kabul edilmiştir. Kanal çıkışının nozul her iki yanından ve atmosfere açıldığı kabul edilmiştir. Bu nedenle kanal çıkış kesiti basıncı atmosfer basıncına eşit ($P_{out}=P_{atm}$) olarak tanımlanmıştır. Nozul ve kanal yüzeylerinde kaymama sınır şartı olduğu, bu nedenle tüm hız bileşen değerlerinin bu yüzeylerde sıfır olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca kanal duvarlarından herhangi bir ısı geçişi olmadığı ($\partial T / \partial n = 0$) varsayılmış ve adyabatik olarak tanımlanmıştır. Literatürdeki çalışmalar ışığında çarpma plakası yüzeyine sabit 1500 W/m² ısı akısı uygulanmıştır.

Modeller için kullanılan mesh ağ yapıları Şekil 2'de görülmektedir. Mesh bağımsızlığı, ağ kalitesinin bir fonksiyonu olarak sonuçların doğruluğunu belirlemek için son derece önemlidir. Çıkış parametresi olarak ortalama Nusselt sayısı seçilmiş ve farklı eleman sayılarında sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 3'te eleman sayısı ile Nusselt değişim grafiği verilmiştir. 40000 ve üzeri mesh eleman sayısı için elde

edilen Nu sayıları birbirine oldukça yakındır. Bu durum 40000 mesh eleman sayısı ve üzeri için ağ yağısının kullanılabilir olduğunu göstermektedir. Çalışmada ek olarak yüzeylere katman (inflation) uygulanmış ve yaklaşık 50000 mesh eleman sayısı ile analizlere geçilmiştir. Şekil 3'te ayrıca referans olarak alınan Aminzadeha ve ark., (2020) çalışması ile uyum içerisinde olduğu gösterilmiştir.



Şekil 2. Farklı uzunluklara sahip nozul ve kanal geometrilerindeki mesh yapılarının görünümü



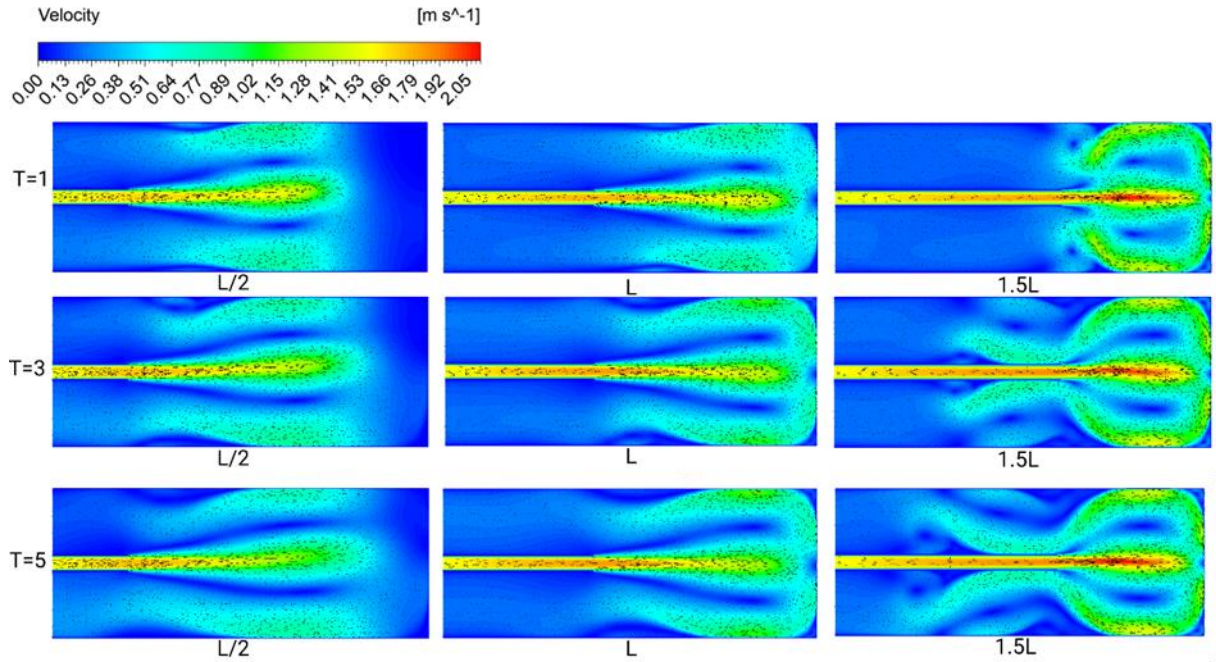
Şekil 3. Mesh bağımsızlığı için eleman sayısı ile Nu değişimi ve sonuçların literatürle karşılaştırılması

3. Bulgular ve Tartışma

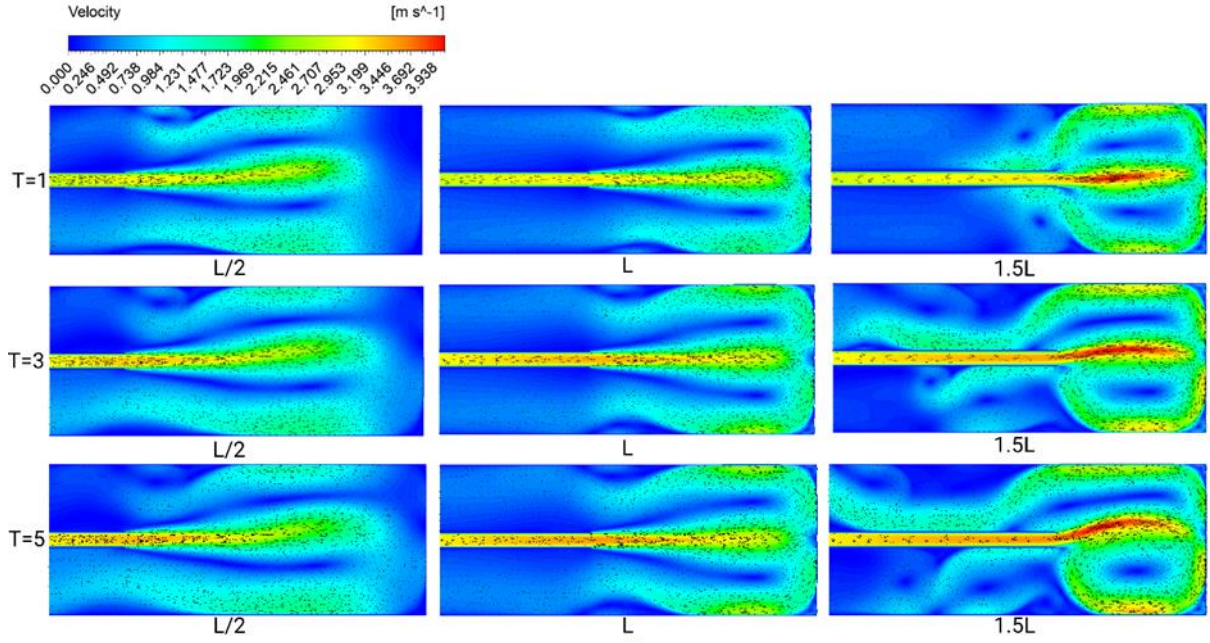
Bu bölümde, ısı kaynağı üzerindeki ısı transfer katsayısının dağılımı ile ilgili olarak, Reynolds sayısının ve jet-plaka mesafelerinin ısı transferi ve akış özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Isı kaynağı olarak jet akışı çarpma yüzeyi olan dikey plakaya $q''=1500 \text{ W/m}^2$ ısı akısı uygulanmıştır. 20 mm'lik bir nozul çapı, 1300, 2300 ve 4000 Re sayıları, 0,5; 1 ve 1,5 nozul-çarpma yüzeyi (W/H) mesafesi (L/2, L ve 1,5L nozul uzunluğu) için incelemeler yapılmıştır. Zamana bağlı çözümleme yapılarak farklı zaman dilimleri için hız ve sıcaklık konturları sunulmuştur. Şekil 4'te $Re=1300$ için L/2, L ve 1,5L nozul uzunluklarındaki jet akışının $T=1$, $T=3$ ve $T=5$ sn'deki anlık hız konturları gösterilmektedir. Kanal çıkış kesiti, jet nozulunun her iki yanından ters yönde olduğu için, çarpma yüzey teması sonrası ters akış etkisi ortaya çıkmaktadır. Nozul uzunluğunun artması, dolayısıyla jet-plaka mesafesinin azalmasıyla çarpma yüzeyine temas eden akışkan etkisi artmaktadır. Bu durum ısıl sınır tabakayı etkilemektedir. Bütün nozul uzunlukları için zamana bağlı olarak aksel kontur dalgalanması olmamakta, nozul merkez eksenine göre simetrik bir vektörel görüntü oluşmaktadır.

Şekil 5'te $Re=2600$ için $L/2$, L ve $1,5L$ nozul uzunluklarındaki jet akışının $T=1$, $T=3$ ve $T=5$ sn'deki anlık hız konturları hız vektörleri ile birlikte gösterilmektedir. Reynolds sayısının artmasıyla birlikte çarpma yüzeyine temas eden akışkan tabakası artmıştır. Bu durum özellikle nozul uzunluğunun fazla olduğu $1,5L$ modelde vorteks oluşumlarının başlamasına neden olmuştur. $T=1$ sn zamanında nozul merkezine göre simetrik ters akış meydana gelirken, $T=3$ sn ve $T=5$ sn zaman dilimlerinde vorteks oluşumlarının etkisi kontur görüntülerinde açıkça görülmektedir.

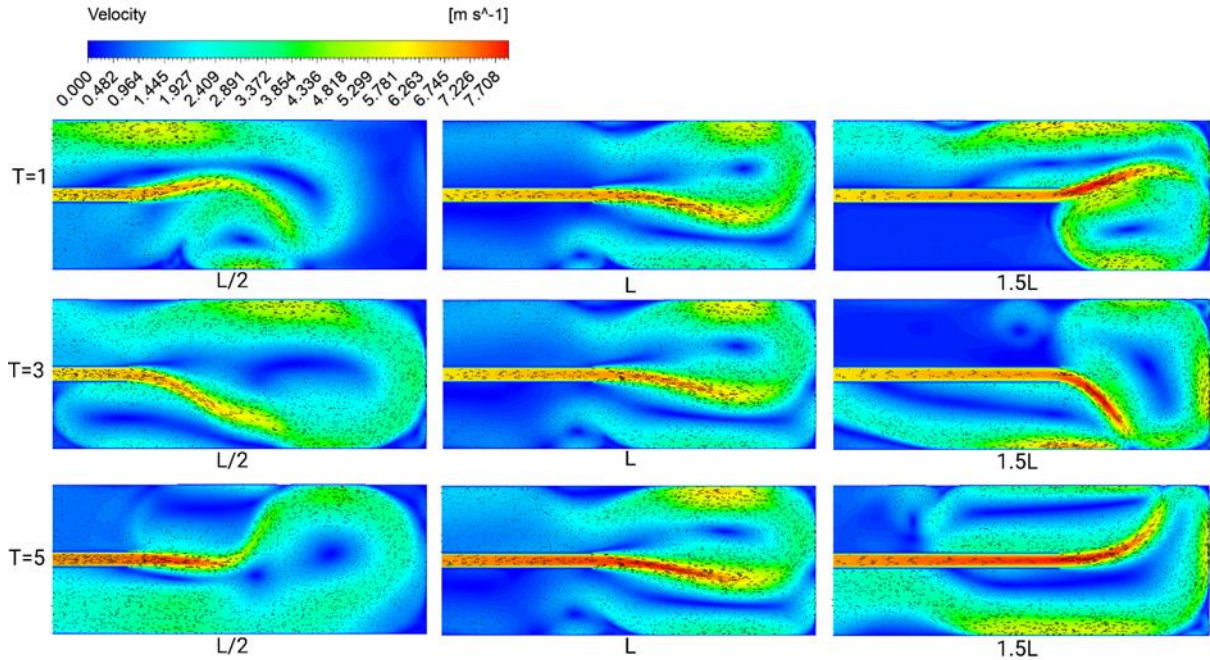
Şekil 6'da $Re=4000$ için $L/2$, L ve $1,5L$ nozul uzunluklarındaki jet akışının $T=1$, $T=3$ ve $T=5$ sn'deki anlık hız konturları hız vektörleri ile birlikte gösterilmektedir. Bütün modellerde Re sayısının artmasıyla $T=1$ sn anından itibaren akış dalgalanmaları meydana gelmiştir. Bu durum kanal içi türbülans etkisinin artmasına dolayısıyla sıcak çarpma yüzeyi üzerinden ısı transferinin artmasına neden olan en önemli göstergedir. $L/2$ ve L nozul uzunluğuna sahip modellerde nozul merkez ekseninde yukarı yönlü vorteks oluşumları daha etkin görülürken, $1,5L$ nozul uzunluğuna sahip modelde her bir farklı anlık hız konturunda bu etkin girdap yönü değişmektedir.



Şekil 4. $Re=1300$ için $L/2$, L ve $1,5L$ nozul uzunluklarındaki jet akışının $T=1$, $T=3$ ve $T=5$ sn'deki anlık hız konturları ve vektörleri



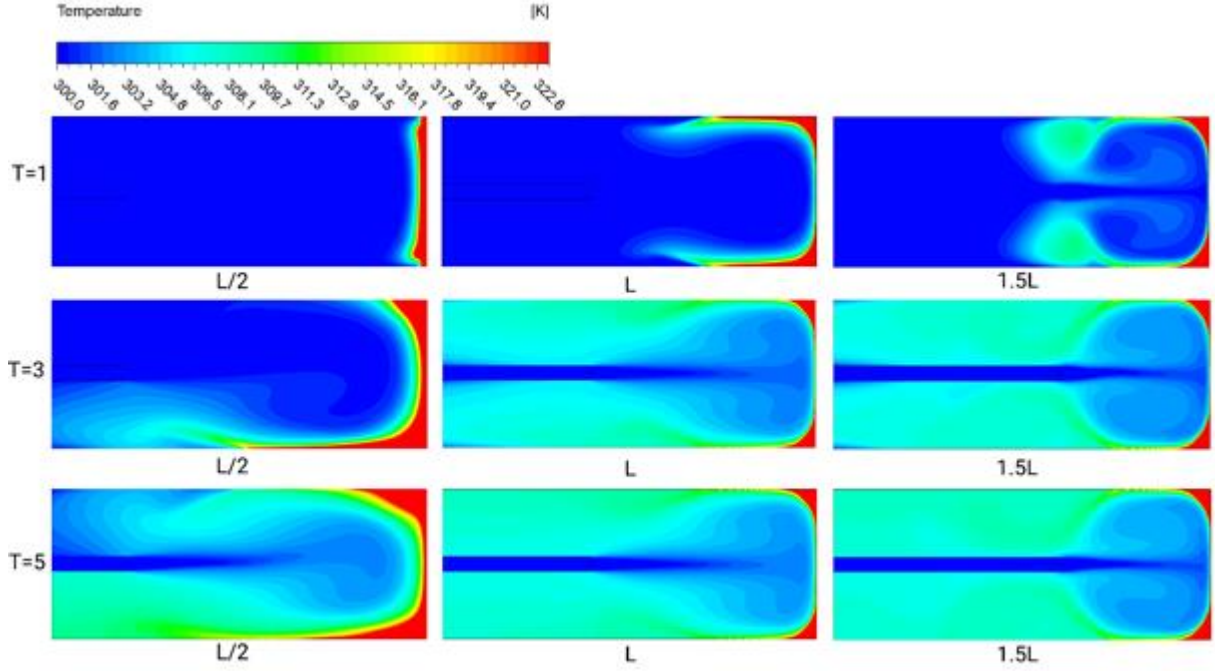
Şekil 5. $Re=2600$ için $L/2$, L ve $1.5L$ nozul uzunluklarındaki jet akışının $T=1$, $T=3$ ve $T=5$ sn'deki anlık hız konturları ve vektörleri



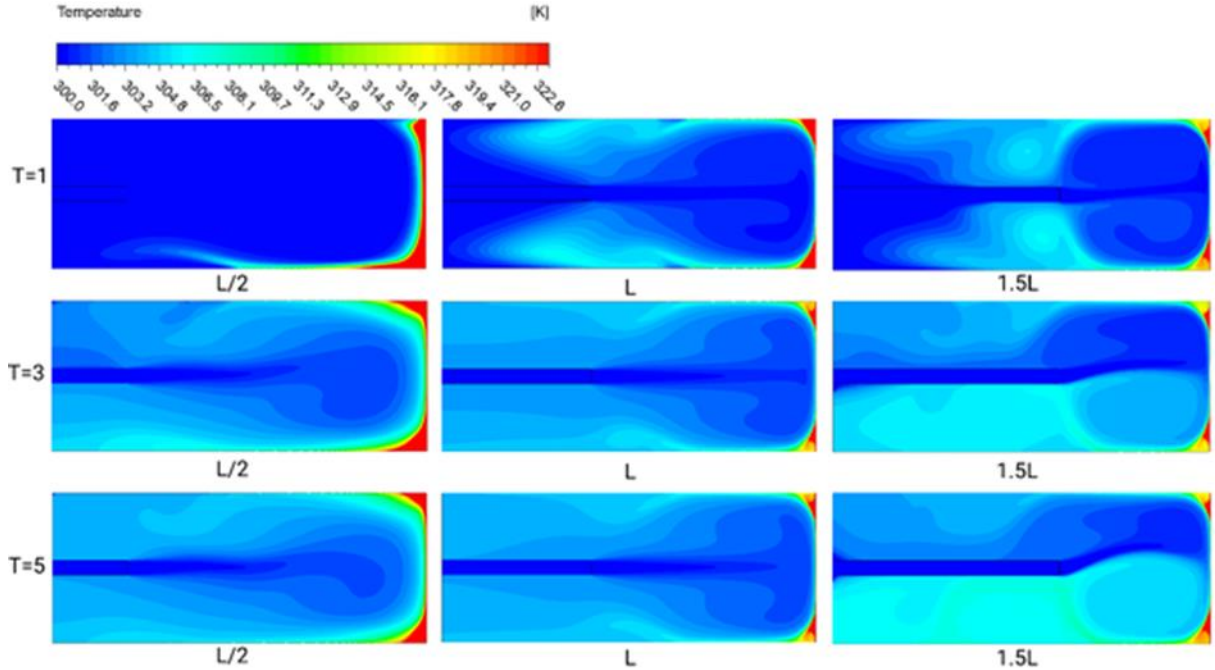
Şekil 6. $Re=4000$ için $L/2$, L ve $1.5L$ nozul uzunluklarındaki jet akışının $T=1$, $T=3$ ve $T=5$ sn'deki anlık hız konturları ve vektörleri

Jet nozul-plaka aralığı için Şekil 7'de $Re=1300$ için, Şekil 8'de $Re=2600$ için ve Şekil 9'da $Re=4000$ için zamana bağlı sıcaklık konturları verilmiştir. Nozul-çarpma yüzeyi arasındaki mesafenin azalması ısıl sınır tabakanın incelmeye neden olmakta ve bu durum da doğrudan ısı transferini etkilemektedir. $L/2$ uzunluğunda nozula sahip modelde ısıl tabaka en kalın, $1.5L$ uzunluğunda nozula sahip modelde ise en ince ısıl tabaka oluşmuştur. Ayrıca ısıl tabaka Reynolds sayısının artmasıyla da incelmekte, bu

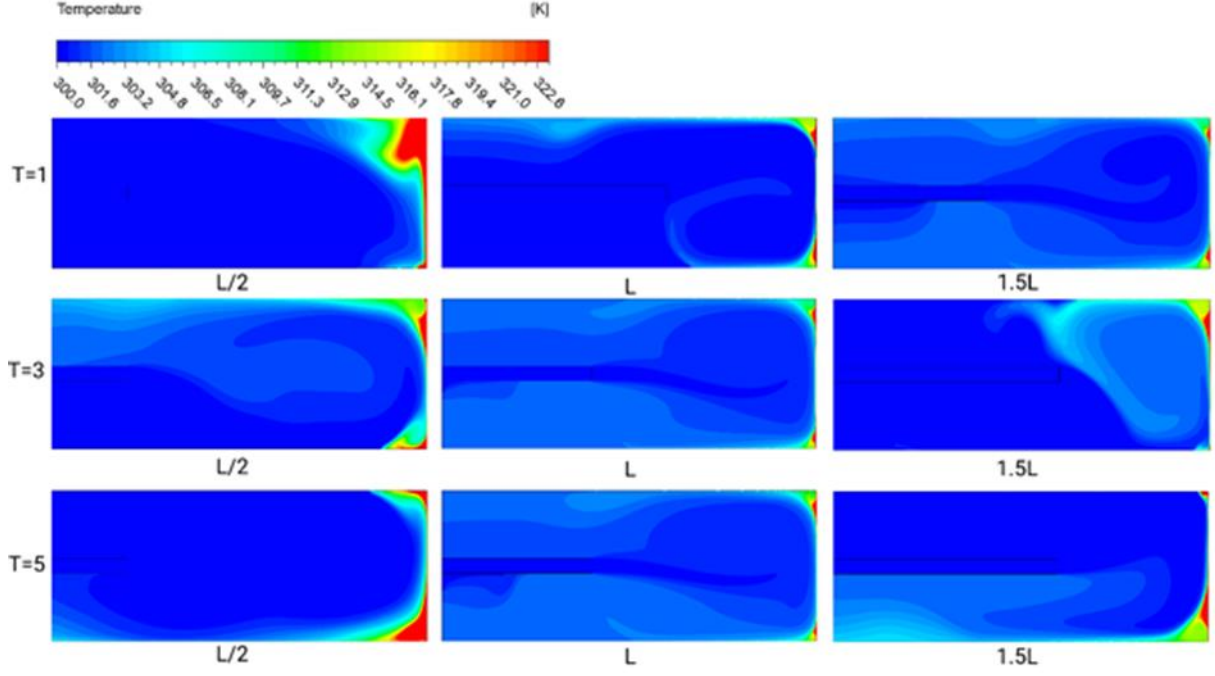
durum Şekil 7’de $Re=1300$ için gösterilen akış için en düşük, Şekil 9’ da $Re=4000$ için gösterilen akış için en yüksektir. Bunlara ek olarak sıcaklık konturlarında ısıl dalgalanma nozul merkez ekseninden kanal duvarlarına doğru meydana gelmektedir. Durma noktası olarak isimlendirilen nozul merkez eksenini çapma yüzeyi noktasında en fazla soğutmanın sağlandığı kısım olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 7. $Re=1300$ için $L/2$, L ve $1.5L$ nozul uzunluklarındaki jet akışının $T=1$, $T=3$ ve $T=5$ sn’deki sıcaklık konturları

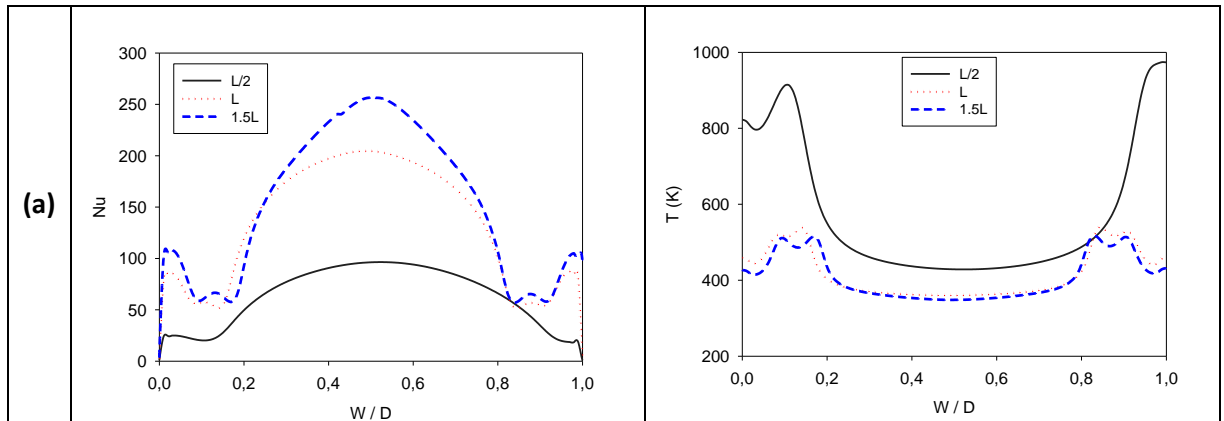


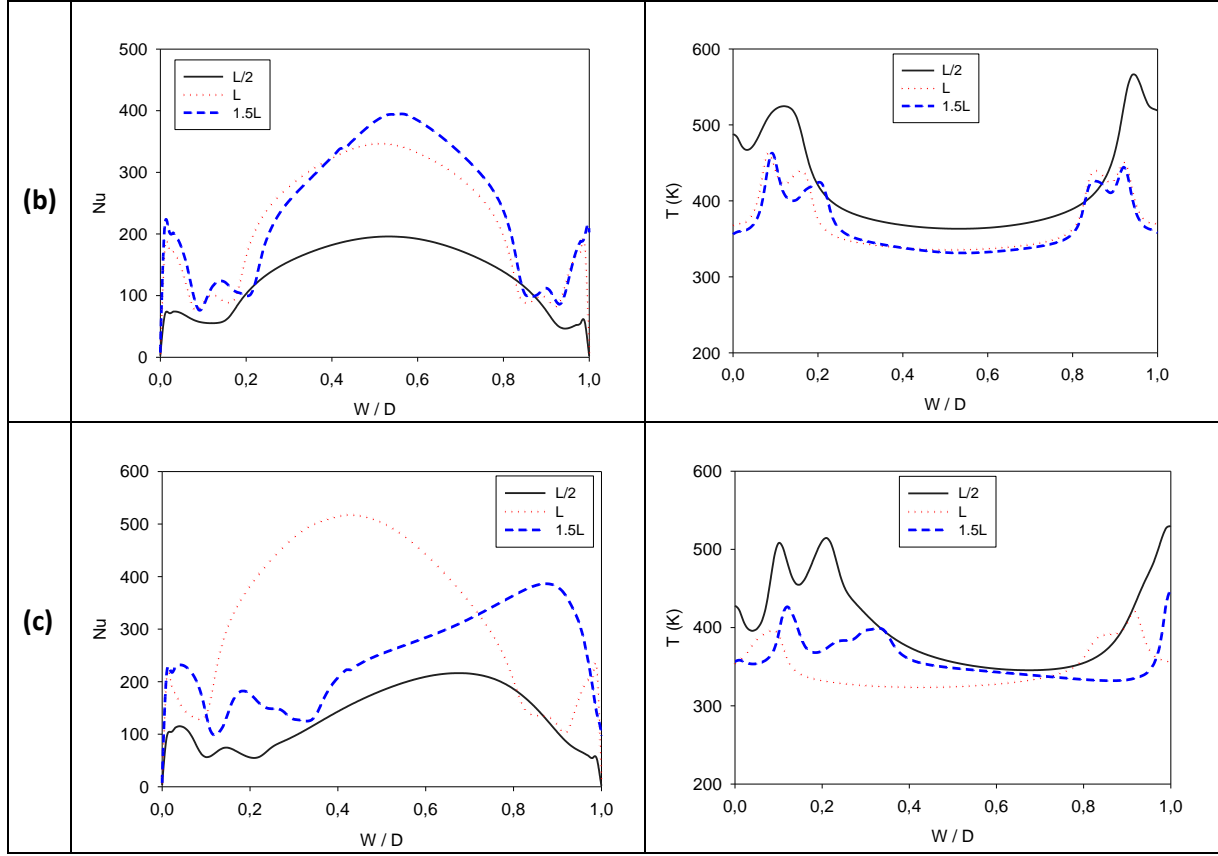
Şekil 8. $Re=2600$ için $L/2$, L ve $1.5L$ nozul uzunluklarındaki jet akışının $T=1$, $T=3$ ve $T=5$ sn’deki sıcaklık konturları



Şekil 9. $Re=4000$ için $L/2$, L ve $1.5L$ nozul uzunluklarındaki jet akışının $T=1$, $T=3$ ve $T=5$ sn'deki sıcaklık konturları

Nozul çapı ile normalize edilmiş kanal yüksekliği W/D boyunca yerel Nusselts dağılımları Şekil 10'da gösterilmiştir. Şekil 10(a) $Re=1300$ değeri, Şekil 10(b) $Re=2600$ değeri ve Şekil 10(c) $Re=4000$ değeri için elde edilmiştir. Jet akış hızının en yüksek olduğu nozul ekseninde eğriler bir tepe noktası ile çan şeklindedir. Durma noktasından uzaklaştıkça ısı transfer katsayısı azalır. Bu durum 1300 ve 2600 Reynolds sayısındaki eğrilerde net bir şekilde görülmektedir. Bu iki Re değeri için en yüksek yerel Nu sayısı nozul-çarpma yüzeyi mesafesi en düşük olan $1.5L$ geometrisinde elde edilmiştir. $0.5L$ nozul uzunluğuna sahip model her durumda en düşük Nu değeri sonucunu vermektedir. $Re=4000$ için verilen Şekil 10(c) grafiği incelendiğinde nozul mesafesi L olan geometri ön plana çıkmakta, $1.5L$ nozul uzunluğuna sahip modelde $T=5$ sn anında büyük çaplı girdap oluşumuyla en yüksek Nu değerinin elde edildiği W/D mesafesi hem durma noktasından kaymış hem de L uzunluğuna sahip modele göre daha düşük çıkmıştır.

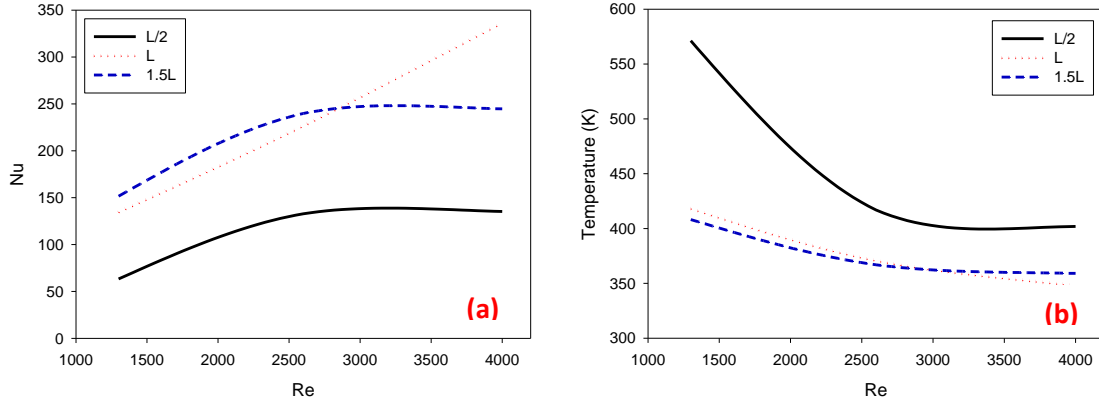




Şekil 10. Farklı nozul uzunlukları için a) $Re=1300$, b) $Re=2600$ ve c) $Re=4000$ değerlerinde çarpma yüzeyi boyutsuz W/D boyunca Nusselt sayısı ve sıcaklık değişimleri

Şekil 10'da ayrıca W/D boyunca çarpma yüzeyi sıcaklık değişimleri verilmiştir. En yüksek ısı transferinin gerçekleştiği durma noktasında en düşük sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Bu değerler L ve $1.5L$ nozul uzunluğuna sahip modellerde $L/2$ nozul uzunluğuna sahip modele göre daha düşüktür. Durma noktasından uzaklaştıkça sıcaklık değerleri artmış, akışkan hareketinin en az olduğu kanal köşelerinde ısı birikmeleri nedeniyle en yüksek sıcaklık değerleri elde edilmiştir.

Şekil 11'de Reynolds sayısı değişimiyle analiz sonucu elde edilen ortalama Nusselt sayısı grafiği ile çarpma yüzey sıcaklığı verilmiştir. Şekil 11(a) Nusselt sayısı değişimini, Şekil 11(b) çarpma yüzey sıcaklık değişimini göstermektedir. $L/2$ ile en kısa nozul uzunluğuna sahip modelde Nu sayısı en diğer modellere göre daha düşük, çarpma yüzey sıcaklığı daha yüksek elde edilmiştir. Düşük Re sayılarında nozulun kısalığı ile çarpma yüzeyine olan akışkan temasının önemli ölçüde azalması bu durumun sonucu olarak açıklanabilir. L ve $1.5L$ nozul uzunluğuna sahip modellerde düşük Re sayılarında benzer eğimler söz konusu iken $Re=2600$ sonrası L uzunluğuna sahip modelde Nu artışı devam etmiş $1.5L$ nozul uzunluğundaki modelde çok az değişiklik ortaya çıkmıştır. Bu durum çarpma yüzeyine yaklaşan nozul ile ters akış sonrası oluşan büyük girdapların nozul çıkışındaki akışkan hareketini etkilemesinden kaynaklandığı söylenebilir. Grafikler incelendiğinde $Re=2600$ 'e kadar en etkin nozul uzunluğu $1.5L$, $Re=2600$ 'den büyük değerler için ise L 'dir.



Şekil 11. Farklı nozul uzunlukları için Reynolds sayısı değişiminin a) ortalama Nusselt sayısı ve b) sıcaklık değişimine etkisi

4. Sonuç

Bu makalede, dikey yüzey üzerinde tek yuvalı hava jetinin ısı transfer özellikleri sayısal olarak incelenmiştir. Analizler 2 cm sabit nozul genişliği ile gerçekleştirilmiştir. Testte değişken parametreler nozul uzunluğu (0,5L, 1L, 1,5L) ve Reynolds sayısı (1300, 2600, 4000) olarak ele alınmıştır. Başlıca sonuçlar şunlardır:

- Dikey bir yüzeydeki ısı transfer katsayısı, Reynolds sayısıyla artmaktadır.
- Jet akış hızının en yüksek olduğu nozul ekseninde Nu değerleri bir tepe noktası ile çan şeklinde merkezden kanal köşelerine doğru düşmektedir.
- Re=2600'e kadar en etkin nozul uzunluğu 1,5L, Re=2600'den büyük değerler için ise L'dir.
- Re sayısının artmasıyla sıcak plaka üzerinden ısı atılımı 570K'den 420K seviyelerine düşen 0,5L nozul uzunluğuna sahip modelde gerçekleşmiştir. Buna rağmen 430K den 350 K sıcaklık seviyelerine düşen L uzunluğundaki modelde en düşük sıcaklık değerleri elde edilmiştir.
- Nu sayılarında 0,5L ve 1,5L benzer eğilim gösterirken L nozul uzunluğuna sahip model için Re=2600 sonrası artış devam etmektedir. Bu durum zamana bağlı çözümler sunan mevcut çalışmada plaka teması sonrası ters akış girdabının 1,5L modelde nozul çıkışını etkilemesinden ve yüzey ısı aktarımının bu zaman diliminde yeterince olmamasından kaynaklanırken L modelde bu durumlar incelenen Re sayılarında gözlenmemiştir.
- Sonuç olarak nozul-plaka aralığı, jet akışı için Nu'da önemli bir rol oynar. Nozul-plaka mesafesi ($W/H=0,5$ yani 1,5L model) için Nu, nozul uzunluğunun güçlü bir fonksiyonudur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarların makaleye katkıları eşittir.

Kaynakça

- Alnak DE., Karabulut K. Jet giriş genişliğinin ısı transferi ve akış yapısına olan etkisinin araştırılması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi 2021; 36(2): 331-345.
- Aminzadeha M., Khadema J., Zolfagharia SA., Omidvarb A. Numerical study of nozzle width effect on cooling performance of a turbulent impinging oscillating jet in a heated cavity. International Communications in Heat and Mass Transfer 2020; 118: 104899.
- Chu W., Huang K., Amer M., Wang C. Experimental and numerical investigations on jet impingement cooling for electronic modules. ASME. J. Heat Transfer 2019; 141(10): 102201.
- Culun P., Celik N., Pihtili K. Effects of design parameters on a multi jet impinging heat transfer. Alexandria Engineering Journal 2018; 57(4): 4255-4266.
- Çelik N. Effects of dimples' arrangement style of rough surface and jet geometry on impinging jet heat transfer. Heat Mass Transfer 2020; 56: 339–354.
- Dewan A., Dutta R., Srinivasan B. Recent trends in computation of turbulent jet impingement heat transfer. Heat Transfer Engineering 2012; 33(4-5): 447-460.
- Garimella SV., Nenaydykh B. Nozzle-geometry effects in liquid jet impingement heat transfer. Int. J. Heat Mass Transfer 1996; 39(14): 2915-2923.
- Han B., Goldstein, RJ. Jet-impingement heat transfer in gas turbine systems. Annals of the New York Academy of Science 2001; 934: 147–161.
- Jambunathan K., Lai E., Moss MA., Button BL. A review of heat transfer data for single circular jet impingement. International Journal of Heat and Fluid Flow 1992; 13: 106–115.
- Javadi A. Numerical study of an impinging jet in cross-flow within and without influence of vortex generator structures on heat transfer. Heat Mass Transfer 2020; 56: 797–810.
- Kaya H. İkili çarpan jet ile soğutulan sıcak plakanın yüzey şeklinin ısı transferine etkisinin sayısal analizi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi 2021; 9: 152-163.
- Karabulut K., Alnak DE., Koca F. Investigation of heat transfer from heated square patterned surfaces in a rectangular channel with an air jet impingement. European Journal of Engineering and Natural Sciences 2019; 3(1): 78-86.
- Koca F. Numerical investigation of corrugated channel with backward-facing step in terms of fluid flow and heat transfer. J. Engin. Thermophys 2022; 31: 187–199.
- Krueger J., Uddin N., Ali M. Numerical study of heat transfer by impinging jet with inlet temperature-field excitations using a pseudo-sinusoidal function. Numerical Heat Transfer, Part A: Applications 2019; 76(9): 724-736.

- Lak A., Çalışır T., Başkaya Ş. Flow and heat transfer characteristics of inclined jet impingement on a flat plate. *Politeknik Dergisi* 2020; 23(3): 697-706.
- Martin H. Heat and mass transfer between impinging gas jets and solid surfaces. *Advances in Heat Transfer* 1977; 13: 1–60.
- Öztürk MS., Demircan T. 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* 2022; 37(1): 57-74.
- Ravanji A., Zargarabadi MR. Effects of elliptical pin-fins on heat transfer characteristics of a single impinging jet on a concave surface. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 2020; 152: 119532.
- Sarkar A., Nitin N., Karwe MV., Singh RP. Fluid flow and heat transfer in air jet impingement in food processing. *J. Food Sci.* 2004; 69(4): 113–122.
- Shukla AK., Dewan A. Flow and thermal characteristics of jet impingement on a flat plate for small nozzle to plate spacing using LES. *International Journal of Thermal Sciences* 2019; 145.
- Viskanta R. Nusselt-Reynolds prize paper - Heat transfer to impinging isothermal gas and flame jets. *Exp. Therm. Fluid Sci.* 1993; 6: 111–134.
- Wae-Hayee M., Tekasakul P., Eiamsa-ard S., Nuntadusit C. Effect of cross-flow velocity on flow and heat transfer characteristics of impinging jet with low jet-to-plate distance. *Journal of Mechanical Science and Technology* 2014; 28(6): 2909-2917.
- Xing Y., Spring S., Weigand B. Experimental and numerical investigation of heat transfer characteristics of inline and staggered arrays of impinging jets. *ASME. J. Heat Transfer* 2010; 132(9): 092201.
- Yan WM., Mei SC., Liu HC., Soong CY., Yang WJ. Measurement of detailed heat transfer on a surface under arrays of impinging elliptic jets by a transient liquid crystal technique. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 2004; 47(24): 5235-5245.